

Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).

Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles
en la Industria de la Pasta y el Papel

Documento BREF



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE



Comisión Europea

Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC)

Documento de referencia
de Mejores Técnicas Disponibles
en la industria de la pasta y el papel

Documento BREF



2006

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://publicaciones.administración.es>

Versión: Diciembre 2001

Traducción al español realizada por el
Ministerio de Medio Ambiente

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General técnica
Ministerio de Medio Ambiente ©

ISBN:84-8320-357-X
NIPO: 310-06-088-X
NIPO INTERNET: 310-06-090-8

Depósito Legal: M-18.139-2007
Imprime: Solana e hijos A. G. S. A.

Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro.

NOTA INTRODUCTORIA

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados -industria, autoridades competentes y público en general- de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CC.AA.

Se establece, en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de estas MTDs que deben servir de referencia común para los Estados miembros a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

A tal efecto, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREF).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales y, consecuentemente, lograr la mejora del medio ambiente en su conjunto.

El Grupo de Trabajo correspondiente a la Industria de la Pasta y el Papel comenzó sus trabajos en el año 1998 y el documento final fue aprobado por la Comisión en diciembre de 2001: *Reference Document on Best Available Techniques in the pulp and paper Industry*. Está disponible exclusivamente en versión inglesa, en la web de la Oficina Europea de IPPC (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>), así como en la de la Comisión Europea (<http://europa.eu.int/comm/environment/pubs/industry.htm>).

El Ministerio de Medio Ambiente ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de Mejores Técnicas Disponibles; este documento, en cumplimiento de las exigencias legales, obedece a una serie de traducciones emprendidas por el Ministerio de Medio Ambiente sobre documentos BREF europeos.

Se pretende dar un paso más en la adecuación progresiva de la industria española a los principios de la Ley 16/2002, cuya aplicación efectiva debe conducir a una mejora del comportamiento ambiental de las instalaciones afectadas, que las haga plenamente respetuosas con el medio ambiente.

La versión española de este documento está disponible en la Web de EPER España (www.eper-es.com).

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de la pasta y el papel refleja el intercambio de información realizado según el Artículo 16(2) de la Directiva del Consejo 96/61/CE. El documento debe ser contemplado a la luz del prefacio, que describe los objetivos del documento y su uso.

El papel es esencialmente una hoja de fibras con una serie de agentes químicos añadidos que modifican las propiedades y la calidad de la hoja. Además de fibras y agentes químicos, la fabricación de pasta y papel requiere una gran cantidad de agua de proceso y energía en forma de vapor y energía eléctrica. En consecuencia, los principales aspectos medioambientales asociados con la producción de pasta y papel son las emisiones al agua, las emisiones a la atmósfera y el consumo de energía. Cabe esperar que los residuos se conviertan gradualmente en un tema de creciente preocupación medioambiental.

La pasta para la fabricación de papel puede fabricarse a partir de fibra virgen por medios químicos o mecánicos, o puede fabricarse mediante el procesamiento de papel recuperado. Una fábrica de papel puede simplemente reconstituir la pasta producida en otro lugar, o puede integrar las operaciones de producción de pasta en el mismo centro.

Este documento cubre los aspectos medioambientales relevantes de la fabricación de pasta y papel a partir de distintos materiales fibrosos en fábricas de pasta y fábricas de papel integradas y no integradas. Las fábricas de pasta no integradas (pasta comercial) sólo fabrican pasta que luego se vende en el mercado abierto. Las fábricas de papel no integradas utilizan pasta comprada para la producción de papel. En las fábricas integradas de pasta y papel, las actividades de fabricación de pasta y de papel se realizan en una misma planta. Las fábricas de pasta kraft operan de forma integrada y no integrada, mientras que las fábricas de pasta al sulfito están normalmente integradas con la producción de papel. El proceso mecánico y el proceso de fibras recicladas es normalmente parte integral de la fabricación de papel, aunque se ha convertido en una actividad independiente en determinados casos.

En este documento no se incluyen procesos anteriores medioambientalmente relevantes, como la gestión forestal, la producción exterior de agentes químicos de proceso o el transporte de materias primas a la fábrica, ni actividades posteriores como la transformación o la impresión del papel. Los aspectos medioambientales no relacionados específicamente con la producción de pasta y papel, como almacenaje y manipulación de productos químicos, seguridad laboral y análisis de riesgos, plantas generadoras de calor y electricidad, sistemas de refrigeración o de vacío y tratamiento del agua de proceso, no se abordan o se tratan sólo de forma breve.

Este BREF consiste en una sección de introducción (información general, Capítulo 1) y cinco partes principales:

- El proceso de la pasta kraft (Capítulo 2),
- El proceso de la pasta al sulfito (Capítulo 3),
- Proceso mecánico y quimicomecánico (Capítulo 4),
- Proceso de fibras recicladas (Capítulo 5), y
- Fabricación de papel y procesos relacionados (Capítulo 6).

Cada uno de estos capítulos tiene cinco secciones principales conforme a la estructura general de los Documentos de referencia de MTD para IPPC. Para la mayoría de lectores no será necesario leer todo el documento, sino sólo los capítulos o secciones que sean de interés para la fábrica en cuestión. Por ejemplo, las fábricas de pasta kraft sólo se discuten en el Capítulo 2; las fábricas integradas de pasta kraft y papel se tratan en los Capítulos 2 y 6,

mientras que la información relevante sobre las fábricas integradas de proceso de papel recuperado se encuentra en los Capítulos 5 y 6.

Al final del documento hay una lista de referencias y un glosario de términos y abreviaturas que facilita la comprensión del mismo.

La información general (Capítulo 1) incluye datos estadísticos sobre el consumo de papel en Europa, la distribución geográfica de la producción de pasta y papel en Europa, algunos aspectos económicos, una vista general de la producción de pasta y papel y de los principales aspectos medioambientales, y una clasificación de las fábricas de pasta y fábricas de papel existentes en Europa. El capítulo sobre información general se cierra con algunos comentarios generales sobre la determinación de las MTD para el sector, que se caracteriza por una gran diversidad de productos y (combinaciones de) procesos involucrados, así como por un alto grado de soluciones técnicas integradas en el proceso.

Para cada uno de los 5 capítulos principales se presenta información sobre los siguientes aspectos: técnicas y procesos aplicados; principales aspectos medioambientales como demanda de recursos y energía, emisiones y residuos; descripción de las técnicas relevantes para la eliminación de las emisiones, minimización de residuos y ahorro de energía; identificación de las mejores técnicas disponibles; y técnicas emergentes.

Por lo que respecta a las cifras de emisiones y consumos, debe tenerse en cuenta que, debido al uso de algunos métodos de medición distintos en los distintos Estados Miembros, los datos no son siempre estrictamente comparables de un país a otro (ver Anexo III para más información sobre este aspecto, pero los distintos métodos no modifican las conclusiones que se extraen en este documento).

La discusión de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD sigue siempre la misma estructura y se compone de descripción breve de la técnica, beneficios medioambientales que se consiguen, aplicabilidad, efectos sobre otros medios, datos operativos de su aplicación, economía, motivos principales de aplicación de esta técnica, instalaciones de referencia y bibliografía. La sección sobre Mejores Técnicas Disponibles incluye los rangos de emisiones y niveles de consumos asociados con el uso de las MTD. Las conclusiones sobre MTD se basan en ejemplos del mundo real y el juicio experto del grupo de trabajo técnico.

La fabricación de pasta y papel es un campo complejo que requiere muchas etapas de proceso y distintos productos. No obstante, pese a la amplia gama de materias primas empleadas, los procesos envueltos en la fabricación de pasta y papel pueden desglosarse en una serie de operaciones unitarias a efectos de su discusión. En este documento, los aspectos medioambientales y las técnicas relevantes para la prevención y reducción de emisiones o residuos, así como para la reducción del consumo de energía y materias primas se describen separadamente para las cinco categorías principales (Capítulos 2 a 6). Cuando se considera apropiado y necesario, estas categorías principales se subdividen en subcategorías.

El documento refleja a nivel del sector la variedad existente en cuanto a materias primas, fuentes de energía, productos y procesos en la industria europea del papel. No obstante, en casos específicos en los que dentro de cada categoría de productos hay una cierta gama de materias primas y especificaciones de productos que difieren de la producción de las calidades estándar y que pueden tener impacto sobre las condiciones operativas y el potencial de mejora. Esto es especialmente cierto para las fábricas de papel especial que producen gran número de distintas calidades de forma secuencial en sus máquinas, o para fábricas de papel que producen "calidades especiales" de papel.

El intercambio de información ha permitido conclusiones sobre MTD. Es necesario hacer referencia a las secciones en cada uno de los Capítulos que describen las MTD para una

comprensión completa de las MTD y sus emisiones asociadas. A continuación se resumen los aspectos claves.

MTD generales para todos los procesos

Durante el intercambio de información se concluyó que la medida más eficaz para la reducción de emisiones y consumos y la mejora de la rentabilidad económica es la aplicación de los mejores procesos y tecnologías de eliminación disponibles en combinación con lo siguiente:

- Formación, educación y motivación del personal y operarios;
- Optimización de control de procesos;
- Suficiente mantenimiento de las unidades técnicas y de las técnicas de eliminación asociadas;
- Un sistema de gestión medioambiental que optimice la gestión, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, etc.

MTD para el proceso de pasta kraft (Capítulo 2)

El proceso con sulfato o kraft es el proceso dominante en todo el mundo, debido a las superiores propiedades de resistencia de la pasta y su aplicación a todas las especies de madera. En el proceso kraft, las emisiones a la atmósfera, incluidos los gases malolientes, y el consumo de energía son los centros de interés. En algunos países se espera asimismo que los residuos sean un tema de preocupación medioambiental. Las principales materias primas son recursos renovables (madera y agua) y productos químicos para cocción y blanqueo. Las emisiones al agua están dominadas por las sustancias orgánicas. El efluente de la planta de blanqueo, en la que se utilizan agentes químicos de blanqueo que contienen cloro, contiene compuestos de cloro ligados orgánicamente, medidos como AOX. Algunos de los compuestos evacuados de las fábricas presentan efectos tóxicos sobre organismos acuáticos. Las emisiones de sustancias coloreadas pueden tener un efecto negativo sobre las especies vivientes del medio receptor. Las emisiones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) puede contribuir a la eutrofización del medio receptor. Los metales extraídos de la madera se descargan en concentraciones bajas, pero debido a los elevados caudales la carga puede ser significativa. Se ha conseguido una reducción considerable de las sustancias orgánicas cloradas y no cloradas en el efluente de las fábricas de pasta, gracias en gran medida a medidas integradas en el proceso.

Las mejores técnicas disponibles para fábricas de pasta kraft se consideran las siguientes:

- Descortezado seco de la madera;
- Mayor deslignificación antes de la planta de blanqueo mediante cocción extendida o modificada y etapas de oxígeno adicionales;
- Lavado de alta eficacia de la pasta cruda y tamizado en ciclo cerrado de la pasta cruda;
- Blanqueo sin cloro elemental (ECF) con bajo contenido en AOX o blanqueo sin cloro (TCF);
- Reciclaje de parte del agua de proceso, principalmente alcalina, de la planta de blanqueo;
- Monitorización eficaz de vertidos, sistema de contención y recuperación;
- Desgasificación y reutilización de los condensados de la planta de evaporación;
- Suficiente capacidad de la planta de evaporación de licor negro y de la caldera de recuperación para poder absorber la carga adicional de licor y materia seca;
- Recogida y reutilización de aguas de refrigeración limpias;

- Existencia de tanques intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de los licores de cocción y recuperación de vertidos, así como de los condensados sucios, para evitar picos repentinos de carga y perturbaciones ocasionales en la planta externa de tratamiento de efluentes;
- Además de las medidas integradas en el proceso, el tratamiento primario y el tratamiento biológico se consideran MTD para fábricas de pasta kraft.

Para fábricas de pasta kraft blanqueada y sin blanquear, los niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de estas técnicas son los siguientes:

	Caudal m³/ADt	DQO kg/ADt	DBO kg/ADt	SST kg/ADt	AOX kg/ADt	Total N kg/ADt	Total P kg/ADt
Pasta blanqueada	30 - 50	8-23	0,3-1,5	0,6-1,5	< 0,25	0,1-0,25	0,01-0,03
Pasta sin blanquear	15 - 25	5-10	0,2-0,7	0,3-1,0	-	0,1-0,2	0,01-0,2

Estos niveles de emisiones hacen referencia a medias anuales. El caudal de agua se basa en la suposición de que el agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacuen separadamente. Los valores hacen referencia únicamente a la contribución del proceso. En las fábricas integradas hay que agregar las emisiones de la fabricación de papel (ver Capítulo 6) según la mezcla de productos fabricados.

Las emisiones de gases de escape de distintas fuentes se consideran como el otro aspecto medioambiental relevante. Las emisiones a la atmósfera se originan en la caldera de recuperación, horno de cal, horno de cortezas, almacenamiento de astillas, digestor de cocción, lavado de pasta, planta de blanqueo, evaporación, preparación de agentes químicos de blanqueo, evaporación, filtrado, lavado, preparación de licor blanco, y diversos tanques. Una parte de las mismas son las emisiones difusas que emanan de distintos puntos del proceso. Las principales fuentes puntuales son la caldera de recuperación, el horno de cal y las calderas auxiliares. Las emisiones consisten principalmente en óxidos de nitrógeno, compuestos que contienen azufre como dióxido de azufre, y compuestos malolientes de azufre reducido. Además, hay emisiones de partículas.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones a la atmósfera son:

- Recogida e incineración de los gases malolientes concentrados y control de las emisiones de SO₂ resultantes. Los gases concentrados pueden quemarse en la caldera de recuperación, en el horno de cal o en un horno bajo en NO_x separado. Los gases de combustión de este último tienen una gran concentración de SO₂ que se recupera en un lavador.
- Los gases malolientes diluidos de distintas fuentes también se recogen e incineran, controlándose el SO₂ resultante.
- Las emisiones de compuestos de azufre reducido (TRS) de la caldera de recuperación se mitigan mediante un control eficaz de la combustión y medición del CO.
- Las emisiones de TRS del horno de cal se mitigan controlando el exceso de oxígeno, utilizando fuel bajo en azufre y controlando el sodio soluble residual en el lodo introducido en el horno.
- Las emisiones de SO₂ de las calderas de recuperación se controlan quemando licor negro con un alto contenido de materia seca en la caldera de recuperación y/o utilizando un lavador de gases de combustión;
- Es MTD reforzar el control de las emisiones de NO_x de la caldera de recuperación (es decir, asegurar una apropiada mezcla y división de aire en la caldera), del horno de cal y de las calderas auxiliares controlando las condiciones de combustión, y para instalaciones nuevas o modificadas también mediante un diseño apropiado;

- Las emisiones de SO₂ de las calderas auxiliares se reducen utilizando corteza, gas, fuel o carbón bajo en azufre y controlando las emisiones de azufre con un lavador.
- Los gases de combustión de las calderas de recuperación, de las calderas auxiliares (en las que se incineran otros biocombustibles y/o combustibles fósiles) y del horno de cal se limpian con precipitadores electrostáticos eficaces para mitigar las emisiones de polvo.

En la tabla inferior se muestran los niveles de emisiones a la atmósfera asociados con una combinación de estas técnicas para las fábricas de pasta kraft blanqueada o sin blanquear. Los niveles de emisiones hacen referencia a medias anuales y condiciones estándar. No se incluyen las emisiones de calderas auxiliares, usadas por ejemplo para producción de vapor utilizado para el secado de la pasta o el papel. Para los niveles de emisiones de las calderas auxiliares, se hace referencia a la sección posterior sobre MTD para calderas auxiliares.

	Polvo kg/ADt	SO₂ (como S) kg/ADt	NO_x (NO+NO₂ como NO₂) en kg/ADt	TRS (como S) kg/ADt
Pasta kraft blanqueada y sin blanquear	0,2-0,5	0,2-0,4	1,0-1,5	0,1-0,2

Los valores hacen referencia únicamente a la producción de pasta. Esto significa que, en las fábricas integradas, las cifras de las emisiones del proceso hacen referencia únicamente a la producción de pasta kraft y no incluyen las emisiones de las calderas de vapor o plantas de energía que puedan utilizarse para suministrar la energía necesaria para la producción de papel.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos son minimizar la producción de residuos sólidos y recuperar, reciclar y reutilizar estos materiales, siempre que sea practicable. La recogida separada y el almacenaje intermedio de fracciones de residuos en origen pueden ser de ayuda para cumplir este objetivo. Cuando los residuos recogidos no sean reutilizables en el proceso, se considera MTD el uso externo de los residuos como sustitutos, o la incineración de los compuestos orgánicos en calderas diseñadas al efecto con recuperación de energía.

Con el fin de reducir el consumo de vapor fresco y energía eléctrica, y para aumentar la producción de vapor y energía internamente, se hallan disponibles una serie de medidas. En fábricas de pasta no integradas y energéticamente eficientes, el calor generado por el licor negro y la incineración de corteza excede la energía requerida para todo el proceso de producción. No obstante, en determinadas ocasiones se requiere fuel, como en el arranque, y también, en muchas fábricas, en el horno de cal.

Las fábricas energéticamente eficientes de pasta kraft y papel tienen el siguiente consumo de calor y electricidad:

- Fábricas de pasta kraft blanqueada no integradas: 10-14 GJ/ADt de calor de proceso y 0,6-0,8 MWh/ADt de energía;
- Fábricas integradas de pasta kraft blanqueada y papel (ej: papel fino sin estucar): 14-20 GJ/ADt de calor de proceso y 1,2-1,5 MWh/ADt de energía;
- Fábricas integradas de pasta kraft sin blanquear y papel (ej: papel kraftliner): 14-17,5 GJ/ADt de calor de proceso y 1-1,3 MWh/ADt de energía.

MTD para proceso de pasta al sulfito (Capítulo 3)

La producción de pasta de sulfito es mucho menor que la producción de pasta kraft. El proceso de fabricación puede realizarse con distintos agentes químicos de cocción. El documento se centra en el proceso al sulfito de magnesio debido a su importancia en términos de capacidad y el número de fábricas que funcionan en Europa.

En muchos aspectos, los procesos kraft y de sulfito presentan similitudes, y también en lo que respecta a las posibilidades de aplicar distintas medidas internas y externas para reducir las emisiones al entorno. Las principales diferencias entre los dos procesos de fabricación de pasta química desde el punto de vista medioambiental residen en la química del proceso de cocción, la preparación de agentes químicos y el sistema de recuperación, así como en el menor blanqueo requerido debido a la blancura inicial de la pasta de sulfito.

Al igual que en el proceso kraft, también en el proceso al sulfito los efluentes de aguas residuales y las emisiones a la atmósfera son los centros de interés. Las principales materias primas son recursos renovables (madera y agua) y los agentes químicos para cocción y blanqueo. Las emisiones al agua están dominadas por sustancias orgánicas. Algunos de los compuestos evacuados de las fábricas presentan efectos tóxicos sobre organismos acuáticos. Las emisiones de sustancias coloreadas pueden tener un efecto negativo sobre las especies vivas del medio receptor. Las emisiones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) pueden contribuir a la eutrofización del medio receptor. Los metales extraídos de la madera se descargan en concentraciones bajas, pero debido a los elevados caudales la carga puede ser significativa. Para el blanqueo de pasta al sulfito se evita normalmente el uso de agentes químicos de blanqueo que contengan cloro, es decir, se aplica blanqueo sin cloro (TCF). Por consiguiente, los efluentes de la planta de blanqueo no contienen cantidades significativas de compuestos orgánicos clorados.

La información sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTD es generalmente mucho más escasa que para las fábricas de pasta kraft. Por consiguiente, a partir de la información limitada facilitada por los miembros del grupo de trabajo técnico en el curso del intercambio de información sobre MTD, sólo unas pocas técnicas pudieron ser descritas con la misma extensión que para el proceso kraft. El conjunto de datos disponibles es relativamente pequeño. Esto podría verse parcialmente compensado debido a las similitudes inherentes entre los procesos al sulfito y kraft. Una serie de técnicas de prevención y control de la contaminación para el proceso kraft son también válidas en la mayoría de aspectos para el proceso al sulfito. Cuando hay diferencias específicas entre las tecnologías kraft y al sulfito, se ha hecho un esfuerzo por recopilar la información necesaria. No obstante, sólo se ha podido utilizar información de Austria, Alemania y Suecia para la descripción de las técnicas y la conclusión sobre MTD. Se ha conseguido una reducción significativa de las emisiones al agua mediante medidas integradas en el proceso.

Las siguientes técnicas se consideran mejores técnicas disponibles para fábricas de pasta de sulfito:

- Descortezado seco de la madera;
- Mayor deslignificación antes de la planta de blanqueo mediante cocción extendida o modificada;
- Monitorización eficaz de vertidos, sistema de contención y recuperación;
- Cierre de la planta de blanqueo cuando se utilicen procesos de cocción a base de sodio;
- Blanqueo sin cloro (TCF);
- Neutralización del licor débil antes de la evaporación, seguido de la reutilización de la mayoría del condensado en el proceso de tratamiento anaerobio;
- Para la prevención de una carga innecesaria y ocasionales desajustes en el tratamiento externo de efluentes debidas a la cocción, recuperación del licor y condensados sucios, se considera necesario disponer de tanques de espera suficientemente grandes para almacenamiento;
- Además de las medidas integradas en el proceso, el tratamiento primario y el tratamiento biológico se consideran MTD para fábricas de pasta de sulfito.

Para fábricas de pasta de sulfito blanqueada, los niveles de emisiones al agua asociados con el uso de una combinación adecuada de estas técnicas son los siguientes:

	Caudal m³/ADt	DQO kg/ADt	DBO kg/ADt	SST kg/ADt	AOX kg/ADt	Total N kg/ADt	Total P kg/ADt
Pasta blanqueada	40 - 55	20-30	1-2	1,0-2,0	-	0,15-0,5	0,02-0,05

Estos niveles de emisiones hacen referencia a medias anuales. El caudal de agua se basa en la suposición de que el agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacúan separadamente. Los valores hacen referencia únicamente a la contribución del proceso. En las fábricas integradas hay que agregar las emisiones de la fabricación de papel (ver Capítulo 6) según la mezcla de productos fabricados.

Las emisiones de gases de escape de distintas fuentes se consideran como el otro aspecto medioambiental relevante. Las emisiones a la atmósfera se originan en distintas fuentes, siendo las más relevantes la caldera de recuperación y el horno de cortezas. Las emisiones menos concentradas con contenido de SO₂ proceden de las operaciones de lavado y filtrado, así como de las ventilaciones de los evaporadores y diversos tanques. Aparte de estas emisiones hay escapes difusos de distintos puntos del proceso. Las emisiones consisten principalmente en dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y polvo.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones a la atmósfera son:

- Recogida de las emisiones concentradas de SO₂ y recuperación en tanques con distintos niveles de presión;
- Recogida de las emisiones difusas de SO₂ de distintas fuentes e introducción de las mismas en la caldera de recuperación como aire de combustión;
- Control de las emisiones de SO₂ de las calderas de recuperación mediante el uso de precipitadores electrostáticos y lavadores de gases de combustión multietapas, y recogida y lavado de distintas ventilaciones;
- Reducción de las emisiones de SO₂ de las calderas auxiliares utilizando corteza, gas, fuel o carbón bajo en azufre y controlando las emisiones de azufre.
- Reducción de los gases olorosos mediante sistemas de recogida eficaces;
- Reducción de las emisiones de NO_x de la caldera de recuperación y de las calderas auxiliares controlando las condiciones de combustión;
- Limpieza de los gases de combustión de las calderas auxiliares con precipitadores electrostáticos eficaces para mitigar las emisiones de polvo;
- Incineración de residuos con optimización de emisiones y recuperación de energía.

En la tabla siguiente se indican los niveles de emisiones del proceso asociados con una combinación de estas técnicas. No se incluyen las emisiones de calderas auxiliares, usadas por ejemplo para producción de vapor utilizado para el secado de la pasta o el papel. Para estas instalaciones, los niveles de emisiones asociados con las MTD se presentan en la sección posterior sobre MTD para calderas auxiliares.

	Polvo kg/ADt	SO₂ (como S) kg/ADt	NO_x (como NO₂) kg/ADt
Pasta blanqueada	0,02 – 0,15	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0

Estos niveles de emisiones hacen referencia a medias anuales y condiciones estándar. Los valores hacen referencia únicamente a la contribución de la producción de pasta. Esto significa que en las fábricas integradas las cifras de las emisiones del proceso se refieren únicamente a la producción de pasta y no incluyen las emisiones a la atmósfera de calderas auxiliares o plantas

de energía que puedan utilizarse para suministrar la energía necesaria para la producción de papel.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos son minimizar la producción de residuos sólidos y recuperar, reciclar y reutilizar estos materiales, siempre que sea practicable. La recogida separada y el almacenaje intermedio de fracciones de residuos en origen puede ser de ayuda para cumplir este objetivo. Cuando los residuos recogidos no sean reutilizables en el proceso, se considera MTD el uso externo de los residuos como sustitutos, o la incineración de los compuestos orgánicos en calderas diseñadas al efecto con recuperación de energía.

Con el fin de reducir el consumo de vapor fresco y energía eléctrica, y para aumentar la producción de vapor y energía internamente, se hallan disponibles una serie de medidas. Las fábricas de pasta al sulfito son autosuficientes en cuanto a calor y electricidad, utilizando el valor calorífico del licor concentrado, y los residuos de corteza y madera. En las fábricas integradas hay necesidad adicional de vapor y electricidad, que se genera en plantas de energía in situ o externas. Las fábricas integradas de pasta de sulfito y papel consumen 18 - 24 GJ/ADt de calor de proceso y 1,2 - 1,5 MWh/ADt de electricidad.

MTD para el proceso mecánico y el proceso quimicomecánico (Capítulo 4)

En el proceso mecánico, las fibras de la madera se separan entre sí mediante energía mecánica aplicada a la matriz de la madera. El objetivo es mantener la mayor parte de la lignina con el fin de conseguir un alto rendimiento con aceptables propiedades de resistencia y blancura. Cabe distinguir dos procesos principales:

- El proceso de desfibrado de la madera, en el que los troncos se presionan contra una muela giratoria con la acción simultánea del agua, y
- Pasta mecánica de refino, que se produce desfibrando astillas de madera entre refinados de disco.

Las características de la pasta pueden verse afectadas aumentando la temperatura de proceso y, en el caso del refino, por el pretratamiento químico de las astillas de madera. El proceso de fabricación, en el que la madera es sometida a un reblandecimiento previo con agentes químicos y refinada bajo presión, se denomina proceso quimicotermomecánico (CTMP), y también se cubre en el presente documento.

La mayoría de procesos de desintegración mecánica están integrados con la fabricación de papel. Por consiguiente, los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD se indican para fábricas integradas de pasta y papel (excepto para la CTMP).

En el proceso mecánico y quimicomecánico, los efluentes de aguas residuales y el consumo de electricidad de los motores de los desfibradores o refinados son los centros de interés. Las principales materias primas son recursos renovables (madera y agua) y algunos agentes químicos para el blanqueo (para la CTMP también para el pretratamiento químico de las astillas). Como ayudas de proceso y para mejorar las propiedades de los productos (auxiliares del papel), durante la fabricación de papel se aplican diversos aditivos. Las emisiones al agua están dominadas por sustancias orgánicas que se pierden en la fase acuosa en forma de sustancias disueltas o dispersas. Si se blanquea pasta mecánica en uno o dos pasos con peróxido en medio alcalino, las emisiones de contaminantes orgánicos aumentan significativamente. El resultado del blanqueo con peróxido es una carga adicional de demanda química de oxígeno (en adelante DQO), antes del tratamiento, de unos 30 kg O₂/ADt. Algunos de los compuestos evacuados de las fábricas presentan efectos tóxicos sobre organismos acuáticos. Las emisiones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) pueden contribuir a la eutrofización del medio receptor. Los metales extraídos de la madera se descargan en concentraciones bajas, pero debido a los elevados caudales, la carga puede ser significativa.

Gran parte de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD hacen referencia a la reducción de las emisiones al agua. En los procesos de desintegración mecánica, los sistemas de agua están normalmente bastante cerrados. Las aguas clarificadas sobrantes de la máquina de papel se utilizan normalmente para compensar el agua que sale del circuito con la pasta y los desechos.

Se considera que las mejores técnicas disponibles para fábricas de pasta mecánica son:

- Descortezado seco de la madera;
- Minimización de las pérdidas por rechazo utilizando etapas eficaces de manipulación de rechazos;
- Circulación de agua en el departamento de proceso mecánico;
- Separación eficaz de los sistemas de agua de las fábricas de pasta y papel mediante el uso de espesadores;
- Sistema de aguas blancas a contracorriente desde la fábrica de papel a la fábrica de pasta según el grado de integración;
- Existencia de tanques intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de las corrientes de aguas residuales concentradas procedentes del proceso (principalmente para CTMP).
- Tratamiento primario y biológico de los efluentes, y en algunos casos también floculación o precipitación química.

Para las fábricas de CTMP, una combinación de tratamiento anaerobio y aerobio de las aguas residuales se considera también un sistema de tratamiento eficaz. Por último, la evaporación de las aguas residuales más contaminadas y la combustión del concentrado más el tratamiento con lodo activado del resto puede ser una solución especialmente interesante en la modernización de fábricas.

Los niveles de emisiones asociados con una combinación adecuada de estas técnicas se presentan por separado para fábricas CTMP no integradas y para fábricas integradas de pasta mecánica y papel. Estos niveles de emisiones hacen referencia a valores medios anuales.

	Caudal m³/t	DQO kg/t	DBO kg/t	SST kg/t	AOX kg/t	Total N kg/t	Total P kg/t
Fábricas CTMP no integradas (contribución sólo del proceso de desintegración)	15-20	10-20	0,5-1,0	0,5-1,0	-	0,1-0,2	0,005-0,01
Fábricas integradas de pasta y papel (como papel de periódico, LWC y SC)	12-20	2,0-5,0	0,2-0,5	0,2-0,5	< 0,01	0,04-0,1	0,004-0,01

En el caso de fábricas CTMP integradas, hay que agregar las emisiones de la fabricación de papel (ver Capítulo 6) según la mezcla de productos fabricada.

Para las fábricas integradas de pasta mecánica y papel, los niveles de emisiones hacen referencia tanto a la fabricación de pasta como a la fabricación de papel y se refieren a kg de contaminante por tonelada de papel producido.

En el proceso mecánico, los rangos de DQO dependen especialmente del porcentaje de la composición de fibra que se blanquee con peróxido, ya que el blanqueado con peróxido produce cargas iniciales más elevadas de sustancias orgánicas antes del tratamiento. Por consiguiente, el extremo superior del rango de emisiones asociadas con las MTD es válido para fábricas de papel con una elevada proporción de pasta TMP blanqueada con peróxido.

Las emisiones a la atmósfera son principalmente emisiones de la producción de calor y electricidad en calderas auxiliares y compuestos orgánicos volátiles (COV). Las fuentes de emisiones de COV son los montones de astillas y la evacuación de aire de las tinas del lavado de astillas de madera y de otras tinas, y condensados de la recuperación de vapor de los refinos que están contaminados con componentes volátiles de la madera. Una parte de estas emisiones son en forma difusa desde distintos puntos del proceso.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones a la atmósfera son la recuperación eficaz de calor de los refinos y la eliminación de las emisiones de COV del vapor contaminado. Aparte de las emisiones de COV, el proceso mecánico genera emisiones a la atmósfera no relacionadas con el proceso, sino con la producción de energía in situ. El calor y la energía se producen mediante la combustión de distintos tipos de combustibles fósiles o residuos de madera renovables como la corteza. Las MTD para calderas auxiliares se discuten más adelante.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos son minimizar la producción de residuos sólidos y recuperar, reciclar y reutilizar estos materiales si es practicable. La recogida separada y el almacenamiento intermedio de fracciones de residuos en origen puede ser útil para alcanzar este objetivo. Cuando el residuo recogido no sea reutilizable en el proceso, la utilización externa de residuos como sustitutos o la incineración de productos orgánicos en calderas diseñadas al efecto con recuperación de energía se considera MTD, minimizando así el desecho de residuos en vertedero.

Con el fin de reducir el consumo de vapor fresco y energía eléctrica, se hallan disponibles una serie de medidas. Las fábricas de pasta mecánica y papel energéticamente eficaces tienen el siguiente consumo de calor y electricidad:

- Pasta CTMP no integrada: Para el secado de pasta, puede usarse el calor de proceso recuperado, es decir, no se requiere vapor primario. El consumo de energía es de 2 - 3 MWh/ADt.
- Las fábricas integradas de papel de periódico consumen 0 - 3 GJ/t de calor de proceso y 2 - 3 MWh/t de electricidad. La demanda de vapor depende de la composición de la fibra y del grado de recuperación de calor de los refinos.
- Las fábricas integradas de papel LWC consumen 3 - 12 GJ/t de calor de proceso y 1,7 - 2,6 MWh/t de electricidad. Hay que señalar que la composición de fibra del LWC es normalmente de alrededor de un tercio del PGW o del TMP, siendo el resto pasta kraft blanqueada y cargas y colores de estucado. Si la producción de pasta kraft blanqueada se realiza en el mismo centro (integrada), deberá agregarse la contribución de la demanda de energía del proceso kraft, según la composición de fibras de la mezcla fabricada.
- Las fábricas integradas de papel SC consumen 1 - 6 GJ/t de calor de proceso y 1,9 - 2,6 MWh/t de electricidad.

MTD para proceso de fibras recicladas (Capítulo 5)

La fibra reciclada se ha convertido en una materia prima indispensable para la industria del papel, debido al precio favorable de las fibras recuperadas en comparación con las calidades correspondientes de pasta virgen, y debido a la promoción del reciclaje de papel recuperado en muchos países europeos. Los sistemas de proceso de papel recuperado varían según la calidad de papel a producir, como por ejemplo papel de embalaje, papel de periódico, testliner o tisú, así como el tipo de suministro de fibra utilizado. Generalmente, los procesos de fibras recicladas (FRC) pueden dividirse en dos categorías principales:

- Procesos con limpieza exclusivamente mecánica, es decir, sin destintado. Incluyen productos como testliner, papel ondulado, cartulina y cartón.

- Procesos con procesos mecánicos y químicos, es decir, con destintado. Incluyen productos como papel de periódico, tisú, papel para impresión y copia, papel para revistas (SC/LWC), algunas calidades de cartulina o DIP comercial.

Las materias primas para la producción de papel a base de FRC consisten principalmente en papel recuperado, agua, aditivos químicos y energía en forma de vapor y electricidad. Se utilizan grandes cantidades de agua para proceso y refrigeración. Durante la fabricación se utilizan diversos aditivos como ayudas de proceso y para mejorar las propiedades del producto (auxiliares del papel). El impacto medioambiental del proceso de papel recuperado se compone básicamente de emisiones al agua, residuos sólidos (especialmente si se aplica destintado por lavado, como por ejemplo en las fábricas de papel tisú) y emisiones a la atmósfera. Las emisiones atmosféricas están relacionadas principalmente con la producción de energía por combustión de combustibles fósiles en plantas de energía.

La mayor parte de las fábricas de papel recuperado están integradas con la fabricación de papel. Por consiguiente, se dan los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD para fábricas integradas.

Gran parte de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD hacen referencia a la reducción de las emisiones al agua.

Se considera que las mejores técnicas disponibles para fábricas de proceso de papel son:

- Separación del agua menos contaminada de la contaminada y reciclaje del agua de proceso;
- Gestión óptima del agua (circuitos cerrados), clarificación del agua por sedimentación, técnicas de flotación o filtración y reciclaje del agua de proceso para distintos fines;
- Estricta separación de los circuitos de agua y circulación a contracorriente del agua de proceso;
- Producción de agua clarificada para plantas de destintado (flotación);
- Instalación de una balsa de homogeneización y tratamiento primario;
- Tratamiento biológico de efluentes. Una opción eficaz para calidades destintadas, y según las condiciones también para calidades no destintadas, es el tratamiento biológico aerobio, y en algunos casos también la floculación y precipitación química. El tratamiento mecánico con tratamiento biológico y subsiguiente anaerobio-aerobio es la opción preferida para calidades no destintadas. Estas fábricas deben tratar normalmente aguas residuales más concentradas debido al mayor grado de cierre de los circuitos de agua.
- Reciclaje parcial del agua tratada después del tratamiento biológico. El posible grado de reciclaje del agua depende de las calidades específicas de papel producidas. Para calidades de papel no destintadas, esta técnica es MTD. No obstante, las ventajas e inconvenientes deben ser investigadas detenidamente y normalmente requerirán limpieza adicional (tratamiento terciario).
- Tratamiento de los circuitos de agua internos.

Para fábricas integradas con papel recuperado, los niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de las mejores técnicas disponibles son los siguientes:

	Caudal m ³ /t	DQO kg/t	DBO kg/t	SST kg/t	Total N kg/t	Total P kg/t	AOX kg/t
Fábricas integradas con papel recuperado sin destintado (ej: papel ondulado, testliner, toplayer blanco, cartón, etc.)	< 7	0,5-1,5	<0,05-0,15	0,05-0,15	0,02-0,05	0,002-0,005	<0,005
Fábricas con papel recuperado con destintado (ej: papel de periódico, para impresión y escritura, etc.)	8 – 15	2-4	<0,05-0,2	0,1-0,3	0,05-0,1	0,005-0,01	<0,005
Fábricas de papel tisú con papel recuperado	8-25	2,0-4,0	<0,05-0,5	0,1-0,4	0,05-0,25	0,005-0,015	<0,005

Los niveles de emisiones MTD hacen referencia a medias anuales y se presentan separadamente para procesos con o sin destintado. El caudal de aguas residuales está basado en la suposición de que el agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacúan por separado. Los valores hacen referencia a fábricas integradas, es decir, en las que el proceso del papel recuperado y la fabricación del papel se realizan en el mismo centro.

El tratamiento común de las aguas residuales de una fábrica o grupo de fábricas de papel recuperado en una planta municipal de tratamiento de aguas se considera también MTD cuando el sistema de tratamiento común es apropiado para los efluentes de la fábrica de papel. Es necesario calcular las eficacias de eliminación del sistema común de tratamiento de aguas residuales y establecer las eficacias de eliminación o concentraciones de emisiones comparables antes de considerar esta opción como MTD.

Las emisiones a la atmósfera en fábricas de papel a base de papel recuperado están relacionadas con las plantas instaladas para la producción de calor y en algunos casos para la cogeneración de electricidad. El ahorro de energía se corresponde por lo tanto con la reducción de las emisiones a la atmósfera. Las plantas de energía son normalmente calderas estándar y pueden tratarse como cualquier otra planta de energía. Para reducir el consumo de energía y las emisiones a la atmósfera, las siguientes medidas se consideran MTD: Cogeneración de calor y electricidad, mejora de las calderas existentes y, cuando se sustituya el equipo, uso de equipo que consuma menos energía. Para los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD, se hace referencia a la sección posterior sobre MTD para calderas auxiliares.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos son minimizar la producción de residuos sólidos y recuperar, reciclar y reutilizar estos materiales, siempre que sea practicable. La recogida separada y el almacenaje intermedio de fracciones de residuos en origen puede ser de ayuda para cumplir este objetivo. Cuando los residuos recogidos no sean reutilizables en el proceso, se considera MTD el uso externo de los residuos como sustitutos, o la incineración de los compuestos orgánicos en calderas diseñadas al efecto con recuperación de energía. La reducción de residuos sólidos puede conseguirse mediante la optimización de la recuperación de fibras, modernización de las plantas de preparación del material, optimización de la cantidad de etapas de limpieza en la preparación del material, aplicación de flotación por aire disuelto (DAF) como tratamiento en línea de los circuitos de agua para recuperar las fibras y cargas y para clarificar el agua de proceso. Debe encontrarse un equilibrio entre la limpieza del material, las pérdidas de fibra y los requisitos y costes de energía, que normalmente depende de las calidades del papel. La reducción de la cantidad de residuos sólidos a desechar en vertedero es MTD. Esto puede lograrse mediante un desecho eficaz y el tratamiento de los lodos *in situ*

(deshidratación) para mejorar su contenido en materia seca y la subsiguiente incineración del lodo y el material rechazado con recuperación de energía. La ceniza producida puede utilizarse como materia prima en la industria de materiales para la construcción. La aplicabilidad está limitada por el tamaño de la fábrica y en cierta medida por el combustible utilizado para la generación de vapor y electricidad respectivamente.

Las fábricas de papel recuperado energéticamente eficaces tienen el siguiente consumo de calor y electricidad:

- Fábricas integradas con papel recuperado sin destintado (ej: testliner, fluting): 6 - 6,5 GJ/t de calor de proceso y 0,7 - 0,8 MWh/t de electricidad;
- Fábricas integradas de papel tisú con planta de DIP: 7 - 12 GJ/t de calor de proceso y 1,2 - 1,4 MWh/t de electricidad;
- Fábricas integradas de papel para impresión y escritura con planta de DIP: 4 - 6,5 GJ/t de calor de proceso y 1 - 1,5 MWh/t de electricidad.

MTD para la fabricación de papel y procesos relacionados (Capítulo 6)

En los Capítulos 2 a 5 se ha descrito la fabricación de las fibras utilizadas para la fabricación de papel. En el Capítulo 6 se describe la fabricación de papel y cartón independientemente de la fabricación de la pasta. Se ha escogido este enfoque debido a que en todas las fábricas se utilizan los mismos procesos unitarios, independientemente de si está integrada o no la producción de pasta. La descripción de la fabricación de papel como parte de fábricas integradas con producción de pasta aumentaría la complejidad de la descripción técnica. Por último, en número, la mayoría de fábricas de papel europeas son no integradas.

Para fábricas de papel integradas, este capítulo es relevante en lo que corresponde a la fabricación de papel.

El papel se fabrica a base de fibras, agua y aditivos químicos. Además, se necesita mucha energía para impulsar todo el proceso. La energía eléctrica se consume principalmente para el funcionamiento de diversos motores y para el refinado en la preparación del material. El calor de proceso se utiliza principalmente para calentar el agua, otros licores y aire, evaporar el agua en la sección de secado de la máquina de papel, y convertir vapor en energía eléctrica (en el caso de cogeneración). Se utilizan grandes cantidades de agua como agua de proceso y de refrigeración. Como ayudas de proceso y para mejorar las propiedades del producto (auxiliares del papel) pueden aplicarse diversos aditivos durante la fabricación del papel.

Los aspectos medioambientales de las fábricas de papel están dominados por las emisiones al agua y por el consumo de energía y productos químicos. También se generan residuos sólidos. Las emisiones atmosféricas están relacionadas principalmente con la generación de energía mediante la combustión de combustibles fósiles en las plantas de energía.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones al agua son:

- Minimización del uso de agua para distintas calidades de papel aumentando el reciclaje de agua de proceso y mejorando la gestión del agua;
- Control de las posibles desventajas del cierre de los sistemas de agua;
- Construcción de un sistema equilibrado de aguas blancas, filtrados (claros) y almacenamiento de roturas, y criterios constructivos, diseño y maquinaria con consumo de agua reducido si es practicable. Esto se realiza normalmente cuando se sustituyen máquinas o componentes en remodelaciones;
- Aplicación de medidas para reducir la frecuencia y los efectos de vertidos accidentales;

- Recogida y reutilización de aguas de refrigeración y de circuito cerrado o evacuación separada;
- Pretratamiento separado de las aguas residuales de estucado;
- Sustitución de las sustancias potencialmente dañinas mediante el uso de alternativas menos dañinas;
- Tratamiento de efluentes de aguas residuales mediante la instalación de una balsa de homogeneización;
- Tratamiento primario, tratamiento biológico secundario y/o, en algunos casos, precipitación química o floculación secundaria de las aguas residuales. Cuando sólo se aplique tratamiento químico, las evacuaciones tendrán una DQO más elevada, aunque estarán compuestas principalmente por materia fácilmente degradable.

La tabla siguiente presenta los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD en fábricas de papel no integradas para papel fino sin estucar y estucado, así como para papel tisú. No obstante, las diferencias entre calidades de papel no son muy claras.

Parámetros	Unidades	Papel fino sin estucar	Papel fino estucado	Tisú
DBO ₅	kg/t de papel	0,15-0,25	0,15-0,25	0,15-0,4
DQO	kg/t de papel	0,5-2	0,5-1,5	0,4-1,5
SST	kg/t de papel	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4
AOX	kg/t de papel	< 0,005	< 0,005	< 0,01
Total P	kg/t de papel	0,003-0,01	0,003-0,01	0,003-0,015
Total N	kg/t de papel	0,05-0,2	0,05-0,2	0,05-0,25
Caudal	m ³ /t de papel	10-15	10-15	10-25

Los niveles de emisiones asociados a MTD hacen referencia a medias anuales y excluyen la contribución de la fabricación de pasta. Aunque estos valores hacen referencia a fábricas no integradas, también pueden usarse para tener una idea aproximada de las emisiones causadas por las unidades de fabricación de papel en fábricas integradas. El caudal de aguas residuales se basa en la suposición de que el agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacúan separadamente.

El tratamiento común de las aguas residuales de una fábrica o grupo de fábricas de papel recuperado en la planta municipal de tratamiento de aguas se considera también MTD cuando el sistema de tratamiento común es apropiado para los efluentes de la fábrica de papel. Es necesario calcular las eficacias de eliminación del sistema común de tratamiento de aguas residuales y establecer las eficacias de eliminación o concentraciones de emisiones comparables antes de considerar esta opción como MTD.

Las emisiones a la atmósfera de las fábricas de papel no integradas están relacionadas principalmente con las calderas de vapor y plantas de energía. Estas plantas son generalmente calderas estándar y no se diferencian de otras plantas de combustión. Se supone que se regulan como cualquier otra caldera auxiliar de la misma capacidad (ver más adelante).

La MTD relativa a los residuos sólidos es la minimización de la producción de residuos y la recuperación, reutilización y reciclaje de materiales reutilizables en la medida de lo posible. La recogida separada de las fracciones residuales en origen y el almacenaje intermedio de residuos o desechos puede ser beneficioso para permitir la reutilización o reciclaje de un mayor porcentaje, en lugar de su desecho en vertedero. La reducción de las pérdidas de fibra y relleno, la aplicación de ultrafiltración para la recuperación de las aguas residuales del estucado (sólo para las calidades estucadas), o la deshidratación eficaz de los residuos y lodos para obtener un alto porcentaje de materia seca son otras técnicas disponibles. La MTD es la reducción de la cantidad de residuos a desechar en vertedero mediante la identificación de posibilidades de

operaciones de recuperación y - si es viable - la utilización de los residuos para reciclaje o su incineración con recuperación de energía.

En general, en este sector, se considera que la MTD es el uso de tecnologías energéticamente eficaces. Dentro del proceso de fabricación hay disponibles muchas opciones de ahorro energético. Normalmente estas medidas están vinculadas con inversiones para sustituir, remodelar o actualizar el equipo de proceso. Debe tenerse en cuenta que, en la mayoría de casos, las medidas de reducción de energía no se aplican únicamente por ahorro energético.

La eficiencia productiva, la mejora de la calidad del producto y la reducción de los costes globales son la base más importante para las inversiones. Los ahorros energéticos pueden conseguirse mediante la aplicación de un sistema para monitorizar el consumo y la gestión de la energía, una deshidratación más eficaz de la hoja de papel continuo en la sección de prensa de la máquina de papel, utilizando tecnologías de prensa de nip ancho (zapata) y otras tecnologías energéticamente eficientes, como por ejemplo preparación de pasta de alta consistencia, refino energéticamente eficiente, formación a doble tela, sistemas de vacío optimizados, motores de velocidad variable para ventiladores y bombas, motores eléctricos de alta eficacia, motores eléctricos bien dimensionados, recuperación del vapor condensado, aumento de los sólidos en la prensa de encolado o sistemas de recuperación de calor del aire de escape. Puede conseguirse una reducción del uso directo de vapor mediante una cuidadosa integración del proceso utilizando “análisis pinch”.

Las fábricas de papel no integradas energéticamente eficientes tienen el siguiente consumo de calor y electricidad:

- Las fábricas no integradas de papel fino sin estucar tienen una demanda de calor de proceso de 7 - 7,5 GJ/t y una demanda de electricidad de 0,6 - 0,7 MWh/t;
- Las fábricas integradas de papel fino sin estucar tienen una demanda de calor de proceso de 7 - 8 GJ/t y una demanda de electricidad de 0,7 - 0,9 MWh/t;
- Las fábricas no integradas de papel tisú a base de fibras vírgenes tienen una demanda de calor de proceso de 5,5 - 7,5 GJ/t y una demanda de electricidad de 0,6 - 1,1 MWh/t.

MTD para calderas auxiliares

Según el balance de energía real de una determinada fábrica de pasta o fábrica de papel, el tipo de combustibles externos utilizados y el uso de posibles biocombustibles como corteza y residuos de madera, puede haber emisiones atmosféricas a considerar en las calderas auxiliares. Las fábricas de pasta y papel que fabrican pasta a partir de fibras vírgenes utilizan normalmente calderas de corteza.

Para fábricas de papel no integradas y fábrica de papel de fibras recuperadas, las emisiones a la atmósfera están normalmente relacionadas con las calderas de vapor y/o plantas de energía. Estas plantas son normalmente calderas estándar y no difieren de cualquier otra planta de combustión. Se supone que están reguladas como cualquier otra instalación de la misma capacidad. Por consiguiente, las MTD generalmente reconocidas para calderas auxiliares sólo se mencionan brevemente en este documento.

Estas técnicas son:

- Aplicación de cogeneración de calor y electricidad si la relación calor/electricidad lo permite;
- Uso de fuentes renovables como combustible, por ejemplo madera y residuos de madera, si se producen, con el fin de reducir las emisiones de CO₂ fósil.
- Control de las emisiones de NO_x de calderas auxiliares controlando las condiciones de combustión, e instalación de quemadores con bajo nivel de NO_x.

- Reducción de las emisiones de SO₂ utilizando corteza, gas o combustibles bajos en azufre, o controlando las emisiones de azufre.
- En calderas auxiliares que queman combustibles sólidos, se utilizan precipitadores electrostáticos (PE) eficaces o filtros de mangas para la eliminación del polvo.

La tabla inferior resume los niveles de emisiones asociados con las MTD de calderas auxiliares en la industria de la pasta y el papel que incineran distintos tipos combustibles. Las cifras hacen referencia a valores anuales medios y condiciones estándar. No obstante, las emisiones específicas totales de productos a la atmósfera son muy específicas de cada instalación (tipo de combustible, tamaño y tipo de la instalación, fábrica integrada o no, producción de electricidad).

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (e.g. corteza)
mg S/MJ de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO _x /MJ de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 - 60 ²	60 - 100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/Nm ³	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂	10 - 40 ⁴ at 3 % O ₂	10-30 3% O ₂	< 5 3% O ₂	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas a fuel o carbón dependen de la disponibilidad de fuel y carbón con bajo contenido de azufre. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; normalmente sólo en instalaciones grandes. 4) Valores asociados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos eficaces. 5) Cuando se utiliza un lavador; sólo se aplica a instalaciones grandes.					

Debe reseñarse que las calderas auxiliares dentro de la industria de la pasta y el papel son de tamaño variable (desde 10 hasta más de 200 MW). En las pequeñas, es posible aplicar sólo el uso de combustible bajo en azufre y técnicas de combustión con un coste razonable, mientras en las grandes hay que aplicar también medidas de control. Esta diferencia se refleja en la tabla superior. El rango más elevado se considera MTD para instalaciones pequeñas y se consigue cuando se aplican sólo medidas internas y de calidad de combustible; los niveles más bajos (entre paréntesis) están asociados con medidas adicionales de control como SNCR y lavadores, y se consideran MTD para instalaciones grandes.

Uso de agentes químicos y aditivos

En la industria de la pasta y el papel se emplean gran cantidad de agentes químicos, según la calidad de papel producida, el diseño y la operación de proceso y las calidades de producto que se desea conseguir. Por una parte se requieren productos químicos de proceso para la producción de pasta, y por otra parte se aplican aditivos y auxiliares químicos en la producción del papel. Los aditivos químicos se emplean para conferir al papel diversas características, mientras que los auxiliares químicos se utilizan para aumentar la eficacia y reducir las interrupciones del proceso productivo.

En cuanto al uso de productos químicos, la disponibilidad de una base de datos para todos los agentes y aditivos químicos y la aplicación del principio de sustitución se considera como MTD. Esto significa utilizar productos menos peligrosos o nocivos cuando estén disponibles. Se aplican medidas para evitar vertidos accidentales al suelo y al agua procedentes de la manipulación y almacenamiento de productos químicos.

Grado de consenso

Este BREF ha recibido el apoyo de la mayoría de miembros del grupo de trabajo técnico y de los participantes en la 7ª reunión del Forum de Intercambio de Información. No obstante, la

CEPI - que representa a la industria de la pasta y el papel - y una serie de Estados miembros no expresaron su apoyo final a este borrador final y discutieron algunas conclusiones presentadas en este documento. A continuación se indican algunas de las áreas claves de disputa, que se detallan más ampliamente en el Capítulo 7.

La CEPI y un Estado miembro eran de la opinión de que no se ha tenido en suficiente consideración la diferencia económica entre las fábricas nuevas y existentes y grandes / pequeñas. Además, la CEPI y tres Estados Miembros creen que una fábrica típica no podrá, al mismo tiempo, alcanzar todos los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de una combinación adecuada de las diversas técnicas que se consideran como MTD. No obstante, contradiciendo esta opinión, se han identificado fábricas que han alcanzado todos los niveles presentados al mismo tiempo, por lo que la anterior opinión minoritaria no fue compartida por la mayoría de miembros del grupo de trabajo técnico.

Aparte de estos aspectos generales, hay también una serie de aspectos específicos en los que las conclusiones finales no recibieron el apoyo unánime del grupo de trabajo técnico. La CEPI y dos Estados miembros consideran que en el caso de los SST para pasta kraft blanqueada, el extremo superior del rango asociado con el uso de MTD debe ser 2,0 kg/Adt en lugar de 1,5 kg/Adt. La CEPI y un Estado miembro consideran asimismo que algunos de los rangos asociados con el uso de MTD para las diversas calidades de papel son demasiado restrictivos. Análogamente, hay miembros del grupo de trabajo técnico que consideran que algunos de los niveles asociados con MTD concluidos son excesivamente permisivos teniendo en cuenta los más recientes logros de algunas fábricas de pasta y papel.

La Oficina Medioambiental Europea -que representa a organizaciones medioambientales- expresó algunas opiniones discrepantes, como por ejemplo que el blanqueo con ECF en las fábricas de pasta kraft no cumplen los criterios MTD relativos a los principios de prevención y precaución y que, en general, el tratamiento terciario de efluentes debe incluir tratamiento con ozono, peróxido o radiación UV, seguido de un paso de biofiltración.

PREFACIO

1. Categoría del presente documento

Salvo que se indique lo contrario, las referencias a "la Directiva" en el presente documento deberán entenderse como referencias a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IPPC).

Con la excepción de este párrafo, este documento "Word" refleja el correspondiente documento de referencia publicado por la Comisión Europea conforme al Artículo 16(2) de la Directiva. Este documento se facilita en idioma inglés con el fin de facilitar su traducción y la diseminación de la información en él contenida. En caso de diferencias acerca de la interpretación del texto traducido de la versión en el idioma original, el publicado por la Comisión tendrá preferencia. Para asegurar que todo el documento aparezca correctamente, es esencial conservar el fichero del documento Word en su posición relativa correcta respecto a los ficheros a él vinculados, como por ejemplo gráficos. No todos los documentos tienen imágenes vinculadas pero, dado el caso, es también esencial conservar los mismos nombres de ficheros y directores para todos los ficheros vinculados. Este documento y todos sus ficheros asociados se diseminaron originalmente en CD-ROM con la estructura jerárquica de ficheros necesaria para la correcta aparición del documento Word. Si se observan problemas con imágenes que parecen incorrectas, deberá comprobarse la presencia de los ficheros en el directorio activo.

2. Principales obligaciones legales de la Directiva de IPPC y definición de MTD

A fin de ayudar al lector a comprender el contexto legal en el que se ha redactado el presente documento, se describen en este prefacio las disposiciones más importantes de la Directiva de IPPC, incluida la definición del término "mejores técnicas disponibles" (MTD). Se trata de una descripción inevitablemente incompleta, de carácter exclusivamente informativo. No tiene valor legal y no modifica ni menoscaba en modo alguno las disposiciones de la Directiva.

La Directiva tiene por objeto la prevención y el control integrados de la contaminación a través de las actividades relacionadas en su Anexo I, encaminadas a lograr un alto grado de protección del medio ambiente en su conjunto. Aunque el ámbito legal de la Directiva es exclusivamente la protección medioambiental, en su aplicación también deben tenerse en cuenta otros objetivos comunitarios, como garantizar la existencia de las condiciones necesarias para la competitividad de la industria comunitaria, contribuyendo con ello al desarrollo sostenible.

Más concretamente, en ella se establece un sistema de permisos para ciertas categorías de instalaciones industriales que exige que tanto sus titulares como las autoridades reguladoras realicen un análisis integrado y global del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo global de un enfoque integrado de este tipo debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales, a fin de conseguir un alto grado de protección para el medio ambiente en su conjunto. Para ello es fundamental el principio general establecido en el artículo 3, por el que los titulares deben tomar todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación, en particular mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento con respecto al medio ambiente.

En el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva se define el término "mejores técnicas disponibles" como "la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o,

cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente". El artículo 2(11) incluye a continuación la siguiente aclaración adicional de la citada definición:

"mejores": las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

"técnicas": la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación se diseña, construye, mantiene, explota y paraliza;

"disponibles": las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

Además, el Anexo IV de la Directiva contiene una lista de "aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles (...), teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención". Estas consideraciones incluyen la información publicada por la Comisión de conformidad con el Artículo 16(2).

Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deben tener en cuenta los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, en su caso complementados o sustituidos por parámetros o medidas técnicas equivalentes. De acuerdo con el Artículo 9(4) de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes deben basarse - sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad medioambiental - en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, sino tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso deberán incluir disposiciones relativas a la reducción de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizar un alto nivel de protección para el medio ambiente en su conjunto.

Los Estados Miembros tienen la obligación, de acuerdo con el artículo 11 de la Directiva, de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

3. Objetivo del presente documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva obliga a la Comisión a organizar "un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas y su evolución" y a publicar los resultados de tal intercambio.

La finalidad del intercambio de información se establece en el considerando 25 de la Directiva, que estipula que "los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos en el ámbito de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva."

La Comisión (DG XI) ha creado un foro de intercambio de información (IEF) para contribuir al cumplimiento de las disposiciones del apartado 2 del artículo 16 y en este marco se han creado varios grupos de trabajo técnico. Tanto en el foro como en los grupos de trabajo participan representantes de los Estados Miembros y del sector, de acuerdo con lo establecido en el apartado 2 del artículo 16.

El objetivo de esta serie de documentos es reflejar con precisión el intercambio de información que ha tenido lugar con arreglo a las disposiciones del apartado 2 del artículo 16 y facilitar información de referencia que las autoridades competentes deberán tomar en consideración a la hora de establecer las condiciones de concesión de los permisos. La importante información que estos documentos contienen con respecto a las mejores técnicas disponibles les convierte en instrumentos de gran valor para guiar el comportamiento en materia de medio ambiente.

4. Fuentes de información

En este documento se resume la información obtenida de diversas fuentes, que incluye en especial los conocimientos técnicos de los grupos creados para ayudar a la Comisión en su trabajo, y que ha sido verificada por los servicios de la Comisión. Se agradecen efusivamente todas las aportaciones realizadas.

5. Cómo entender y utilizar este documento

La información que contiene el presente documento tiene por objeto servir de punto de partida para el proceso de determinación de las MTD en casos específicos. A la hora de determinar las MTD y establecer condiciones para permisos basadas en las MTD, deberá tenerse siempre en cuenta el objetivo global de lograr el máximo grado posible de protección para el medio ambiente en su conjunto.

El resto de esta sección describe el tipo de información que contiene cada una de las secciones del documento.

El Capítulo 1 proporciona información general sobre el sector afectado, y las primeras secciones de los Capítulos 2 a 6 dan información sobre los procesos industriales utilizados dentro del sector. Los datos e informaciones relativas a los actuales niveles de emisiones y consumos se presentan en las segundas secciones de los Capítulos 2 a 6, reflejando la situación en las instalaciones existentes en el momento presente.

Las terceras secciones de los Capítulos 2 a 6 describen con mayor detalle las técnicas de reducción de emisiones y otras que se consideran más relevantes para la determinación de las MTD y de las condiciones de permisos basadas en las MTD. Esta información incluye los niveles de emisión y consumo considerados obtenibles con el uso de la técnica, una idea de los costes y de los efectos sobre otros medios asociados con su aplicación, así como el grado en que tal técnica es aplicable al conjunto de instalaciones que requieren permisos de IPPC (ej: instalaciones nuevas, existentes, grandes o pequeñas). No se incluyen las técnicas que se consideran generalmente obsoletas.

Una sección de conclusión sobre Mejores Técnicas Disponibles en cada uno de los Capítulos 2 a 6 presenta las técnicas y los niveles de emisiones y consumos que se consideran compatibles con las MTD en un sentido general. El objeto que se persigue es proporcionar indicaciones relativas a los niveles de emisiones y consumos que pueden considerarse como un punto de

referencia apropiado para ayudar en la determinación de las condiciones de permisos basadas en las MTD, o para el establecimiento de normas generales de obligado cumplimiento según el Artículo 9(8). No obstante, debe recalcarse que este documento no propone valores límites de las emisiones. La determinación de condiciones de permiso apropiadas deberá tener en cuenta factores locales y específicos de cada lugar, como las características técnicas de la instalación en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones medioambientales locales. En el caso de instalaciones existentes, debe también tenerse en cuenta la viabilidad económica y técnica de su modernización. Incluso el mero objetivo de asegurar un elevado nivel de protección del entorno en su conjunto comporta a menudo que deban hacerse concesiones en la apreciación de distintos tipos de impacto medioambiental, y estas apreciaciones estarán muchas veces influenciadas por consideraciones locales.

Aunque se ha intentado tratar algunas de estas cuestiones, no es posible analizarlas con detalle en el presente documento. Por consiguiente, las técnicas y los niveles presentados en la sección sobre Mejores Técnicas Disponibles en cada uno de los Capítulos 2 a 6 no tienen por qué ser necesariamente apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un alto grado de protección medioambiental, incluida la máxima reducción de la contaminación transfronteriza o de larga distancia, implica que no es posible establecer las condiciones de concesión de los permisos con arreglo a consideraciones puramente locales. Por ello, es esencial que las autoridades competentes en materia de permisos tengan muy en cuenta la información que contiene el presente documento.

Como las mejores técnicas disponibles cambian con el tiempo, este documento está sujeto a revisión y actualización. Todo comentario o sugerencia debe enviarse a la Oficina Europea de IPPC (EIPPCB), emplazada en el Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, cuyas señas se indican a continuación:

Edificio Expo-WTC, Inca Garcilaso s/n, E-41092 Sevilla – España
Teléfono: +34 95 4488 284 Fax: +34 95 4488 426
e-mail eippcb@jrc.es
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel

RESUMEN EJECUTIVO	i
PREFACIO	xix
ÁMBITO	xxxix
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.1 Consumo de papel en Europa.....	1
1.2 La industria de la pasta europea.....	2
1.3 Distribución geográfica de la Industria Europea del Papel.....	5
1.4 Situación económica	7
1.5 Aspectos medioambientales de la industria de la pasta y el papel.....	8
1.6 Resumen general de la fabricación de pasta y papel.....	10
1.7 Clasificación de las fábricas de pasta y papel	11
1.8 Presentación de las MTD	14
2 EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTA KRAFT (SULFATO)	17
2.1 Procesos y Técnicas Aplicados.....	17
2.1.1 Recepción y almacenaje de la madera	18
2.1.2 Descortezado	19
2.1.3 Troceado y criba de la madera	19
2.1.4 Cocción y deslignificación.....	19
2.1.5 Lavado y filtrado.....	20
2.1.6 Deslignificación con oxígeno	21
2.1.7 Blanqueo	22
2.1.8 Depuración de la pasta blanqueada.....	25
2.1.9 Secado	25
2.1.10 Sistema de recuperación de productos químicos y energía	25
2.1.11 Preparación de agentes químicos de blanqueo in situ.....	27
2.1.11.1 Dióxido de cloro.....	27
2.1.11.2 Ozono	28
2.1.11.3 Otros agentes químicos de blanqueo.....	28
2.2 Niveles actuales de consumos / emisiones para fábricas integradas y no integradas	29
2.2.1 Esquema de entradas / salidas	29
2.2.2 Niveles de consumos y emisiones derivadas de las unidades de proceso	30
2.2.2.1 Consumo de madera.....	30
2.2.2.2 Consumo de agua y residuos de los distintos pasos de proceso	31
2.2.2.3 Emisiones a la atmósfera.....	38
2.2.2.4 Producción de residuos sólidos	47
2.2.2.5 Consumo de productos químicos	50
2.2.2.6 Consumo de energía.....	51
2.2.2.7 Ruido (local)	55
2.2.2.8 Emisiones al suelo y a las aguas subterráneas	55
2.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	56
2.3.1 Descortezado seco.....	59
2.3.2 Cocción modificada extendida (discontinua o continua) a un índice kappa bajo.....	60
2.3.3 Depuración cerrada	63
2.3.4 Deslignificación con oxígeno	64
2.3.5 Blanqueo con ozono.....	67
2.3.6 Técnica de blanqueo.....	67
2.3.7 Técnica de blanqueo TCF	70
2.3.8 Cierre parcial de la planta de blanqueo	72
2.3.9 Recogida de casi todos los vertidos	75
2.3.10 Lavado eficaz y control de proceso	77

2.3.11	Desgasificación de los condensados contaminados más concentrados y reutilización en el proceso	78
2.3.12	Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de líquidos concentrados o calientes del proceso	81
2.3.13	Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios	83
2.3.14	Tratamiento terciario de aguas residuales con precipitación química	87
2.3.15	Aumento del contenido de materia seca del licor negro	88
2.3.16	Instalación de lavadores en la caldera de recuperación	89
2.3.17	Recogida de gases diluidos para su incineración en la caldera de recuperación	91
2.3.18	Recogida e incineración de gases olorosos (concentrados y diluidos) en el horno de cal.....	92
2.3.19	Recogida e incineración de gases olorosos (gases concentrados y diluidos) mediante el uso de un horno separado equipado con lavadores de SO ₂	94
2.3.20	Instalación de tecnología de baja emisión de NOx en calderas auxiliares (corteza, fuel, carbón) y en el horno de cal.....	94
2.3.21	Reducción no Catalítica selectiva (SNCR) en calderas de corteza.....	96
2.3.22	Técnica de Aire Sobrecalentado (OFA) en calderas de recuperación	97
2.3.23	Instalación de un mejor lavado del lodo calizo en la recaustificación.....	98
2.3.24	Precipitador electrostático para la reducción de polvo en la caldera de corteza y el horno de cal	99
2.4	Mejores Técnicas Disponibles	101
2.4.1	Introducción	101
2.4.2	MTD para fábricas de pasta kraft y papel	103
2.5	Técnicas emergentes	117
2.5.1	Gasificación del licor negro	117
2.5.2	Uso de Reducción no Catalítica selectiva (SNCR) en la caldera de recuperación.....	120
2.5.3	Eliminación de agentes quelantes mediante un tratamiento biológico alcalino suave o mediante el uso de "riñones"	122
2.5.4	Mayor cierre del sistema en combinación con el uso de "riñones"	124
2.5.5	Proceso Organosolv	126
3	EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTA AL SULFITO.....	129
3.1	Procesos y técnicas aplicados	130
3.1.1	Manipulación de madera.....	131
3.1.2	Cocción y deslignificación de pasta sin blanquear	131
3.1.3	Depuración y lavado de pasta sin blanquear.....	131
3.1.4	Deslignificación / blanqueo con oxígeno.....	132
3.1.5	Blanqueo, depuración y secado.....	132
3.1.6	Sistema de Recuperación de Productos Químicos y Energía	133
3.1.7	Proceso magnefite	134
3.1.8	Pulpa semiquímica al sulfito neutro.....	135
3.1.9	Pasta al sulfito soluble	135
3.2	Nivel actual de emisiones y consumos	137
3.2.1	Esquema general de entradas y salidas	137
3.2.2	Niveles de consumos y emisiones de las unidades de proceso	138
3.2.2.1	Consumo de madera.....	139
3.2.2.2	Consumo de agua y emisiones	139
3.2.2.3	Consumo de productos químicos	141
3.2.2.4	Emisiones a la atmósfera.....	142
3.2.2.5	Generación de residuos sólidos	143
3.3	Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	145
3.3.1	Cocción extendida hasta un índice kappa bajo	148
3.3.2	Deslignificación con oxígeno	148
3.3.3	Blanqueo TCF	148
3.3.4	Cierre parcial de la planta de blanqueo	149
3.3.5	Pretratamiento del agua residual de las etapas de oxígeno en una planta de ultrafiltración seguido de tratamiento aerobio de todo el efluente	149
3.3.6	Pretratamiento anaerobio del condensado seguido de tratamiento aerobio de todo el efluente.....	150

3.3.7	Tratamiento biológico de aguas residuales	151
3.3.8	Instalación de precipitador electrostático (PE) y lavadores multietapa en la caldera de recuperación: recuperación de productos químicos y eliminación de las emisiones a la atmósfera.....	154
3.3.9	Reducción de gases olorosos	156
3.3.10	Emisiones optimizadas de la caldera de recuperación controlando las condiciones de combustión.....	156
3.3.11	Medidas para prevenir el descontrol del funcionamiento normal y reducir las consecuencias de accidentes	157
3.4	Mejores Técnicas Disponibles	158
3.4.1	Introducción	158
3.4.2	MTD para fábricas de pasta al sulfito y papel	159
3.5	Técnicas emergentes	167
4	FABRICACIÓN DE PASTA MECÁNICA Y QUIMICOMECAÁNICA	169
4.1	Procesos y técnicas aplicados	170
4.1.1	Pasta mecánica	170
4.1.1.1	Manipulación de la madera	170
4.1.1.2	Desfibrado.....	171
4.1.1.3	Depuración y limpieza	171
4.1.2	Pastas mecánicas por refinó.....	172
4.1.2.1	Pasta termomecánica (TMP).....	173
4.1.2.2	Pasta Quimiomecánica.....	174
4.1.3	Blanqueo de pastas mecánicas	176
4.2	Niveles actuales de consumos y emisiones.....	178
4.2.1	Esquema de entradas y salidas.....	178
4.2.2	Niveles de consumos y emisiones derivados de las unidades de proceso	180
4.2.2.1	Consumo de madera.....	181
4.2.2.2	Consumo de agua	181
4.2.2.3	Emisiones de aguas residuales	182
4.2.2.4	Emisiones a la atmósfera.....	184
4.2.2.5	Generación de residuos sólidos	185
4.2.2.6	Consumo de productos químicos	186
4.2.2.7	Consumo de energía.....	187
4.2.2.8	Ruido (local)	190
4.3	Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	191
4.3.1	Control de emisiones del parque de madera	192
4.3.2	Descortezado seco.....	193
4.3.3	Minimización de las pérdidas por rechazos utilizando etapas eficaces de manipulación de rechazos.....	193
4.3.4	Minimización del desecho de rechazos en vertedero mediante incineración con recuperación de energía	194
4.3.5	Lavado eficaz y control de proceso	196
4.3.6	Recirculación de agua en fábricas de pasta y papel.....	197
4.3.7	Tratamiento de efluentes de fábricas de CTMP. Cierre de los circuitos de agua mediante evaporación y combustión de concentrados	199
4.3.8	Aplicación de Cogeneración de Calor y Electricidad (CHP)	203
4.3.9	Recuperación de calor de los refinós	203
4.3.10	Eliminación de las emisiones de COVs de las emisiones de vapor.....	203
4.3.11	Incineración con emisiones optimizadas de residuos sólidos y recuperación de energía....	203
4.3.12	Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para almacenaje de líquidos concentrados o calientes del proceso	207
4.3.13	Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios.....	208
4.3.14	Tratamiento terciario de aguas residuales	210
4.4	Mejores Técnicas Disponibles	211
4.4.1	Introducción	211
4.4.2	MTD para fábricas de pasta mecánica y quimiomecánica y papel	212
4.5	Técnicas Emergentes.....	223

4.5.1	Uso de nuevas técnicas de evaporación como "riñón" para la limpieza interna del agua de proceso	223
4.5.2	Nuevos proyectos de TMP energéticamente eficientes	224
5	PROCESO DE PAPEL RECUPERADO	225
5.1	Procesos y técnicas aplicados	225
5.1.1	Ejemplos de sistemas de proceso de papel recuperado.....	229
5.1.1.1	Papel y cartón de embalaje.....	230
5.1.1.2	Papel prensa y papel simple para impresión y escritura	231
5.1.1.3	Papel LWC/SC.....	232
5.1.1.4	Papel tisú y pasta comercial	233
5.2	Niveles actuales de consumos / emisiones para fábricas de papel a base de fibras recuperadas.....	235
5.2.1	Resumen de entradas / salidas.....	235
5.2.2	Niveles de consumos y emisiones derivados de los procesos individuales	241
5.2.2.1	Consumo de papel recuperado	242
5.2.2.2	Consumo de agua	242
5.2.2.3	Uso de aditivos.....	245
5.2.2.4	Demanda energética	247
5.2.2.5	Emisiones a las aguas residuales.....	251
5.2.2.6	Generación de residuos sólidos.....	253
5.2.2.7	Emisiones a la atmósfera.....	256
5.2.2.8	Ruido de las máquinas de papel (local)	258
5.3	Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	259
5.3.1	Separación del agua menos contaminada de la más contaminada y reciclaje de esta agua de proceso	261
5.3.2	Gestión optimizada del agua (diseño de los circuitos de agua) y clarificación del agua.....	262
5.3.3	Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación estricta de los circuitos de agua junto con flujos a contracorriente (cierres de los circuitos de agua).....	266
5.3.4	Circuitos de agua cerrados con tratamiento biológico del agua de proceso	268
5.3.5	Técnicas Anaeróbicas como Primera Etapa del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales	271
5.3.6	Tratamiento biológico aerobio	275
5.3.7	Modernización de las plantas de preparación de pasta para reducir el consumo de electricidad y las emisiones	277
5.3.8	Generación de agua clarificada del proceso de papel recuperado con destintado	283
5.3.9	Cogeneración de calor y electricidad (CHP)	284
5.3.10	Manipulación y proceso (deshidratación) de rechazos y lodo in situ	287
5.3.11	Utilización y desecho medioambientalmente sostenible de residuos	289
5.4	Mejores Técnicas Disponibles	300
5.4.1	Introducción	300
5.4.2	MTD para fábricas de papel que procesan papel recuperado	301
5.5	Técnicas Emergentes.....	312
5.5.1	Tratamiento avanzado de efluentes con un proceso combinado de ozonificación y reactores de biofilm de lecho fijo.....	312
5.5.2	Bioreactor de membranas para tratamiento de final de línea (end of pipe) o en línea	314
5.5.3	Recuperación de la ceniza y del dióxido de carbono gas de las calderas para producir cargas minerales recicladas para uso en el papel	315
5.5.4	Tratamiento de "Riñón" – Técnicas para limpieza de los circuitos de agua.....	317
5.5.5	Sistema continuo de recuperación de fibra para el proceso de papel recuperado en un sistema completo.....	318
6	FABRICACIÓN DE PAPEL Y PROCESOS RELACIONADOS.....	321
6.1	Procesos y Técnicas Aplicados.....	322
6.1.1	Preparación de la pasta.....	322
6.1.2	La máquina de papel	323
6.1.3	Circuitos de agua y recuperación de fibras	326
6.1.4	Sistema de roturas	327
6.1.5	Encolado (opcional).....	328

6.1.6	Estucado (opcional)	329
6.1.7	Coloreado del papel (opcional).....	331
6.1.8	Adición de agentes químicos	332
6.1.9	Calandrado (opcional).....	332
6.1.10	Bobinado / corte / despacho.....	333
6.1.11	Ejemplos de fábricas de papel no integradas en Europa.....	334
6.1.11.1	Papeles para impresión y escritura sin pastas mecánica y sin estucar	334
6.1.11.2	Papel de impresión y escritura con pasta mecánica estucada	335
6.1.11.3	Papel tisú	335
6.1.11.4	Papeles especiales	336
62	Niveles actuales de emisiones y consumos de las fábricas de papel.....	337
6.2.1	Resumen de entradas y salidas.....	337
6.2.2	Niveles de consumos y emisiones.....	339
6.2.2.1	Consumo de las principales materias primas	340
6.2.2.2	Consumo de agua	341
6.2.2.3	Uso de aditivos.....	343
6.2.2.4	Demanda de energía.....	347
6.2.2.5	Emisiones a las aguas residuales.....	352
6.2.2.6	Generación de residuos sólidos.....	354
6.2.2.7	Emisiones a la atmósfera.....	356
6.2.2.8	Ruido de las máquinas de papel (local)	359
6.3	Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	361
6.3.1	Gestión del agua y minimización del consumo para distintas calidades de papel	363
6.3.2	Control de las posibles desventajas del cierre de los sistemas de agua	365
6.3.3	Tratamiento interno del agua blanca mediante el uso de filtración por membrana y reciclaje del agua de proceso tratada	368
6.3.4	Reducción de las pérdidas de fibras y cargas.....	372
6.3.5	Recuperación y reciclaje de efluentes que contienen color de estucado	375
6.3.6	Pretratamiento separado de las aguas residuales de estucado.....	377
6.3.7	Medidas para reducir la frecuencia y los efectos de las descargas accidentales.....	379
6.3.8	Medición y automatización.....	381
6.3.9	Instalación de una balsa de homogeneización y tratamiento primario de aguas residuales.....	383
6.3.10	Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios.....	384
6.3.11	Precipitación química de las aguas residuales de las fábricas de papel.....	389
6.3.12	Sustitución de sustancias potencialmente nocivas mediante el uso de alternativas menos perjudiciales	391
6.3.13	Pretratamiento del lodo (deshidratación) antes de la incineración o desecho final	393
6.3.14	Opciones para tratamiento de residuos	395
6.3.15	Instalación de tecnología baja en NOx en calderas auxiliares (fuel, gas, carbón).....	400
6.3.16	Uso de cogeneración de calor y electricidad.....	402
6.3.17	Optimización de la deshidratación en la sección de prensa de la máquina de papel (Prensa de nip ancho).....	402
6.3.18	Ahorro de energía mediante tecnología energéticamente eficientes	406
6.3.19	Medidas para la reducción del ruido	410
6.4	Mejores Técnicas Disponibles	415
6.4.1	Introducción	415
6.4.2	MTD para fábricas de papel.....	416
6.4.3	MTD para fábricas de papel especial.....	425
6.5	Técnicas Emergentes.....	427
6.5.1	Fábricas de papel con un nivel mínimo de efluentes – diseño optimizado de circuitos de agua y tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales	427
6.5.2	Tecnología de impulsos para la deshidratación del papel.....	429
6.5.3	Proceso Condebelt	430
6.5.4	Bombas de calor internas	432
6.5.5	Herramientas de integración total	433
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	435

REFERENCIAS.....	443
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.....	456
ANEXO I AGENTES QUÍMICOS Y ADITIVOS EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL.....	461
ANEXO II LEGISLACIÓN Y ACUERDOS NACIONALES E INTERNACIONALES EXISTENTES	471
ANEXO III MONITORIZACIÓN DE DESCARGAS Y EMISIONES EN FABRICAS EUROPEAS DE PASTA Y PAPEL	481
ANEXO IV EJEMPLOS DE VARIACIONES DE EMISIONES	491

Lista de Figuras

Figura 1.1: Vista general de la distribución de la industria en Europa para producción de pasta.	3
Figura 1.2: Resumen de la distribución por tamaños de las fábricas de producción de pasta en Europa.....	4
Figura 1.3: Utilización de papel recuperado en Europa en 1996	4
Figura 1.4: Resumen de la distribución de la industria en Europa para la producción de papel.	6
Figura 1.5: Resumen de la distribución por tamaño de las fábricas en Europa para la producción de papel.	6
Figura 1.6: Capacidades frente a número de fábricas en Europa.....	12
Figura 1.7: Clasificación de las fábricas de pasta y papel propuesta por el presente documento, 13incluidas referencias cruzadas a los capítulos relevantes para esas fábricas.	13
Figura 2.1 Esquema de los procesos de una fábrica de pasta kraft.....	18
Figura 2.2: Digestor continuo	20
Figura 2.3 Ciclos de recuperación de productos químicos para una fábrica kraft	26
Figura 2.4: Diagrama del flujo de materia de una fábrica de pasta kraft.	29
Figura 2.5: Emisiones al agua de una fábrica de pasta kraft.....	31
Figura 2.6: Emisiones a la atmósfera en fábricas de pasta kraft	38
Figura 2.7: Algunas reacciones químicas conceptuales en una caldera de recuperación	40
Figura 2.8: Tendencias de índices kappa en fábricas de pasta kraft en Finlandia	61
Figura 2.9: Deslignificación con oxígeno en una etapa.....	65
Figura 2.10: Deslignificación con oxígeno en dos etapas.....	65
Figura 2.11: Principio de un posible sistema de agua en plantas de blanqueo cerradas.....	73
Figura 2.12: Lavador de gases de combustión para calderas de recuperación	90
Figura 2.13: El proceso Chemrec con un gasificador y un baño de enfriamiento y disolución para la producción de licor verde, y con un lavador del gas de licor verde para la absorción del sulfuro de hidrógeno.....	118
Figura 2.14: Gasificación integrada con ciclo combinado (IGCC)	118
Figura 2.15: Ciclo combinado para la producción de energía eléctrica mediante una turbina de gas y una turbina de vapor con fracción de condensación.	119
Figura 2.16: Recuperación de agentes quelantes en los filtrados de la planta de blanqueo mediante un "riñón"	123
Figura 2.17: "Riñones" en fase de desarrollo en un proyecto actual de la UE sobre métodos de separación para producción en circuito cerrado en la fabricación de pasta kraft blanqueada.....	124
Figura 3.1: Principales procesos unitarios de fabricación de pasta al sulfito de magnesio	131
Figura 3.2: Ciclos de recuperación para una fábrica de sulfito.....	134
Figura 3.3: Esquema de los flujos de masas en una fábrica de pasta al sulfito	137
Figura 3.4: Principales emisiones al agua y la atmósfera del proceso al sulfito.....	140
Figura 3.5: Carga de aguas residuales de la pasta al sulfito ácido y sistemas de tratamiento con su eficacia de reducción. Ejemplo de cargas orgánicas antes y después del tratamiento de un fábrica alemán de pasta al sulfito.	150
Figura 3.6: Diagrama de proceso de la planta de tratamiento para una fábrica de pasta al sulfito. Ejemplo de una fábrica austriaca [Neusiedler AG, Austria].....	152
Figura 3.7: Circuito de SO ₂ en una fábrica de pasta al sulfito	154
Figura 4.1: Pasos principales en la fabricación de pasta Mecánica	169
Figura 4.2: Proceso de fabricación de pasta mecánica.....	170
Figura 4.3: Esquema de proceso TMP y de sus emisiones	173
Figura 4.4: Esquema del proceso de CTMP	175
Figura 4.5: Esquema de flujos de masas de una fábrica integrada de pasta mecánica y papel.....	178
Figura 4.6: Emisiones del agua de una fábrica de CTMP.....	182
Figura 4.7: Emisiones a la atmósfera de fábricas de CTMP	185
Figura 4.8: Principales fuentes y sumideros de agua en una fábrica integrada de pasta mecánica y papel	198
Figura 4.9: Sistema de reciclaje de agua de la fábrica de CTMP del Lago Meadow	201
Figura 4.10: Concepto de proceso con nivel cero de efluentes líquidos.....	202
Figura 5.1: Diagrama de flujo de un concepto de planta de preparación de pasta para procesar papel recuperado para material para fabricar cajas (testliner de doble capa)	227

Figura 5.2: Ejemplo de un concepto de planta global para testliner (sistema de doble circuito)	230
Figura 5.3: Ejemplo de un concepto de planta global para papel prensa (mejorado)	231
Figura 5.4: Ejemplo de un concepto global para una planta de preparación de papel recuperado para papel tisú	234
Figura 5.6: Esquema de los flujos de materia de una fábrica integrada de proceso de papel recuperado.....	235
Figura 5.7: Diagrama de flujo básico de la producción de papel proceso de papel recuperado	243
Figura 5.8: Ejemplo de circuitos de agua para una fábrica integrada a base de FRC para papel ondulado sin destintado (100% papel recuperado)	244
Figura 5.8: Ejemplo de un sistema de agua optimizado para la producción de pasta en una producción integrada de pasta destintada.....	245
Figura 5.9: Consumo específico de energía para el proceso de papel recuperado de una fábrica de papel prensa.....	250
Figura 5.10: Esquema de circuitos de agua en fábricas de papel.....	263
Figura 5.11: Esquema de los circuitos de agua en una fábrica de papel con separación de circuitos de agua y flujos a contracorriente	266
Figura 5.12: Ejemplo de tratamiento industrial en línea en una fábrica con nivel cero de efluentes que produce papel ondulado [Niovelon, 1997]	269
Figura 5.13: Ejemplo de tratamiento en línea de circuitos de agua cerrados, sistema de tratamiento utilizado por Zuelpich Papier GmbH, Recycled Paper Europe [Diedrich, 1997]	269
Figura 5.14: Esquema simplificado de una planta de tratamiento combinado anaerobio/aerobio de aguas residuales.....	272
Figura 5.15: Cuatro ejemplos de conceptos de plantas de preparación de pasta para procesar papel recuperado para testliner de doble capa	278
Figura 5.16: Principio operativo de una flotación por aire disuelto (DAF).....	283
Figura 5.17: Esquema simplificado de coincineración de rechazos en una planta de energía alimentada a lignito.....	295
Figura 5.18: Proceso combinado de ozonización y reactores de biofilm de lecho fijo	312
Figura 5.19: Bioreactor de membrana con membranas sumergidas en un reactor de lodo activado.....	314
Figura 5.20: Principios fundamentales del proceso de CMR de CCP	316
Figura 6.1: Características claves de una máquina de papel de doble tela	323
Figura 6.2: Sistema de recuperación de calor de una máquina de papel	324
Figura 6.3: Esquema simplificado de las corrientes de agua y pasta en una fábrica de papel.....	326
Figura 6.4: Posible configuración de un sistema de roturas de una fábrica de papel estucado	328
Figura 6.5: Ejemplo de dos calandras distintas: supercalandra y máquina de calandrado	333
Figura 6.6: Diagrama de flujos de materia de una fábrica de papel.....	337
Figura 6.7: Puntos de demanda de agua fresca en una fábrica de papel	341
Figura 6.8: Porcentaje de los distintos grupos de aditivos químicos sintéticos en relación con el consumo global	344
Figura 6.9: Destino de los aditivos químicos en el proceso de fabricación de papel; ejemplo: biocidas.....	346
Figura 6.10: Niveles de ruido de la sala de la máquina antes y después de la remodelación en distintas secciones de una fábrica de cartulina	359
Figura 6.11: Rangos de filtración de las distintas tecnologías de filtración	369
Figura 6.12: Posible configuración simplificada para una fábrica de papel que utilice la ultrafiltración para purificación del agua blanca.....	370
Figura 6.13: Ejemplo de un sistema de recuperación por ultrafiltración para colores de estucado.....	376
Figura 6.14: Principales procesos para el tratamiento externo de las aguas residuales de fábricas de papel y rangos de aplicación correcta	385
Figura 6.15: Enfoque práctico para la evaluación de la cantidad de aditivos fuertemente biodegradables en los efluentes de fábricas de papel después del tratamiento	391
Figura 6.16: Presentación esquemática del destino de aditivos químicos en la fabricación de papel, incluyendo el tratamiento externo [IFP, 1997]	392
Figura 6.17: Posible árbol de decisiones para la gestión de los residuos de fábricas de papel.....	396
Figura 6.18: Opciones para el reciclaje de materias de residuos de fábricas de papel y factores que rigen la elección de las opciones de tratamiento	397
Figura 6.19: Triángulo de combustible para residuos de la industria del papel (facilitado por IFP)	399
Figura 6.20: Ejemplo de una torre de recuperación de calor	408
Figura 6.21: Diagrama de Sankey para una máquina de papel prensa (980 t/d).	409
Figura 6.22: Niveles sonoros L_{Aeq} en un punto de referencia	412

Figura 6.23: Atenuación con un resonador de tubo. Niveles de ruido antes y después de la instalación del silenciador	413
Figura 6.24: Costes relativos de la atenuación del ruido externo [según Valmet].	413
Figura 6.25: Esquema de un posible tratamiento interno y reutilización de agua de la máquina de papel ..	428
Figura 6.26: Esquema del proceso de secado Condebelt® (tipo alta presión)	431
Figura 6.27: Sistema con bomba de calor para generar vapor de proceso.....	432
Figura IV.1: Datos de medias diarias de emisiones de NOx de una caldera de recuperación kraft a lo largo de un periodo de 3 días	491
Figura IV.2: Datos de medias diarias de emisiones de NOx de una caldera de recuperación a lo largo de un periodo de 5 meses	492
Figura IV.3: Media diaria de emisiones de DQO al agua de una fábrica de pasta kraft a lo largo de un periodo de 30 días	493
Figura IV.4: Media diaria de emisiones de DQO al agua de una fábrica de pasta kraft a lo largo de un periodo de 5 meses	493
Figura IV.5: Emisiones medias diarias al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito y papel a lo largo de un periodo de un mes	494
Figura IV.6: Emisiones diarias medias al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito y papel a lo largo de un periodo de 6 meses	494
Figura IV.7: Histograma de flujo de salida de DQO de una fábrica de papel	495

Lista de Tablas

Tabla 1.1: Uso funcional del papel y el cartón	1
Tabla 1.2: Consumo de papel per cápita en 1995	2
Tabla 2.1: índices kappa alcanzados actualmente con las distintas tecnologías usadas	22
Tabla 2.2: Métodos de producción de dióxido de cloro utilizados en Finlandia	28
Tabla 2.3: Carga de contaminación del efluente de descortezado antes del tratamiento biológico.....	32
Tabla 2.4: Descarga esperada de lignina residual medida como DQO de plantas de blanqueo para distintas técnicas de deslignificación	35
Tabla 2.5: Ejemplos de distintas secuencias para el blanqueo de pasta de fibra larga utilizadas en las fábricas de pasta europeos y la descarga correspondiente de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX.....	35
Tabla 2.6: Ejemplos de distintas secuencias para el blanqueo de pasta de fibra corta utilizadas en las fábricas de pasta europeos y la descarga correspondiente de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX.....	36
Tabla 2.7: Descargas de sustancias orgánicas de fábricas de pasta kraft antes del tratamiento externo	36
Tabla 2.8: Descargas antes del tratamiento de fósforo y nitrógeno en kg/t de pasta kraft	37
Tabla 2.9: Descargas de metales de fábricas de pasta Kraft en g/Adt	37
Tabla 2.10: Reducción porcentual en plantas de tratamiento de aguas residuales en fábricas de pasta química	37
Tabla 2.11: Descargas anuales reportadas de fábricas de pasta kraft de la UE	38
Tabla 2.12: Emisiones de calderas de recuperación de pasta kraft en kg/ADt a un caudal de gas de alrededor de 6000 - 9000 m ³ /t.....	40
Tabla 2.13: Emisiones típicas a la atmósfera de un horno de cal	42
Tabla 2.14: Emisiones a la atmósfera de calderas de corteza	44
Tabla 2.15: Ejemplos de emisiones actuales de distintos tipos de calderas auxiliares	45
Tabla 2.16: Ejemplos de valores medidos de emisiones de cloro a la atmósfera de la planta de blanqueo y producción de ClO ₂ de algunas fábricas de pasta en Suecia	46
Tabla 2.17: Emisiones medias a largo plazo (anuales) a la atmósfera de fábricas de pasta kraft en la UE.....	47
Tabla 2.18: Generación media de residuos en fábricas de pasta kraft en kg de materia seca/t de pasta	48
Tabla 2.19: Composición media del lodo de licor verde con distintas cantidades de lodo calizo.....	49
Tabla 2.20: Concentraciones medias de metales en el lodo de licor verde con distintas cantidades de lodo calizo	49
Tabla 2.21: Consumo de los principales compuestos químicos en kg/t ADE para producción de pasta kraft	50
Tabla 2.22: Aportes típicos de azufre a una fábrica de pasta kraft blanqueada.....	50
Tabla 2.23: Consumo medio de energía en fábricas de pasta y fábricas de papel de Suecia en 1995.....	51
Tabla 2.24: Consumo medio de energía para la producción de 243.000 ADt/a de pasta kraft sin blanquear, y producción integrada de 250.000 t/a de cartulina.....	52
Tabla 2.25: Balance de energía para la producción de 243.000 ADt/a de pasta kraft sin blanquear, y producción integrada de 250.000 t/a de cartulina	52
Tabla 2.26: Consumo de energía para producción no integrada de pasta kraft blanqueada, 250.000 ADt/a.....	52
Tabla 2.27: Balance de energía para producción no integrada de pasta kraft blanqueada 250.000 ADt/a	53
Tabla 2.28: Consumo de energía para una fábrica integrada de pasta kraft con 250.000 t/a de papel fino papel fino sin estucar dimensionado con tratamiento superficial.....	53
Tabla 2.29: Balance de energía para una fábrica integrada de pasta kraft con 250.000 t/a papel fino sin estucar dimensionado con tratamiento superficial	53
Tabla 2.30: Consumo medio de energía eléctrica en la fabricación de agentes químicos de blanqueo	55
Tabla 2.31: Resumen de las técnicas disponibles en la fabricación de pasta kraft y su impacto sobre el medio ambiente y la fábrica respectivamente	58
Tabla 2.32: Carga de contaminación de los efluentes del descortezado húmedo y seco antes del tratamiento biológico.....	59
Tabla 2.33: Índices kappa alcanzados actualmente con distintas tecnologías de deslignificación y comparación entre las DQO calculadas en los efluentes sin considerar las pérdidas por lavado	66
Tabla 2.34: Secuencias de blanqueo ECF en procesos kraft para fibra larga y fibra corta	68
Tabla 2.35: Secuencias de blanqueo TCF para pulpage kraft de fibra larga y fibra corta	70

Tabla 2.36: Concentraciones típicas de efluentes en mg/l de fábricas de pasta kraft después de tratamiento biológico (planta de lodo activado), suponiendo instalaciones bien diseñadas y gestionadas.	86
Tabla 2.37: Reducción de las emisiones de NOx mediante el uso de la técnica de aire sobrecalentado en una caldera de recuperación nueva.....	98
Tabla 2.38: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados después de tratamiento primario únicamente en algunas fábricas de pasta en Europa (año de referencia 1997). La mayoría de estas fábricas disponen también de tratamiento secundario (ver Tabla 2.40).	104
Tabla 2.39: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de las mejores técnicas disponibles, alcanzados tras el tratamiento primario.	105
Tabla 2.40: Ejemplos de niveles de emisiones al agua alcanzados tras el tratamiento biológico en fábricas de pasta existentes en Europa (año de referencia: 1997).....	106
Tabla 2.41: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles después del tratamiento biológico.....	107
Tabla 2.42: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados en algunas fábricas de pasta con buen funcionamiento existentes en Europa (año de referencia: 1997)	110
Tabla 2.43: Niveles de emisiones del proceso de fabricación de pasta asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles (no se incluyen las emisiones de las calderas auxiliares).	111
Tabla 2.44: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTD para distintos combustibles	113
Tabla 2.45: Ejemplos de cantidades de residuos sólidos para desecho en vertedero de algunas fábricas de pasta kraft	115
Tabla 2.46: Consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción por tonelada de producto.	116
Tabla 2.47: Comparación de los procesos Organosolv y kraft modificado.....	127
Tabla 3.1: Principales procesos de fabricación de pasta al sulfito en Europa	129
Tabla 3.2: Ejemplos para distintas secuencias de blanqueo utilizadas en fábricas europeas de pasta al sulfito y descarga correspondiente de sustancias orgánicas de la planta de blanqueo medida como DQO.....	133
Tabla 3.3: Datos medios anuales de entradas y salidas de seis fábricas integradas de pasta al sulfito y papel (se producen distintas calidades de papel) que fabrican alrededor de 850.000 ADt/a (1996)	138
Tabla 3.4: Rangos reportados en las descargas medias anuales en kg/Adt de fábricas europeas de pasta al sulfito de magnesio, después del tratamiento.....	140
Tabla 3.5: Emisiones específicas al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito soluble (y fibra de viscosa) antes y después del tratamiento biológico [comunicación personal, 1998].....	141
Tabla 3.6: Descarga de metales de una fábrica sueca de pasta al sulfito parcialmente integrado en 1996.....	141
Tabla 3.7: Consumo de los principales productos químicos en la producción de pasta al sulfito.....	142
Tabla 3.8: Emisiones de las calderas de recuperación de pasta al sulfito en kg/t y concentraciones correspondientes entre paréntesis (mg/m ³) a un caudal de gas de 6000 - 7000 m ³ /t (NTP, gas seco)	143
Tabla 3.9: Emisiones a la atmósfera de las fábricas europeas de pasta al sulfito como medias anuales...	143
Tabla 3.10: Ejemplo de residuos generados en la producción de pasta al sulfito.....	144
Tabla 3.11: Resumen de las técnicas disponibles en la fabricación de pasta al sulfito y su impacto en el medio ambiente y el funcionamiento de la fábrica respectivamente	146
Tabla 3.12: Ejemplo de secuencias de blanqueo para fabricación de pasta al sulfito TCF	148
Tabla 3.13: Descargas al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito después del tratamiento biológico.....	153
Tabla 3.14: Emisiones atmosféricas de la caldera de recuperación en una pequeña fábrica austriaca de pasta al sulfito con una producción de 35000 t/a	156
Tabla 3.15: Ejemplos de niveles de emisiones al agua alcanzados tras el tratamiento biológico de fábricas de pasta existentes con un buen funcionamiento en Europa (año de referencia: 1997).....	161
Tabla 3.16: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles después del tratamiento biológico.....	161
Tabla 3.17: Ejemplos de niveles de emisiones a la atmósfera alcanzados en algunas fábricas de pasta en Europa (año de referencia: 1997 para las fábricas alemanas, y 1998 para las austriacas y suecas)	163
Tabla 3.18: Niveles de emisiones del proceso de fabricación de pasta (caldera de recuperación y emisiones fugitivas) asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles (no se incluyen las emisiones de las calderas auxiliares).	164

Tabla 3.19: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTD para calderas auxiliares con distintos combustibles.....	165
Tabla 3.20: Consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción por tonelada de producto [datos de Jaakko Pöyry, 1998].....	167
Tabla 4.1: Principales materias primas, rendimientos y usos finales de las pastas mecánicas.....	169
Tabla 4.2: Valores medios anuales (año de referencia: 1997) de los niveles de consumos y emisiones de un fábrica alemana para la fabricación de papel de impresión que contiene pasta mecánica (LWC, ULWC, HWC) basado en TMP con blanqueo oxidante (60 % del material fibroso).	179
Tabla 4.3: Valores medios anuales de niveles de consumos y emisiones de fábricas de CTMP finlandesas.....	180
Tabla 4.4: Consumo de agua en la fabricación de pasta mecánica.....	181
Tabla 4.5: Cargas específicas típicas como DBO ₅ , DQO y nutrientes en el agua de la fabricación de l pasta mecánica de abeto noruego (Picea abies) antes del tratamiento externo.....	182
Tabla 4.6: Emisiones alcanzadas con tratamiento con lodo activado en fábricas de pasta mecánica	183
Tabla 4.7: Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de una fábrica TMP alemán antes del tratamiento.....	184
Tabla 4.8: Composición del lodo primario de los tanques de sedimentación y composición del exceso de lodo de la planta de lodo activado	186
Tabla 4.9: Consumo de los productos químicos principales en kg/t para calidades blanqueadas de pasta mecánica.....	187
Tabla 4.10: Consumo de energía y recuperación de energía en fabricación de pasta mecánica	188
Tabla 4.11: Consumo de energía en una fábrica integrado con una capacidad de producción de 500000 t/a de papel prensa a partir de pasta TMP	188
Tabla 4.12: Balance de energía para una fábrica integrada sueca que fabrica 500000 t/a de papel prensa a partir de pasta TMP	189
Tabla 4.13: Balance de energía para una fábrica no integrada de CTMP finlandesa (CSF 400 ml)	189
Tabla 4.14: Resumen de las técnicas disponibles en fábricas de pasta mecánica y quimicomecánica y su impacto sobre el medio ambiente y el funcionamiento de la fábrica respectivamente	192
Tabla 4.15: Ejemplos de niveles medios anuales de emisiones al agua tras el tratamiento primario de algunas fábricas de pasta mecánica y papel en Europa (año de referencia: 1997)	215
Tabla 4.16: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados después del tratamiento biológico de fábricas integradas de pasta y papel en Europa que fabrican papel con contenido de pasta mecánica (año de referencia: 1997)	216
Tabla 4.17: Niveles de emisiones asociados con las MTD como medias anuales para la fabricación de papel con contenido de madera (> 50% pasta mecánica)	217
Tabla 4.18: Niveles de emisiones asociados con MTD como medias anuales para la fabricación de CTMP	218
Tabla 4.19: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTDs para distintos combustibles.....	219
Tabla 4.20: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción de papeles que contienen pasta mecánica por tonelada de producto	221
Tabla 5.1: Niveles de consumos y emisiones para la preparación de pasta para la producción de distintas calidades de papel	237
Tabla 5.2: Datos medioambientales como valores medios anuales para testliner y papel ondulado.....	238
Tabla 5.3: Niveles de consumos y emisiones medios anuales de fábricas de papel a base de FRC que fabrican principalmente papel prensa (normal y de alta calidad)	240
Tabla 5.4: Consumo medio anual y niveles de emisiones típicos para la fabricación de papel tisú.....	241
Tabla 5.5: Consumo de agua típico en la producción de papel y cartón a base de FRC	245
Tabla 5.6: Principales ayudas de proceso y producto y su aplicación en la industria del papel.....	246
Tabla 5.7: Dosis típicas de agentes químicos en el proceso de destintado, incluido blanqueo	247
Tabla 5.8: Ejemplos reales de consumo de energía en la producción de papel tisú y papel prensa a partir de papel recuperado [datos de Valmet]	249
Tabla 5.9: Consumo de energía en una fábrica sueca integrada con una capacidad de producción de 500000 t/a de papel prensa a partir de pasta destintada	249
Tabla 5.10: Balances de energía de dos fábricas integradas de papel prensa a base de FRC con una capacidad de producción de 500000 t/a y 250000 t/a respectivamente	250
Tabla 5.11: Emisiones medias al agua de fábricas a base de FRC después de tratamiento primario y antes de su descarga a una planta de tratamiento de aguas residuales	251
Tabla 5.12: Emisiones medias al agua de fábricas a base de RCF que descargan a medios acuáticos después de tratamiento primario y biológico in situ	252

Tabla 5.13: Contenido de materia seca alcanzable para rechazos, y consumo de energía correspondiente para distintos contenidos de fibra [Datos de un proveedor de maquinaria]	254
Tabla 5.14: Contenido de materia seca alcanzable para rechazos, y consumo de energía correspondiente para distintos contenidos de ceniza [Datos de un proveedor de maquinaria].....	254
Tabla 5.15: Cantidad de residuos en relación con la entrada de materia prima [%] según las calidades de papel recuperado y producido	254
Tabla 5.16: Composición de los rechazos del proceso de papel recuperado para papel ondulado (4-6% de rechazos).....	255
Tabla 5.17: Composición del lodo de la recuperación de fibra y del tratamiento quimicomecánico del agua residual.....	255
Tabla 5.18: Contenido típico de contaminantes del lodo de destintado de fábricas de papel a base de FRC en comparación con el lodo de EDAR municipales	256
Tabla 5.19: Datos de emisiones medidas de la incineración de residuos y lodos de dos fábricas alemanas de papel a base de FRC.	258
Tabla 5.20: Resumen de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD para plantas de proceso de papel recuperado; se indican asimismo las implicaciones sobre otros medios y una nota sobre su aplicabilidad	260
Tabla 5.21: Algunas ventajas y desventajas del cierre de los sistemas de agua en fábricas de papel	264
Tabla 5.22: Valores medios anuales del efluente tratado de una fábrica alemana de papel y cartón a base de 100% FRC	273
Tabla 5.23: Datos de tratamiento con lodo activado de baja carga en producción de papel y cartón a base de fibras recuperadas.....	275
Tabla 5.24: Características principales y demanda de electricidad de distintos conceptos de plantas de preparación de pasta en el proceso de papel recuperado para la producción de testliner de doble capa.....	280
Tabla 5.25: Demanda específica de energía y consistencias operativas para los procesos unitarios en la producción de papel para ondular y testliner	281
Tabla 5.26: Comparación del comportamiento medioambiental de una planta de cogeneración combinada con el suministro por los servicios públicos en las condiciones imperantes en Alemania	286
Tabla 5.27: Datos de emisiones de la incineración de residuos en una planta de combustión de múltiples soleras en comparación con los estándares de la normativa alemana [IFP, 1998]	293
Tabla 5.28: Composición de los rechazos de la fabricación de testliner y papel para ondular	294
Tabla 5.29: Datos de emisiones de la incineración de lodo de destintado (+ un 5% de exceso de lodo) en una planta de combustión en Alemania en comparación con la Normativa Legal Alemana [Declaración Medioambiental Simplificada 1998, fábrica de Sachsen].....	298
Tabla 5.30: Ejemplos de niveles de emisiones medias anuales al agua después de sólo tratamiento primario de algunas plantas integradas de proceso de FRC con y sin destintado.....	304
Tabla 5.31: Ejemplos de emisiones medias anuales al agua alcanzadas después del tratamiento biológico de algunas fábricas de papel con proceso de FRC en Europa (año de referencia: principalmente 1997).....	305
Tabla 5.32: Niveles medios anuales de emisiones y consumos asociados con el uso de MTDs para plantas integradas de proceso de FRC (> 50% FRC) (ej: papel prensa, papel para copia, cartón para cajas plegables en algunos casos) y sin destintado (ej: fábricas de testliner / papel para ondular / fluting / topline blanco).....	306
Tabla 5.33: Niveles de emisiones asociados con el uso de las MTDs para distintos combustibles	308
Tabla 5.34: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción con papel recuperado, por tonelada de producto.....	310
Tabla 6.1: Ejemplo de recuperación de calor y pérdidas de calor de una máquina de papel con una producción de 667 t/d [datos de Valmet]	325
Tabla 6.2: Datos medios anuales de entradas / salidas de la mayor fábrica no integrada de papel fino sin pasta mecánica en Europa (calidades estucadas y sin estucar), con una producción de unas 1018450 t/a (1997)	338
Tabla 6.3: Niveles de emisiones y consumos para fábricas típicas de papel tisú [datos ETS]	339
Tabla 6.4: Ejemplos de las principales materias primas utilizadas para la fabricación de distintos tipos de papel	340
Tabla 6.5: Descargas de agua en fábricas de papel europeas.....	342
Tabla 6.6: Papel de la energía en las principales etapas de fabricación de papel y potenciales de mejora	348
Tabla 6.7: Consumo de energía en una fábrica no integrada de papel estucado con una capacidad de producción de 125000t/a [Informe SEPA 4712-4, 1997]	348

Tabla 6.8: Consumo típico de energía de refino según el producto [DG XVII, 1992].....	349
Tabla 6.9: Consumo de energía típico en fábricas de papel modernas, basado en la capacidad dimensional de la máquina de papel [datos de un proveedor]	350
Tabla 6.10: Consumo específico típico de energía en el sistema de circuito de cabeza de máquina en fábricas de papel	350
Tabla 6.11: Consumo específico típico de energía en el sistema de vacío del lado húmedo de la máquina de papel en fábricas de papel.....	351
Tabla 6.12: Consumo específico típico de energía en los pulpers bajo la máquina de papel.....	351
Tabla 6.13: Consumo específico típico de energía para máquinas nuevas en los refinados, por tonelada de pasta refinada.....	351
Tabla 6.14: Consumo específico típico de energía en los sistemas de preparación de pasta y de agua blanca, por tonelada de papel (excluyendo refino, pulpers y sistema de circuito de cabeza de máquina)	351
Tabla 6.15: Consumo específico típico de energía de los motores de la máquina de papel.....	352
Tabla 6.16: Descargas típicas a las aguas residuales de fábricas antes de cualquier tratamiento y después del tratamiento biológico de aguas residuales [ADEME, 1996]	353
Tabla 6.17: Cantidades de residuos sólidos en [t/a] para algunas calidades de papel	355
Tabla 6.18: Sustancias orgánicas medidas en el aire de escape de las fábricas de papel antes del intercambiador de calor [PTS-FB 09/97].....	357
Tabla 6.19: Principales fuentes de ruido de las máquinas de pasta y papel.....	359
Tabla 6.20: Resumen de las técnicas disponibles a considerar en la determinación de las MTDs para fábricas de papel.....	362
Tabla 6.21: Posibles ventajas e inconvenientes del mayor cierre de los circuitos de agua en fábricas de papel	366
Tabla 6.22: Tratamiento biológico de aguas residuales de fábricas de papel; estudio	386
Tabla 6.23: Resultado de la precipitación química como tratamiento secundario de aguas residuales de fábricas de papel.....	390
Tabla 6.24: Niveles de emisiones alcanzables (media diaria) en calderas con técnicas bajas en NOx (sólo se aplica tecnología de combustión) y eliminación de polvo mediante el uso de precipitadores electrostáticos [datos basados en gran número de plantas en Alemania].....	401
Tabla 6.25: Puntos en los que pueden conseguirse ahorros de energía y efecto de los mismos [DG XVII, 1992]	406
Tabla 6.26: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTDs para distintos tipos de producción de papel, por tonelada de producto	407
Tabla 6.27: Ejemplo de niveles del ruido a alcanzar en la vecindad de fábricas de papel	414
Tabla 6.28: Ejemplos de eficacias de eliminación de sistemas adecuados de tratamiento biológico para los efluentes de fábricas de papel.....	419
Tabla 6.29: Ejemplos de niveles medios anuales de emisiones al agua después de sólo tratamiento primario en algunas fábricas de papel no integradas en un Estado Miembro (año de referencia: 1997).	419
Tabla 6.30: Ejemplos de los niveles medios anuales de emisiones al agua después del tratamiento biológico de algunas fábricas de papel con buen funcionamiento en Europa (año de referencia: 1997)	420
Tabla 6.31: Niveles medios anuales de emisiones y consumos asociados con el uso de las MTDs para fábricas no integradas de papel fino sin estucar, fábricas no integradas de papel fino estucado y fábricas no integradas de papel tisú.	421
Tabla 6.32: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTDs para distintos combustibles.....	422
Tabla 6.33: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de las MTDs para distintos tipos de producción de papel por tonelada de producto.....	425
Tabla 6.34: Indicaciones de los niveles de emisiones que cabe esperar de algunos tipos de fábricas no integradas de papel especial a base de pasta química	426
Tabla II.1: Límites nacionales actuales de descargas para producción de <i>pasta kraft blanqueada</i>	472
Tabla II.2: Límites nacionales actuales de descargas para producción de <i>pasta al sulfito blanqueada</i>	473
Tabla II.3: Límites nacionales actuales de descargas para la producción de <i>papel</i>	473
Tabla II.4: Valores límite de las Comisiones de París y Helsinki (medias anuales) para industrias integradas y no integradas de pasta al sulfito blanqueada y papel.....	476
Tabla II.5: Valores límite de las Comisiones de París y Helsinki (medias anuales) para industrias integradas y no integradas de pasta kraft (al sulfato) blanqueada y papel.....	476
Tabla II.6: Esquema de subclasificación del "Conglomerado de Normas" para la Industria de Pasta y Papel en EE.UU.....	476

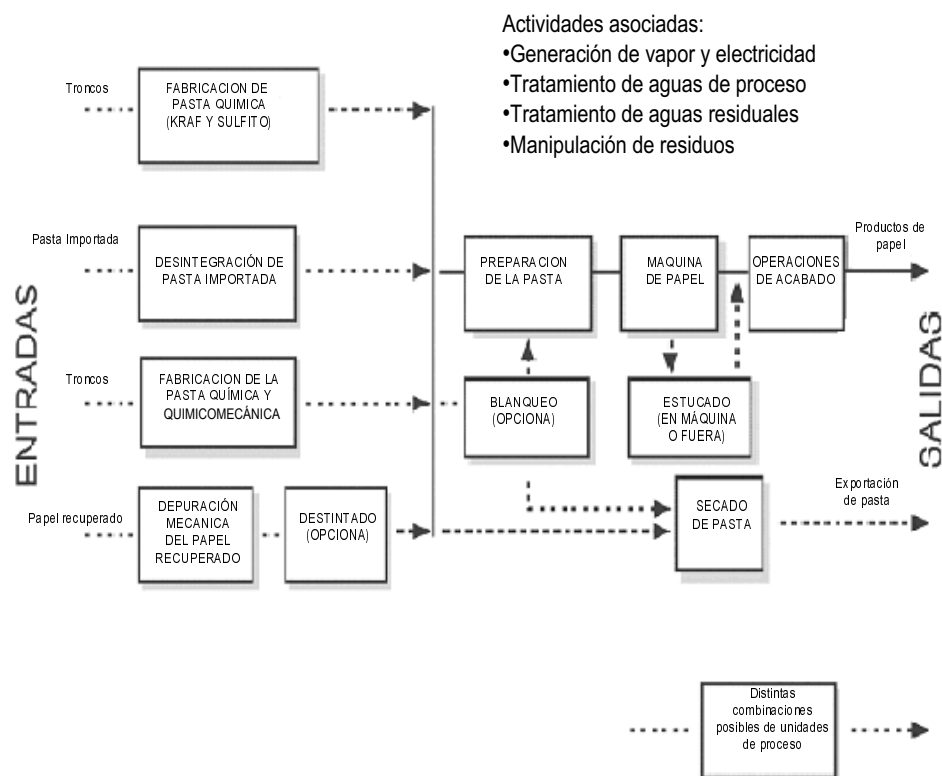
Tabla III.1: Métodos estándar para el análisis de los Sólidos en Suspensión Totales (SST) en la Unión Europea.....	483
Tabla III.2: Normas para la determinación de contaminantes atmosféricos de emisiones de fuentes estacionarias publicadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO)	487
Tabla III.3: Métodos estándar para el análisis de partículas / polvo en la Unión Europea.....	488

ÁMBITO

Una fábrica de papel puede simplemente reconstruir pasta fabricada en otro lugar, o puede tener las operaciones de fabricación de pasta integradas en la misma instalación. Es decir, las actividades involucradas en la fabricación de pasta y el proceso de papel recuperado y las involucradas en las fábricas de papel pueden realizarse por separado o de forma combinada en una misma instalación. Tanto las fábricas de pasta como las fábricas de papel pueden explotarse de forma no integrada o integrada. La fabricación de pasta mecánica y el proceso de fibras recicladas es normalmente parte integral de la fabricación del papel, pero actualmente se ha convertido también en una actividad independiente.

Este BREF cubre los procesos involucrados en la producción de pasta y papel en fábricas integradas de pasta y papel, así como para fábricas de pasta (pasta comercial) no integradas y fábricas de papel que utilizan pasta comprada para la producción de papel.

Las principales operaciones cubiertas en este BREF se ilustran en la figura siguiente.



Las principales operaciones cubiertas por las descripciones son:

- Fabricación de pasta química;
- Proceso de fabricación de pasta kraft (sulfato) ;
- Proceso de fabricación de pasta al sulfito;
- Fabricación de pasta mecánica y quimicomecánico ;
- Proceso de papel recuperado con o sin destintado;
- Fabricación de papel y procesos relacionados.

No se incluyen en este BREF los procesos anteriores, como gestión forestal, producción externa de agentes químicos de proceso y transporte de las materias utilizadas, ni actividades posteriores, como la transformación o la impresión del papel. Esta última, sin embargo, tiene influencia sobre la calidad del papel recuperado y los procesos de preparación de los productos de papel usados.

Hay también una serie de procesos y operaciones medioambientalmente relevantes, no relacionados específicamente con la producción de pasta y papel, por lo que sólo se mencionarán brevemente en este BREF. Entre ellos se incluyen:

- Seguridad laboral y riesgos
- Tratamiento del agua de proceso
- Plantas de energía y electricidad
- Almacenaje y manipulación de agentes químicos
- Sistemas de refrigeración y vacío
- Monitorización de emisiones

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Consumo de papel en Europa

En las sociedades desarrolladas, el uso de multitud de productos de papel y cartón forma parte de la práctica cotidiana para la mayoría de personas. El papel tal como lo conocemos ha existido desde hace más de dos mil años, y compite con éxito con los modernos medios electrónicos de información y con avanzados materiales de envasado de plástico o compuestos. El siguiente resumen de los principales usos funcionales del papel y el cartón muestra la diversidad de productos.

Uso funcional	Calidad típica	Productos finales típicos	Tendencias importantes
Información - recogida - distribución - almacenaje	- Papel de periódico - Papel de revista estucado y sin estucar (SC y LWC) - Papel de impresión y escritura sin pasta mecánica, estucado y sin estucar	- Periódicos - Revistas - Libros - Impresión informática - Fotocopias - Insertos - Ilustraciones	Mayor uso de impresión y copias en color; Los medios electrónicos absorben los documentos bancarios y comerciales; Mayor uso de papel recuperado como materia prima; Mayor uso de aditivos.
Envases y embalajes - transporte - distribución - protección	- Liner - Sacos - Papel ondulado - Cartulina plegable - Cartón para envases de líquidos y briks - Envases y embalajes	- Bolsas - Cajas - Envases y embalajes - Recipientes	Mayor uso en distribución alimentaria; Aumento general del reciclaje de materiales de envase; Mayor uso de materiales compuestos.
Higiene - higiene personal - limpieza - prevención de enfermedades	Papel tisú - crepado seco - crepado húmedo	- Papel higiénico - Papel de cocina - Tisú facial - Servilletas - Toallas - Ropa de hospital - Toallitas	Su uso aumenta con el estándar general de vida; Fin de la cadena para el reciclaje de fibras; Uso de fibra virgen para productos de alta gama.
Especialidades - una gran variedad	- Papel de uso oficial - Papel de filtro - Papeles ignífugos	- Notas - Sellos - Filtros de aire - Filtros para café - Papel de cocinar	Un número cada vez mayor de nuevas aplicaciones.

Tabla 1.1: Uso funcional del papel y el cartón [Finnish BAT Report, 1997, modified by EIPPCB].

Una tendencia no indicada arriba es que cada vez se combinan más funciones de muchos productos, como impresión en envases y toallas.

El consumo de papel y cartón está fuertemente relacionado con el nivel de vida, y a largo plazo hay una fuerte correlación entre el aumento del consumo de estos productos y el crecimiento del PIB (Producto Interior Bruto). Como de muestra en la Tabla 1.2, hay una considerable variación en el consumo per cápita de papel a nivel mundial. Incluso dentro de Europa existen grandes diferencias. Los países europeos con el mayor consumo de papel son Alemania (2,4%), el Reino Unido (17,5%), Francia (14,3%), Italia (12,6%), España (7,9%) y Holanda (4,8%). Se espera que los países de la UE que actualmente están por debajo de la media de la UE aumenten su consumo de papel hasta alcanzar la media actual. Puede predecirse que la fabricación de papel será un sector en crecimiento durante los años venideros.

Región	País	Consumo de papel per cápita [kg/año] 1995	Consumo de papel en miles de t (1995)
Europa Occidental		171	65.834
	Alemania	194	15.821
	Austria	192	1.550
	Bélgica	237	2.663*
	Dinamarca	214	1.134
	España	129	5.147
	Finlandia	175	896
	Francia	164	9.631
	Grecia	82	857
	Holanda	201	3.120
	Irlanda	102	361
	Italia	140	8.076
	Luxemburgo	168	* ver Bélgica
	Noruega	176	756
	Portugal	82	802
	Reino Unido	194	11.288
	Suecia	210	1.857
Europa del Este		19	
	EE.UU.	332	87.409
	China	22	26.499
	Indonesia	14	no data
	Japón	239	30.019
	Brasil	35	5.433
	Egipto	9	No data
Total mundial		49	276.231
Nota:			
* Sólo había disponible una cifra común para Bélgica y Luxemburgo			

Tabla 1.2: Consumo de papel per cápita en 1995 [Pulp and Paper International (PPI), 1996], [Verband Deutscher Papierfabriken, Papier '97].

1.2 La industria de la pasta europea

Europa desempeña un importante papel en la industria mundial de la pasta y el papel, es el segundo mayor productor y consumidor de papel y cartón, tras el líder que es Norteamérica. Su papel en la producción de pasta es significativo: la producción anual de pasta de madera es de unos 35 millones de t/a, y la producción europea representa alrededor de 1/5 del suministro mundial total.

El suministro de pasta se compone de los productores de pasta comercial y de empresas que utilizan la mayor parte de su producción de pasta en su propia producción integrada de papel, vendiendo sólo la parte restante al mercado. En Europa Occidental, la pasta comercial es suministrada por unas pocas fábricas grandes en Finlandia, Suecia, Portugal, España, Austria, Bélgica y Francia. Por lo que respecta a la pasta comercial, la pasta kraft blanqueada es la calidad dominante, y supone más de tres cuartos de la producción total de 9 millones de toneladas. De este total, sólo se suministró al mercado abierto un 11,4% de pasta al sulfito, un 7% de pasta mecánica y quimicomecánica y un 3,2% de pasta al sulfato sin blanquear.

Finlandia y Suecia son los principales productores de pastas de fibra larga y corta, mientras Portugal y España producen cantidades significativas de calidades de pasta de fibra corta. Prácticamente toda la pasta kraft de fibra larga blanqueada y casi el 90% de la pasta de fibra corta blanqueada utilizada en Europa Central es pasta comercial. Unos 3,5 millones de t/a de pasta proceden de Finlandia y Suecia, mientras que Portugal y España exportan aproximadamente 1,5 millones de toneladas de pasta anuales a los países de la CE. Los cuatro

mayores mercados para la pasta comercial son Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido.

Las principales calidades de la pasta de madera para la fabricación de papel en 1996 en Europa eran la pasta al sulfato blanqueada (13 Mt/a, que corresponde a un 40,8%) y la pasta mecánica y semiquímica (12,3 Mt/a que corresponde a un 38,3%), seguida de 4,1 Mt/a de pasta al sulfato cruda (12,7%) y de 2,4 Mt/a de pasta al sulfito (7,5%).

Por lo que respecta a la distribución geográfica, la Figura 1.1 y la Figura 1.2 muestran que Suecia (30,2%) y Finlandia (29,9%) dominan la cantidad de pasta de madera para fabricación de papel. La península ibérica representa un 9,4%, Francia un 8%, Noruega un 7,0% y Alemania un 5,6% de la pasta de madera producida.

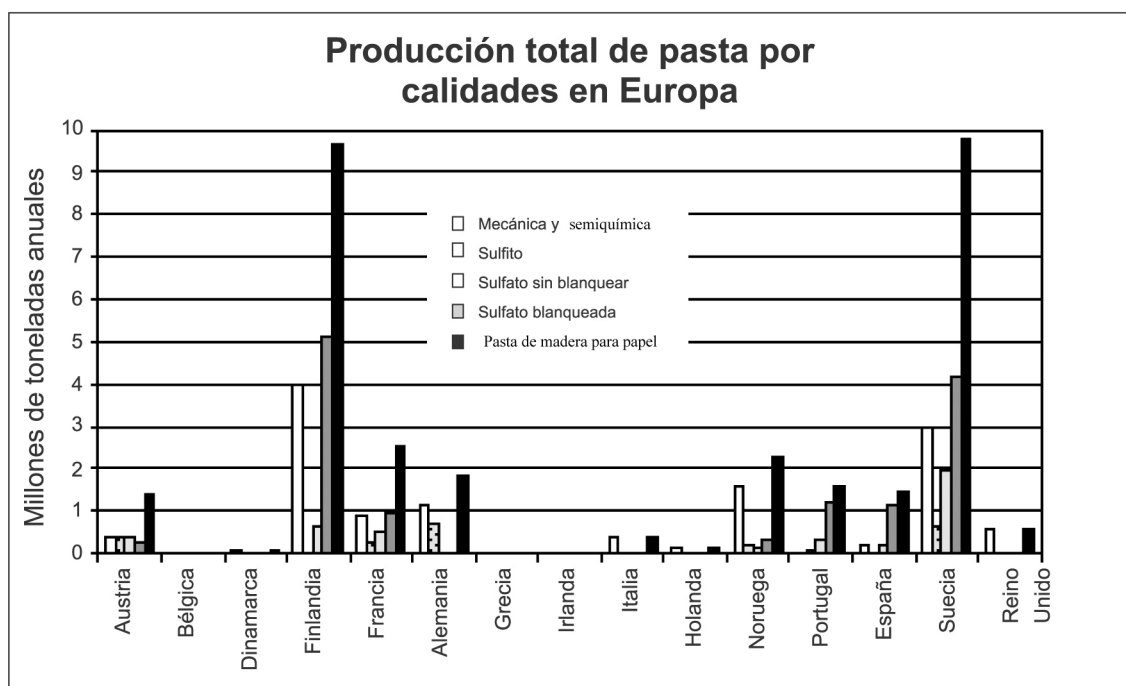


Figura 1.1: Vista general de la distribución de la industria en Europa para producción de pasta [CEPI 1997, Annual Statistics 1996].

En Europa, por lo que respecta a las calidades de pasta, la mayor parte de la producción de sulfato (total: 67 millones) está localizada en Finlandia y Suecia, y España, Portugal, Francia y Austria completan el resto. La mayor parte de la producción de sulfito (total: 24 millones) tiene lugar en Suecia, Alemania, Austria y Francia, y en menor grado en Italia y Portugal.

En Europa Occidental hay 101 fábricas que producen pasta mecánica, ubicadas principalmente en Finlandia, Alemania, Suecia. Francia, Italia y Noruega. Los principales productores de pasta semiquímica (total: 23 millones) son Suecia, Finlandia, Noruega e Italia.

Suecia y Finlandia cuentan con la mayoría de las fábricas más grandes, de más de 250.000 toneladas anuales de capacidad, y sólo unas pocas más pequeñas, del orden de menos de 10.000 toneladas anuales. El tamaño medio de las fábricas de pasta en Europa Occidental es de 180.000 t/a [PPI, 1996]. De las 222 fábricas de pasta en Europa Occidental, 74 producen pasta comercial.

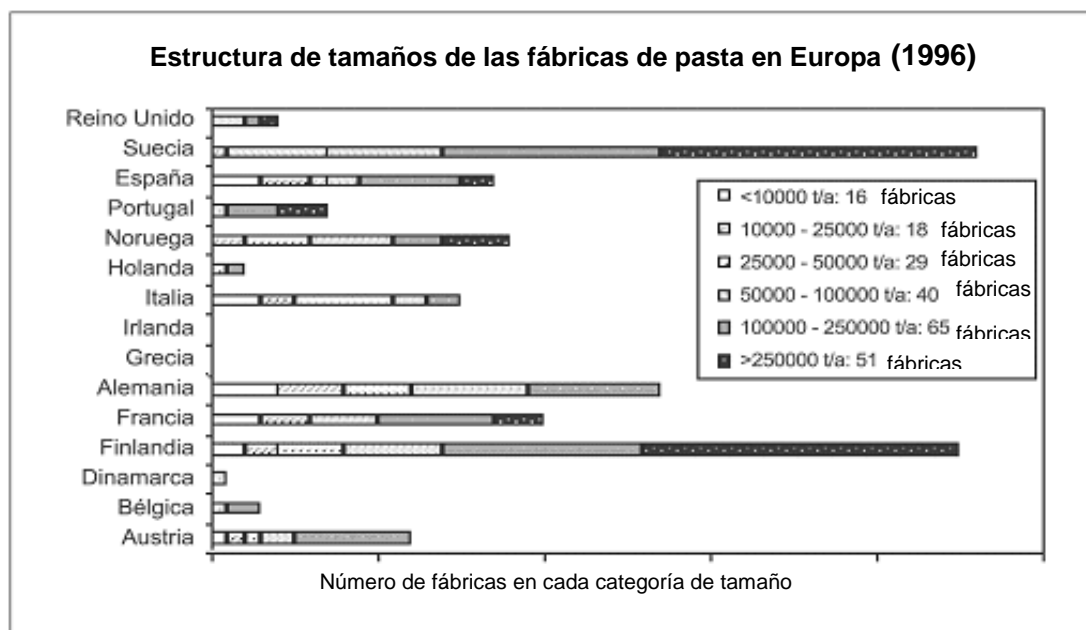


Figura 1.2: Resumen de la distribución por tamaños de los fábricas de producción de pasta en Europa [CEPI 1997, Annual Statistics 1996]

Además de fibras vírgenes, en Europa Occidental se utilizan unos 30 millones de t/a de fibra reciclada, lo que corresponde a aproximadamente un 45 por ciento del total de fibras utilizadas para la fabricación de papel. El porcentaje de utilización es relativamente alto en el papel de periódico (49%), papel tisú y otros papeles higiénicos (66,9%), en liner y fluting (85,9%) y cartones (52,2%). La producción de fibra reciclada es grande en países con una elevada densidad de población y un alto consumo per cápita, como Alemania, Francia, Italia y Holanda, como se muestra en la Figura 1.3. Alrededor de dos tercios del papel recuperado se utiliza para aplicaciones sin destintado (22 Mt), y alrededor de un tercio del papel recuperado (10 Mt) se utiliza para calidades de papel con destintado, como papel de periódico, otros papeles gráficos y papeles higiénicos.

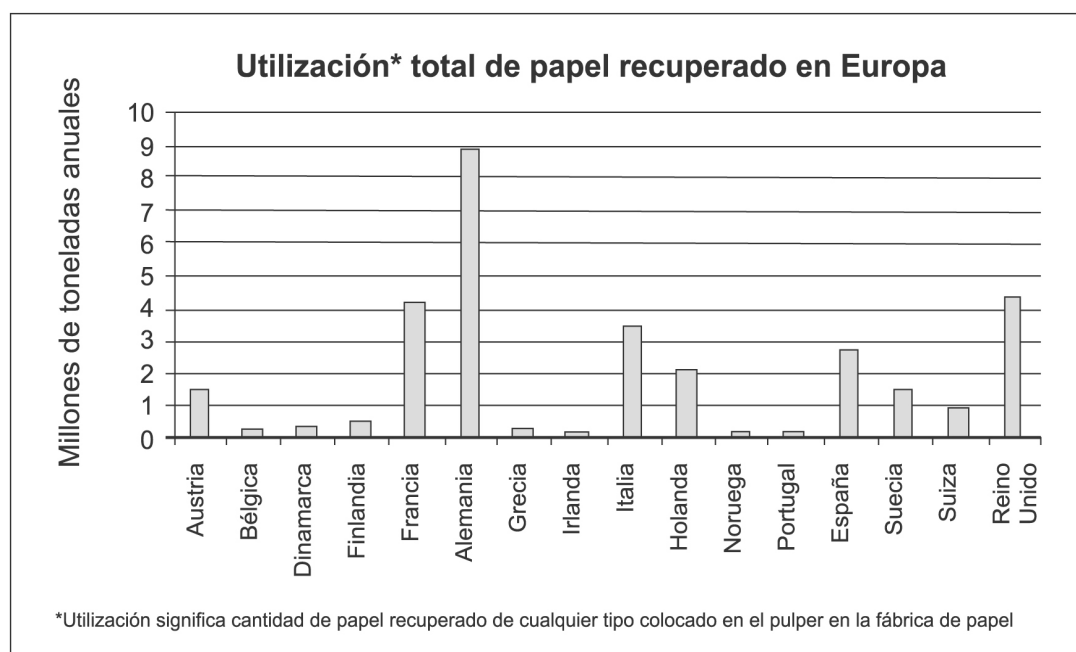


Figura 1.3: Utilización de papel recuperado en Europa en 1996 [CEPI, Annual statistics, 1996].

1.3 Distribución geográfica de la industria europea del papel

La producción europea de papel en 1996 totalizó unos 75 millones de toneladas, lo que corresponde aproximadamente a un cuarto de la producción mundial total de papel y cartón. El término papel cubre el papel y la cartulina de todos los gramajes. Los principales productores de papel son Alemania (20,2%), Finlandia (14,2%), Suecia (12,4%), Francia (11,7%), Italia (9,6%) y el Reino Unido (8,5%). En 1996, las exportaciones totales ascendieron a 41 millones de toneladas, las importaciones fueron de 34 millones de toneladas (las cifras de esta sección se derivan de [CEPI, Estadísticas Anuales 1996]).

De la producción total de papel, alrededor del 40% fue para envases y embalajes; 13% papel de periódico; 38% otros papeles gráficos (escritura / impresión) y 6% papel tisú. Alrededor de la mitad del papel de escritura e impresión fue estucado (12,8 Mt/a).

Los principales productores de papeles gráficos son Alemania y Finlandia, seguidos de Suecia, Francia, Italia y Reino Unido. La producción de papel de periódico se ha concentrado tradicionalmente en Finlandia y Suecia. El uso creciente de fibras recicladas por parte de los productores centroeuropeos ha hecho que el sector haya desplazado sus instalaciones a los grandes centros de consumo, como Alemania. Debido a la naturaleza del papel de periódico como calidad de papel de gran consumo, las unidades de producción disponen de maquinaria de gran capacidad, con una media de 145.000 t/a en el total de Europa Occidental.

Los papeles de impresión y escritura que contienen pasta mecánica se producen principalmente en Finlandia y Alemania, que juntas representan aproximadamente un 60% de la producción total. Los papeles que contienen pasta mecánica son suministrados por fábricas integradas con producción a gran escala.

En la fabricación de papeles de impresión y escritura sin pasta mecánica, Alemania, Francia, Finlandia, Italia, Suecia y Austria desempeñan el papel líder, con una producción de papel notable en la mayoría de los otros países europeos. La mayoría del mercado consiste en un número pequeño de productores concentrados.

Los principales productores de liner y fluting son Alemania y Francia. Representan aproximadamente un 35% de la producción total. La producción a base de fibras recicladas, concentrada en Europa Central, ha crecido a mayor ritmo que la producción a base de fibras vírgenes.

Para la fabricación de cartones se utilizan tanto fibras recuperadas como vírgenes como materia prima. Las calidades a base de fibras recicladas son suministradas predominantemente por la región de Europa Central, mientras que la producción de cartón para cajas plegables y bricks a base de fibras vírgenes se concentra en los países nórdicos. La capacidad de producción consiste en fábricas y maquinarias de tamaño más bien pequeño, siendo la capacidad media de las maquinarias de 33.000 t/a, excepto para las fábricas situadas en Finlandia y Suecia, con una capacidad media de maquinaria de 110.000 t/a.

La producción de tisú se concentra en cuatro países, con Francia. Alemania, Italia y el Reino Unido que producen más del 70% del papel tisú de Europa. Aunque hay más de 60 empresas en total que producen tisú, hay tres multinacionales que dominan, dos estadounidenses y una sueca, con más del 60% entre ellas. Todavía hay empresas pequeñas que fabrican 1000 t/a o menos, se trata de empresas privadas o familiares. El tamaño de maquinaria medio es muy pequeño, de unas 19.000 t/a.

La Figura 1.4 y la Figura 1.5 muestran que la producción de papel está más ampliamente distribuida por Europa que las fábricas de pasta.

La Figura 1.4 distingue entre papeles gráficos (papel de periódico, mecánico sin estucar, papel sin estucar sin pasta mecánica, papeles estucados), papeles sanitarios y domésticos (papel tisú y otros papeles higiénicos) y papeles de envase y embalaje (cartón par cajas, cartón plegable, envoltorios hasta 150 g/m² y otros papeles principalmente para envases y embalajes).

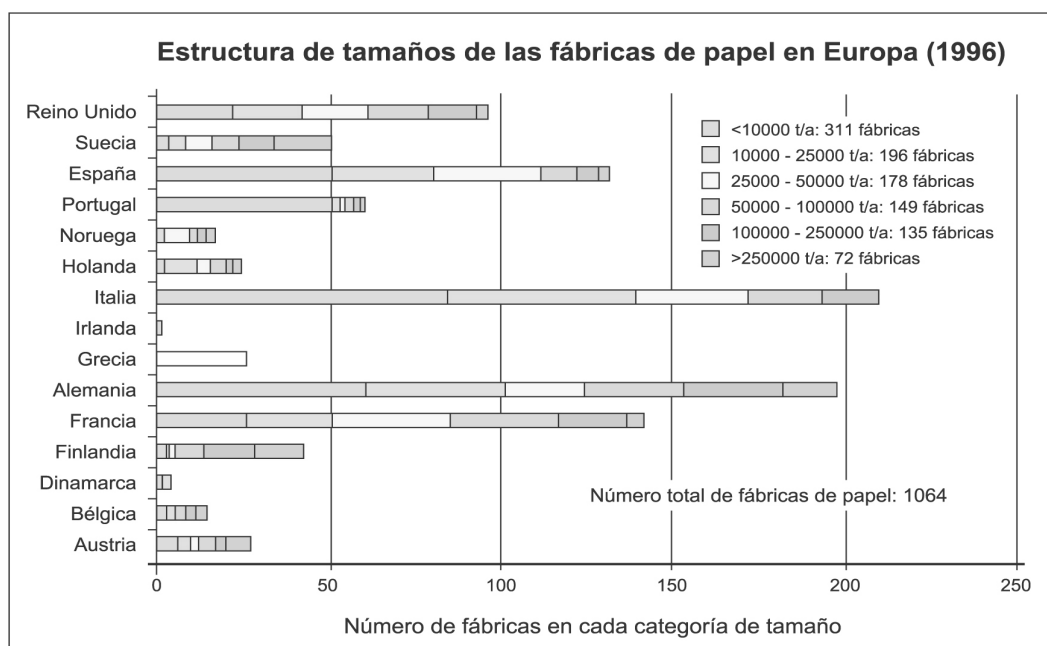


Figura 1.4: Resumen de la distribución de la industria en Europa para la producción de papel.
No hay datos disponibles sobre la estructura de tamaño para las fábricas de papel de Grecia.
[CEPI 1997, Estadísticas Anuales 1996]

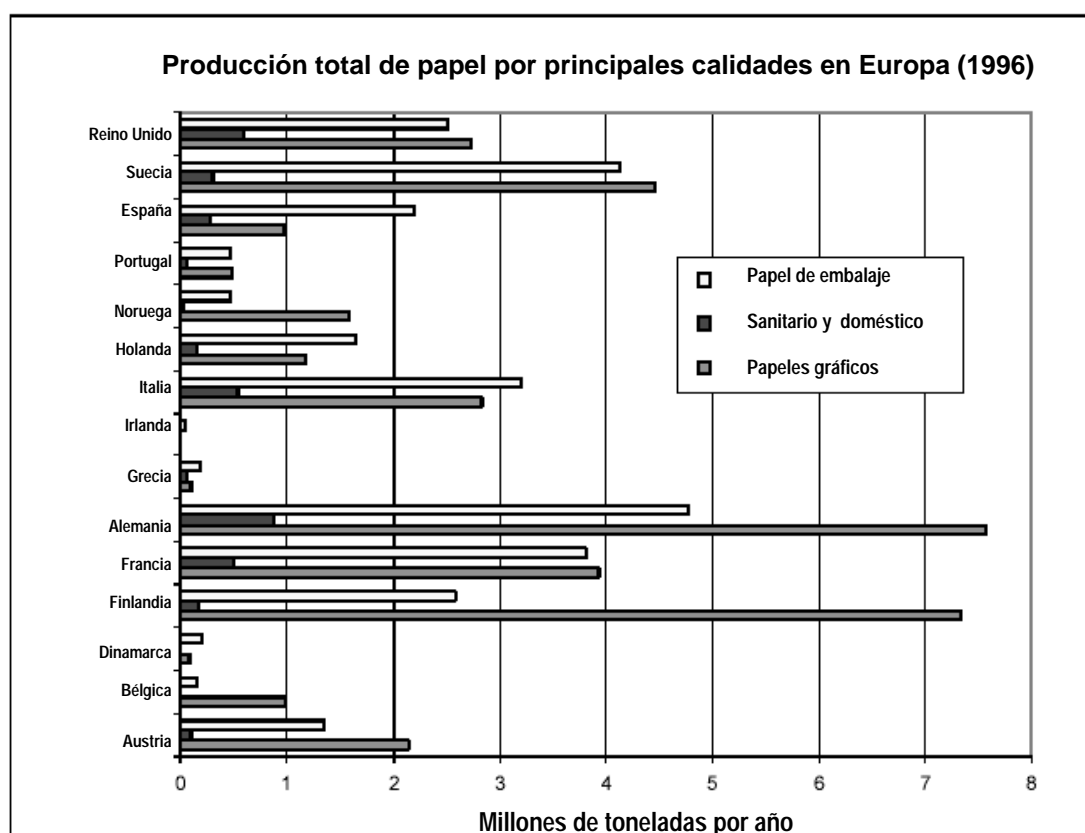


Figura 1.5: Resumen de la distribución por tamaño de las fábricas en Europa para la producción de papel.
[CEPI 1997, Estadísticas Anuales 1996]

La cantidad total de fábricas de papel en Europa es de 1.064, la mayor parte de las cuales se encuentran en Italia, Alemania, Francia y España, que juntas representan 679 fábricas. Sólo 66 fábricas muy grandes se encuentran en la categoría de >250.000 toneladas al año, aunque hay 342 fábricas en la categoría de muy pequeñas, con menos 10.000 toneladas al año. En comparación con la producción de pasta, hay en funcionamiento un número relativamente elevado de instalaciones de fabricación de papel de tamaño pequeño y medio.

Alrededor del 30% de las fábricas de papel están integradas con la producción de pasta. Las calidades de papel con pasta mecánica, como papel de periódico, SC y LWC, están normalmente integradas con producción de pasta mecánica y suelen comprar sólo pequeñas cantidades de pasta mecánica. Especialmente para la fabricación de papel recuperado, el nivel de integración es alto; casi todas las fábricas de papel recuperado incluyen proceso del papel recuperado, y algunas de ellas agregan pasta comprada. No obstante, la producción de papel fino en Europa Central se basa principalmente en pasta comprada, es decir, tiene un elevado porcentaje de industria no integrada, mientras que en los países nórdicos las fábricas de papel están construidas en muchos casos junto a una fábrica de pasta.

Históricamente, las fábricas de pasta y las fábricas de papel estaban, y la mayoría todavía lo están, cerca de algún recurso hídrico, ya que la disponibilidad de agua desempeña un papel primordial en el proceso de producción. Los ríos se empleaban para generar la energía necesaria para la fabricación, para suministrar agua de proceso y como receptor de las evacuaciones de las fábricas. Las vías acuáticas se empleaban para el transporte de las materias primas y de los productos. A medida que el consumo de papel aumentaba, el tamaño de las fábricas comenzó a crecer, y con frecuencia las fábricas se instalaban cerca de las fuentes de materia prima. La comercialización global de la pasta y el uso creciente de fibras recicladas hace que en la actualidad se prefiera situar las fábricas de papel cerca de su mercado.

1.4 Situación económica

La industria de la pasta y el papel está atravesando un proceso de consolidación y globalización, que todavía no ha desembocado en un estado más estable. El proceso de concentración conducirá a una reducción del número de empresas. Como resultado de estos movimientos, la estructura de la industria está cambiando notablemente. En 25 años el número de máquinas de papel en Europa se ha reducido en un 60% mientras que la capacidad total casi se ha doblado. Muchas empresas han crecido invirtiendo en nueva capacidad, pero también consolidando una gran cantidad de pequeñas fábricas obsoletas de papel y cartón. Así, la industria de papel europea se compone de un número relativamente pequeño de grupos multinacionales muy grandes en un extremo de la escala y una gran cantidad de pequeñas empresas en el otro extremo. Gran número de fábricas de tamaño relativamente pequeño han desarrollado estrategias de especialización en el mercado.

Ha habido un cambio significativo en la estructura de la propiedad en los 10 últimos años. Las características típicas en este desarrollo han sido la concentración de productores en compañías más grandes y una integración de las fábricas de papel con productores extranjeros de pasta en compañías más grandes, o las adquisiciones o relaciones de cooperación financiera entre los fabricantes europeos y extranjeros. Empresas de Estados Unidos, la República de Sudáfrica o Indonesia han establecido relaciones comerciales más estrechas con los fabricantes europeos de papel y de cartón. Asimismo, ha habido más tendencias de integración regional y local dentro de algunos países como Suecia y Finlandia. Esto refleja la naturaleza global del negocio de la pasta y el papel hoy en día. Para 2010 se prevé que los mercados principales, que son EE.UU, Europa y Japón, se verán aumentados por Asia, y en particular por China e Indonesia. Los mercados del sureste asiático se espera que crezcan y pasen a liderar el consumo de papel en el mundo. El comercio internacional de papel y fibra para fabricación de papel continuará probablemente siendo una característica de la industria, con un crecimiento continuado en todas las regiones

principales de producción. El crecimiento más rápido se registrará en el comercio de papel y de cartulina, ya que los países con excedente de fibra añaden valor al producto antes de su exportación.

Es típico de la industria de la pasta y el papel que se registren variaciones extremas de precios, por ejemplo fluctuaciones del precio de la pasta kraft del mercado derivadas de un exceso de capacidad y en combinación con una caída temporal de la demanda. La variación de precio no es igual para todos los productos de pasta y papel. Cuanto más cercana está una compañía del consumidor final, más pequeñas son las fluctuaciones de precio del producto. Por ejemplo, el precio de la pasta es mucho más volátil que el del papel tisú. Cuanto más pequeñas son las transacciones y más pequeño es el cliente, más pequeñas tienden a ser las variaciones.

La demanda total de papel y cartón presenta en general una tendencia ascendente, con un aumento del consumo mundial de papel desde 30 millones de toneladas en 1946 a 214 millones de toneladas en 1987. El ritmo de crecimiento se ha reducido levemente desde 1987, y el consumo mundial total de papel en 1996 era aproximadamente de 280 millones de toneladas. Que este crecimiento continúe dependerá en gran parte de la evolución a escala mundial, pero la industria del papel y del cartón espera un crecimiento anual medio de cerca del 3 por ciento hasta el año 2010, aunque no se prevé que las variaciones sean iguales para los diversos tipos de papel.

Los productores dominantes de pasta son los países industrializados del hemisferio norte, es decir EE.UU, Canadá, Suecia, Japón y Finlandia. En Europa, Finlandia y Suecia, en particular, basan gran parte de su economía en los ingresos de las exportaciones de los productos de pasta y papel. Esto es debido al alto grado de "natividad" de estos productos, es decir, se requiere muy poca importación para apoyar la producción.

En 1996 la industria papelera de Europa Occidental daba trabajo a cerca de 260.000 empleados, lo que aritméticamente significa que una persona empleada fabrica cerca de 280 toneladas de papel al año. Esto hace que la industria del papel se considere un sector con un nivel intensivo de inversión.

1.5 Aspectos medioambientales de la industria de la pasta y el papel

La industria de la pasta y el papel se ha considerado históricamente como un gran consumidor de recursos naturales (madera) y de energía (combustibles fósiles, electricidad), agua incluida, y un contribuyente significativo de los vertidos de contaminantes al medio ambiente. Sin embargo, en regiones con una industria de pasta y papel bien desarrollada, mediante una serie de medidas ambientales para un mejor control de las emisiones, tanto internas como externas, las emisiones se han reducido típicamente en un 80-90% o incluso más sobre una base específica de alrededor de 1980.

Para las fábricas de pasta, la materia prima principal es un recurso renovable (madera). En algunos países se han puesto en práctica métodos de gestión forestal sostenible. En 1996 el consumo total de madera para fabricación de pasta en Europa Occidental era de 119,5 millones de m³ (sólidos sin corteza). El consumo de materias primas para la fabricación de papel representó 81,6 Mt de los cuales el 45,9% eran pasta de madera, el 39,3% papel recuperado, el 14,3% materiales no fibrosos (como cargas, tintes etc.) y el 0,5% otras pastas (algodón, lino, corteza, cáñamo, yute, paja y trapos).

Hay una tendencia a utilizar circuitos cerrados de agua en las fábricas de pasta y papel y cabe esperar una mayor reducción de los vertidos (se va hacia fábricas sin efluentes). Sin embargo, hoy en día no hay fábricas de pasta kraft trabajando en continuo que recuperen por completo todo el efluente de la planta de blanqueo. Una fábrica de CTMP, una fábrica de pasta de sulfito

a base de sodio y algunos productores papel para ondular y testliner a partir de fibra reciclada han conseguido un nivel cero de efluentes al agua.

Desde hace algunos años, hay un debate sobre la fabricación de pasta con un mínimo impacto [Axegård, 1997]. Este mínimo impacto es un concepto que hay que considerar con una gama más amplia de aspectos y retos como son la minimización del consumo de recursos y de las emisiones, o la minimización de los efectos sobre otros medios, teniendo en cuenta aspectos económicos y el entorno de trabajo.

En años recientes, las fábricas de pasta causaron emisiones serias de azufre (acidificación), pero durante los últimos años especialmente, las emisiones al aire de azufre se han reducido considerablemente gracias a grandes avances en la tecnología de proceso. El reciclaje de fibras del papel usado en Europa Occidental ha alcanzado un nivel bastante avanzado y para algunas calidades de papel cabe esperar un ulterior aumento. Es posible la recuperación de la energía de los residuos de los procesos de fabricación de pasta y de papel (desechos, lodo), evitando un problema de desecho de residuos. Pero, a este respecto todavía existe un elevado potencial para el uso creciente de técnicas eficientes in situ. Para la fabricación de pasta química no se requiere energía externa, pero la demanda total de energía de proceso está todavía en un nivel alto. La fabricación de pasta mecánica es el proceso con un uso más intensivo de energía debido a la demanda de electricidad de los refinós. El proceso de papel recuperado y la fabricación de papel son también procesos que requieren mucha energía. Esto es causado por el hecho que para la fabricación de papel el contenido sólido de una suspensión diluida de fibras y posibles cargas tiene que convertirse a un porcentaje de materia seca de alrededor del 95%, que es el contenido de materia seca típico de los papeles acabados, mediante prensado y secado (evaporación del agua).

Durante el periodo anterior a 1970-1980 la industria de la pasta y el papel causaba vertidos substanciales de aguas residuales a las aguas receptoras. Los efectos observados eran a veces de carácter dramático con agotamiento del oxígeno y matanzas de peces. Desde finales de los años 70 hasta hace poco tiempo, el énfasis principal se puso en el papel de las sustancias cloradas producidas en la planta del blanqueo. Se han detectado dioxinas y furanos en algunos efluentes de fábricas de pasta y la discusión pública se centró en los efectos nocivos del blanqueo con cloro. La preocupación pública por el peligro potencial para el medio ambiente impuesto por el uso de cloro en las plantas del blanqueo ha producido una disminución drástica del uso del cloro molecular como producto químico de blanqueo durante la década pasada. Las autoridades de control del medio ambiente de muchos países han fijado restricciones severas en las descargas de productos orgánicos tratados con cloro medidos como AOX al medio acuático. Se alcanzó una reducción de los AOX mediante una combinación de diversas medidas: el uso de cloro molecular ha sido sustituido en gran parte por el dióxido de cloro y la introducción de otros productos químicos que contienen oxígeno, tales como oxígeno molecular, peróxido y ozono. Gracias a la fuerte reducción del contenido de cloro de los efluentes, ha sido posible el cierre de los circuitos de la fábrica y el reciclaje del efluente de la planta de blanqueo de nuevo al sistema de recuperación de productos químicos de la fábrica. La reducción de sustancias orgánicas tanto cloradas como no cloradas en los efluentes de las fábricas de pasta se ha conseguido en gran parte gracias a medidas de proceso como por ejemplo: mayor deslignificación antes de la planta de blanqueo mediante una cocción extendida o modificada y etapas de oxigenación adicionales, sistemas de recogida de vertidos, lavado eficaz, y separación y reutilización de condensados. Otro factor que ha contribuido a reducir las emisiones de AOX y de compuestos orgánicos tóxicos no clorados en las aguas receptoras, ha sido la instalación de plantas de tratamiento externas de diversos diseños.

Para poder cumplir las demandas del mercado y requisitos ambientales, las tendencias actuales en la industria de la pasta y el papel son un mayor cierre los circuitos de las plantas del blanqueo, realizando el blanqueo de la pasta sin cloro elemental (ECF) o totalmente sin cloro (TCF).

En las fábricas de papel se registra una reutilización creciente de las aguas de proceso tratadas aplicando sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales integrados en la producción. Se espera que los vertidos de aguas residuales, la gestión de residuos respetuosa con el medio ambiente, el ahorro y recuperación de energía y la eliminación de los olores locales de las fábricas de pasta kraft sigan siendo también prioridades futuras de las acciones medioambientales en la industria de la pasta y del papel.

1.6 Resumen general de la fabricación de pasta y papel

El papel es esencialmente una hoja de las fibras de la celulosa con un número de componentes agregados para afectar la calidad de la hoja y su adecuación para el uso final previsto. Los dos términos de papel y cartón (No. 6.1 b, Anexo 1 de la Directiva de IPPC) hacen referencia generalmente al peso de la hoja del producto (gramaje) siendo papel hasta unos de 150 g/ m² mientras que una hoja más pesada se considera cartón (cartulina).

La pasta para la fabricación de papel se puede producir a partir fibra virgen por medios químicos o mecánicos o se puede producir por desintegración de papel recuperado (FRC). En el proceso de desintegración la materia prima que contiene la celulosa se separa en sus fibras individuales. La madera es la materia prima principal pero también puede usarse paja, cáñamo, hierba, algodón y otras materias que contienen celulosa. La composición exacta de la madera variará según el tipo y la especie, pero los componentes más importantes son celulosa, hemicelulosas y lignina.

La madera contiene naturalmente alrededor de un 50% de agua, y la fracción sólida es normalmente celulosa en un 45%, un 25 % de hemicelulosas y un 25% de lignina y un 5% de otras materias orgánicas e inorgánicas. En la fabricación de pasta química, se utilizan productos químicos para disolver la lignina y liberar las fibras. La lignina y muchas otras sustancias orgánicas entran así en disolución, de la cual pueden recuperarse los productos químicos y el contenido energético de la lignina y de otros compuestos orgánicos. El grado de esta recuperación depende de la base química usada y de la configuración del proceso. En los procesos de fabricación de pasta mecánica se utilizan fuerzas mecánicas para separar las fibras y la mayoría de la lignina permanece con las fibras, aunque hay disolución de algunos compuestos orgánicos.

Las pastas producidas de diversas maneras tienen distintas características, que las hacen adecuadas para determinados productos. La mayoría de la pasta se produce con el fin de la fabricación subsiguiente de papel o cartulina. Una parte se destina a otras aplicaciones tales como tablero aglomerado o productos fabricados a partir de pasta para disolver.

El papel producido utilizando papel recuperado como fuente de la fibra requerirá una cierta limpieza de contaminantes antes del uso y puede requerir destintado según la calidad del material reciclado y los requisitos del producto final. Las fibras son reutilizables varias veces según la calidad del material reciclado y de la aplicación del producto final. El producto de papel puede también contener hasta un 45% de su peso de cargas, estucos y otras sustancias.

Hay muchos productos distintos fabricados por la industria del papel, que pueden dividirse de forma amplia como sigue:

- Papel prensa
- Papeles de impresión y escritura sin estucar
- Papeles de impresión y escritura estucados
- Papeles de embalaje
- Cartones para envases*
- Liner y fluting
- Tisú
- Papeles especiales

* Desde cartón con acabado de alta calidad a diversas calidades de cartón para envases

Cada una de estas categorías exige propiedades específicas del producto, y la vía más apropiada de fabricación de estos productos puede variar substancialmente. Por ejemplo, el papel prensa es un producto requerido en gran volumen sobre una base regular pero sólo es necesario que tenga un grado moderado de resistencia, opacidad, imprimibilidad y una vida relativamente corta. Así una vía de fabricación que implique un alto rendimiento de pasta a expensas del máximo alcanzable de resistencia, blancura y textura puede contribuir al uso eficiente de las materias primas.

En contraste, la calidad crítica de los papeles de embalaje es su resistencia, para que puedan desempeñar su uso previsto. En este caso es necesario aceptar un rendimiento más bajo inherente a una vía de fabricación distinta para conseguir esta resistencia. Los papeles de impresión y escritura necesitan un equilibrio especial de blancura, textura y resistencia, y en algunos se requiere que duren muchos años. Los papeles tisú se fabrican de modo que tengan una buena resistencia en seco y mojado para su peso, y normalmente son de un solo uso y no son reciclados.

1.7 Clasificación de las fábricas de pasta y papel

El alto grado de integración de los procesos en la industria de la pasta y el papel implica que el concepto de MTD debe referirse no sólo a los distintos procesos, sistemas o líneas, sino también a las unidades integradas. Por ejemplo, para reducir los volúmenes de efluentes, el agua tiene que ser recirculada normalmente de la fábrica de papel a la fábrica de pasta, además de los circuitos internos en ambas partes de la instalación.

Al mismo tiempo, cierto producto puede ser fabricado por medio de diversos procesos y sistemas, por lo que puede ser igualmente relevante comparar las diversas opciones, aunque estén basadas en procesos realmente distintos, a la hora de considerar la MTD. Por ejemplo, el papel de periódico puede fabricarse a partir de varias fuentes de pasta tales como la pasta mecánica tradicional (stone groundwood o SGW), la pasta mecánica presurizada (pressurized groundwood o PGW), el pulpaje termomecánico (TMP), la pasta mecánica de refino (RMP), el pulpaje quimicotermodinámico (CTMP), la pasta de sulfito (Si), la pasta kraft blanqueada fibra larga (BSKP), y/o la pasta destintada (DIP). Por supuesto, las diferentes pastas darán lugar a distintas emisiones.

Al igual que la pasta y el papel, los productos son muy diversos, y los procesos aplicados, incluso para un mismo producto, pueden variar grandemente, por lo que se deben tener en cuenta muchos factores de la tecnología de producción para garantizar un alto nivel de la protección del medio ambiente. Las mejores técnicas para la industria de la pasta y el papel no pueden definirse solamente describiendo procesos unitarios. Por el contrario, es necesario examinar y tratar la totalidad de cada instalación como un conjunto.

En un documento facilitado por Finlandia al EIPPCB [J. Pöyry, 1998 b], se hacía una oferta acerca de cómo clasificar la industria de la pasta y el papel dentro de la Unión Europea, distinguiendo las características técnicas de las instalaciones y de su gama de productos. De acuerdo con esta propuesta, las distintas instalaciones técnicas de la zona de la UE se presentan agrupadas en 9 clases principales.

Este esquema de la clasificación está orientado hacia el producto, es decir, distingue MTDs para los diversos productos de pasta y papel.

En la Figura 1.1 se ilustra la relación entre la cantidad de fábricas y las capacidades a nivel europeo según esta clasificación.

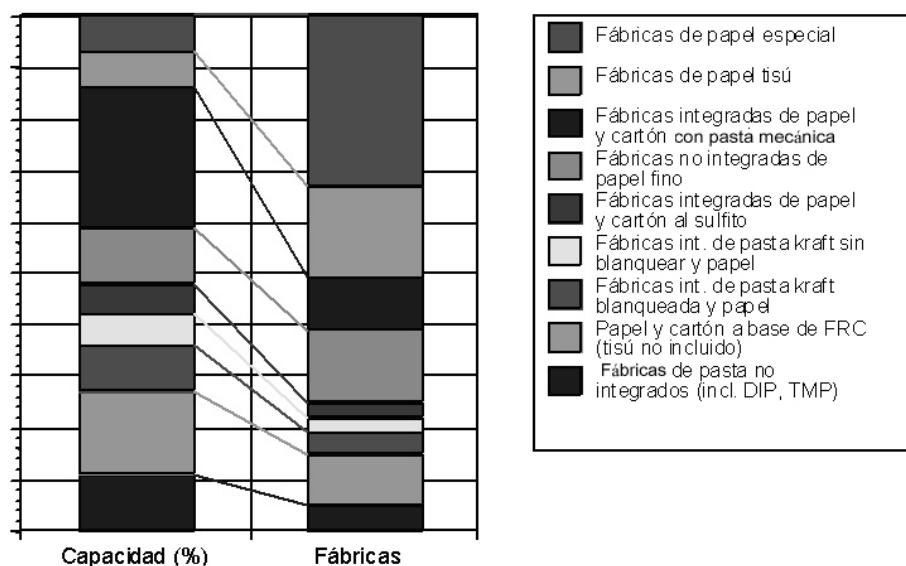


Figura 1.6: Capacidades frente a número de fábricas en Europa. [Según J. Pöyry, 1998; cambios realizados por el EIPPCB]. En este estudio, las 9 clases principales del esquema de clasificación se subdividen en 33 subclases según los distintos productos finales.

Sin embargo, en la industria de papel europea hay una tendencia a utilizar una mezcla de materias primas como aporte de fibra (ej: mezcla de diversos tipos de fibras vírgenes y de fibras recuperadas). Hay también muchas fábricas en Europa que están sólo parcialmente integradas o utilizan mezclas de fibras, que no están cubiertos por la propuesta. Por ejemplo, hay fábricas de papel tisú que utilizan un 10%, 20%, 30% etc. hasta un 90 o 100% de fibras recuperadas. Estas fábricas no pueden describirse sólo a un nivel orientado hacia el producto. Además, muchas de las fábricas son conglomerados, lo que supone un problema cara a la asignación de los vertidos a los distintos tipos de pasta y papel producidos si no se describen estrictamente a nivel de proceso según lo propuesto en este BREF.

El proceso de fabricación de pasta y papel se compone de muchas etapas. Además del material fibroso, el proceso requiere diversos productos químicos y una gran cantidad de agua y energía en forma de vapor, fuel o energía eléctrica. La amplia gama de procesos implicados en la fabricación de pasta y papel se puede desglosar en una serie de operaciones unitarias para su discusión. Puede describirse una secuencia de operaciones que van desde las materias primas al producto, pero los procesos individuales no incluirán todas las operaciones, y algunos de ellos son alternativas mutuamente exclusivas.

Teniendo en cuenta que no hay ninguna oferta buena o mala, sino sólo propuestas más o menos razonables o aplicables, se ha dado preferencia a clasificar la industria del papel europea según lo descrito a continuación. Para obtener una estructuración más clara de la variedad de procesos implicados, los procesos más importantes de la fabricación de pasta, papel y cartón se describen por separado en cinco clases principales, que se describan en capítulos separados en este documento. Los tipos principales de fabricación de pasta y papel se subdividen en varias subcategorías. La Figura 1.7 muestra la estructura propuesta para la industria europea de pasta y papel y la composición del BREF. Desde el punto de vista medioambiental, después de una descripción de las diferencias principales en la producción de pasta y papel, llama la atención lo siguiente:

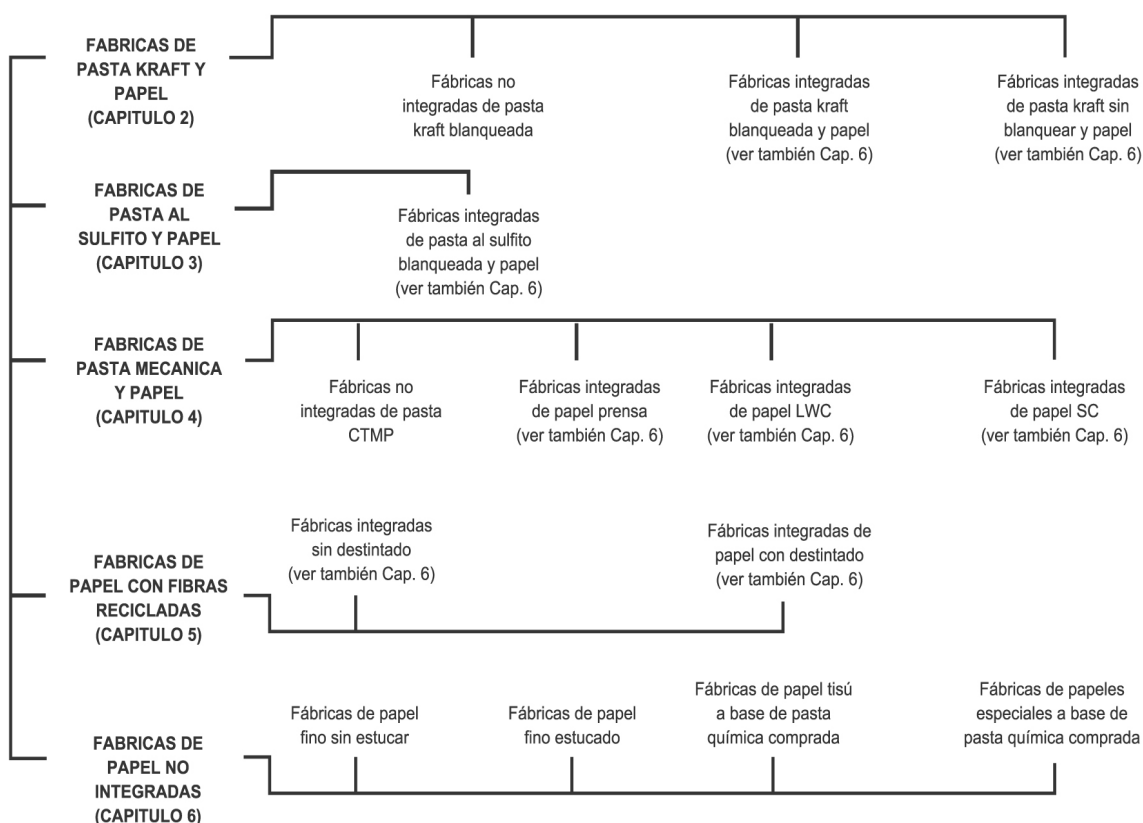


Figura 1.7: Clasificación de las fábricas de pasta y papel propuesta por el presente documento, incluidas referencias cruzadas a los capítulos relevantes para esas fábricas.

El proceso de fabricación de pasta kraft se describe en el Capítulo 2. Dentro de la fabricación de pasta kraft, se distinguen los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD para calidades blanqueadas y sin blanquear. Los niveles de emisiones MTD para las fábricas de pasta kraft no-integradas e integradas se indican ambos en este capítulo. El impacto de la fábrica de papel puede considerarse incluido en los vertidos al agua indicados, dentro de las tolerancias dadas. Por otra parte, dado que el secado de papel consume más energía que el secado de pasta, las cifras de consumo de energía y emisiones a la atmósfera distinguirán entre las fábricas de pasta integradas y no-integradas. Estos aspectos se discuten en este capítulo. No obstante, las secciones correspondientes del capítulo sobre fabricación de papel (Capítulo 6) deben tenerse en consideración a la hora de determinar las MTD para fábricas de pasta kraft y fábricas de papel integradas (técnicas disponibles para la fabricación de papel). Algunos pasos del proceso de la fabricación de pasta kraft son similares para todas las formas de fabricación de pasta (ej: manipulación de la madera, secado) y por lo tanto se describen sólo una vez y se dan referencias a otras partes del documento.

El proceso de fabricación de pasta al sulfito se describe en el Capítulo 3. El proceso al sulfito es mucho menos uniforme (es decir, mayor número de bases y valores de pH) que el proceso de fabricación de pasta kraft, lo que hace mucho más difícil seleccionar las MTD. La descripción se concentra en el principal proceso de fabricación de pasta utilizado en Europa, el proceso al sulfito de magnesio. En este capítulo se da también información adicional sobre el proceso al sulfito neutro (NSSC) y la pasta para disolver.

La fabricación de pasta mecánica y quimicomecánica se describe en el Capítulo 4. Se ha distinguido la pasta mecánica tradicional (Groundwood), la pasta termomecánica (TMP) y la pasta quimicomecánico (CTMP). La mayoría de la pasta mecánica está integrada con la

fabricación de papel. Por lo tanto, los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTDs para la fabricación de pasta mecánica y la fabricación de papel se dan en el Capítulo 4. Sin embargo, debe tenerse en cuenta el capítulo correspondiente de fabricación de papel (Capítulo 6) para identificar las técnicas a considerar en la determinación de las MTD para las fábricas integradas de pasta mecánica y papel. Se hacen referencias cruzadas a otras secciones del documento que es necesario considerar.

El proceso de las fibras recicladas se describe en el Capítulo 5. Se distinguen los niveles asociados con las MTD para procesos con y sin destintado, discutiendo al mismo tiempo otras diferencias en la preparación de las fibras recuperadas, por ejemplo para papel tisú, LWC/SC, cartón. Los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD presentados hacen referencia a fábricas integradas de pasta y papel, ya que la mayoría de las fábricas a base de fibras recuperadas son fábricas integradas. También debe tenerse en consideración el capítulo correspondiente a la fabricación de papel (Capítulo 6). En él se describen las técnicas a considerar en la determinación de las MTD por lo que respecta a la fabricación de papel. Se hacen referencias cruzadas a otras secciones del documento que es necesario considerar.

La fabricación de papel y los procesos relacionados se describen en el Capítulo 6 para las principales calidades de papel que se producen en las fábricas de papel europeas. La fabricación de papel en instalaciones independientes (fábricas de papel no integradas) se trata en este capítulo separado porque, en cifras, la mayoría de las fábricas de papel en Europa son de este tipo. Hay una cierta superposición con las fábricas integradas de pasta y papel, que fabrican la pasta y el papel en un mismo centro. Se hacen referencias cruzadas a las secciones correspondientes.

No se proporcionó ninguna información específica sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTD para la fabricación de cartón. Por lo tanto, en el documento no da ninguna descripción separada de la producción de cartón. Desde el punto de vista medioambiental, las diferencias más importantes están entre el papel tisú y otras calidades de papel y también entre el papel y el cartón estucados en comparación con el papel y el cartón sin estucar. Así, en el Capítulo 6 se distinguen las siguientes calidades:

- Papel de impresión y escritura estucado, como por ejemplo papel fino estucado utilizado para impresión, escritura y fotocopia.
- Papel de impresión y escritura sin estucar, como por ejemplo papel fino sin estucar.
- Fábricas de papel tisú.
- Fábricas de papeles especiales.

Este grupo (principalmente calidades de papel sin pasta mecánica) corresponde al mismo tiempo a los principales tipos de fábricas de papel no integradas en Europa. Por supuesto, en este grupo también hay fábricas de papel integradas.

Las fábricas de papeles especiales son un grupo extremadamente diverso, que cubre una gran cantidad de distintos productos. Las fábricas de papel especial producen a menudo con más de un cambio de tipo por jornada de trabajo. Muchas fábricas de papel especial son también fábricas de papel no integradas. Debido a su variedad de productos, no se presentarán niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD para fábricas de papeles especiales. Los diversos productos tienen sus "problemas medioambientales" específicos; los valores y explicaciones presentados en el capítulo de MTD deben tomarse como ejemplos sobre los niveles de emisiones que cabe esperar de algunos tipos de fábricas de papeles especiales. No debe considerarse que cubran la totalidad del grupo de papeles especiales.

1.8 Presentación de las MTD

Para evitar repeticiones, algunos comentarios generales sobre la selección de las MTD son aplicables a todo el sector de la pasta y el papel.

Para describir las mejores técnicas disponibles para la industria de la pasta y el papel, deben considerarse los siguientes aspectos:

- No hay una sola referencia de las mejores técnicas disponibles en la industria de la pasta y el papel. Por contra, la lista de técnicas a considerar en la determinación de las MTD proporciona muy diversas opciones de MTDs globales para determinadas fábricas, que pueden combinarse de diversas maneras.
- El concepto de MTD está relacionado con el proceso, ya que el impacto medioambiental se causa a este nivel, es decir por los diversos procesos de fabricación, como por ejemplo cocción, blanqueo, destintado, estucado, etc. Los procesos individuales, las materias primas usadas y las características del producto a conseguir determinan la emisión de una fábrica. Esto significa que, al abordar la industria de la pasta y el papel, hay que distinguir los diversos tipos de materias primas usadas y procesos implicados.
- Dado que los productos de la pasta y del papel son muy diversos y los procesos utilizados, incluso para un mismo producto, pueden variar enormemente, hay que tener en cuenta muchos factores de la tecnología de la producción para garantizar un alto nivel de protección del medio ambiente. Para la industria de la pasta y el papel las mejores técnicas disponibles no pueden definirse solamente describiendo procesos unitarios. Por contra, se deben examinar y tratar en su conjunto instalaciones completas. Las MTD en la industria de la pasta y el papel están vinculadas al comportamiento medioambiental de las instalaciones.
- Hay diversas opciones para las combinaciones adecuadas de procesos dependiendo - además de otras cosas - de las características requeridas del producto. En consecuencia, el enfoque orientado al proceso debe ampliarse con un concepto orientado a los productos, es decir, el enfoque de las MTD debe estar ligado al comportamiento medioambiental de tipos específicos de fábricas donde se fabrican los productos específicos. Así, en este documento las mejores técnicas disponibles se presentan por separado para las principales clases de fábricas (ver Sección 1.7).

En vez de valores característicos únicos, el comportamiento ambiental de las fábricas de papel se expresa como un rango de valores. Esto refleja que la fabricación de diversas calidades de papel requiere diversas cantidades y calidades de materias primas (ej: pasta kraft, distintas maderas, mezcla de materias primas etc.), con la consecuencia de que las emisiones por producto final son de diversos niveles. Hasta cierto punto, las emisiones más altas causadas por el uso de materias primas o procesos más contaminantes pueden compensarse con un mayor esfuerzo en la prevención y el control de la contaminación. Los rangos presentados consideran también que las emisiones varían con el tiempo hasta cierto punto, ej: de un año a otro, incluso si se han utilizado las mismas técnicas.

Puede haber un gran número de fábricas que se han concentrado primero en las emisiones al agua y el consumo de agua y luego en la atmósfera, consiguiendo un comportamiento muy bueno en el primer apartado. Puede que se centren menos en la reducción de los residuos sólidos. Pero, siguiendo los objetivos de IPPC, las fábricas deben intentar operar y controlar todo el sistema de una manera integrada para reducir las emisiones y el impacto en el medio ambiente en su conjunto. Siguiendo el enfoque integrado, es evidente que los niveles asociados a MTD pueden alcanzarse de diversas formas, es decir, hay varias opciones para alcanzar niveles de emisiones similares.

La opción final de una combinación adecuada de medidas de prevención y control de la contaminación es por lo general algo distinta en fábricas existentes y fábricas nuevas. Además, para las fábricas existentes la instalación de las MTDs es en general más costosa. Esto es debido a las limitaciones para cambiar soluciones ya establecidas, a los costes de la modernización

cuando la planta está a pleno rendimiento (costes de la parada) y al hecho de que algunas técnicas se pueden utilizar un periodo de tiempo más corto que en las fábricas nuevas (un tiempo más corto de amortización). Pero, aparte de esto, y con la excepción de posibles limitaciones de espacio en las fábricas existentes, las mejores técnicas disponibles indicadas a continuación son, si no se indica lo contrario, aplicables a las fábricas existentes y nuevas.

Debe señalarse que la falta de armonización en los métodos de análisis usados en Europa y las variaciones en los sistemas de procesos y los combustibles utilizados hace que la comparación directa de los niveles de emisiones entre los países sea a veces difícil. En el contexto del intercambio de información sobre MTD hay una necesidad de mejorar la comparabilidad de datos referentes al comportamiento ambiental de las fábricas.

En general, la prevención es la medida más eficaz y preferida para reducir las emisiones. Además de la prevención, la reducción de las emisiones puede alcanzarse aplicando tecnologías en el proceso. Por último, hay algunas técnicas de final de línea (end of pipe) disponibles para el control de la contaminación.

2 EL PROCESO DE FABRICACION DE PASTA KRAFT (SULFATO)

El proceso al sulfato o kraft, que representa aproximadamente el 80% de la producción mundial de pasta, es el método de producción más aplicado entre los procesos de fabricación de pasta química. La importancia del proceso al sulfato ha disminuido constantemente durante los últimos años. Hoy, sólo un 10% de la producción mundial se obtiene por este método. El término "sulfato" deriva del sulfato sódico utilizado, que se agrega en el ciclo de recuperación para compensar las pérdidas químicas. En el proceso de fabricación de pasta química las fibras son liberadas de la matriz de la madera, mientras que la lignina se elimina disolviéndose en la solución química de cocción a una temperatura elevada. Parte de la hemicelulosa se disuelve también en la cocción. En el proceso de pasta kraft, los productos químicos activos de cocción (licor blanco) son el hidróxido sódico (NaOH) y el sulfuro sódico (Na_2S). Debido a la gran cantidad de hidróxido sódico usada, el valor del pH al inicio de una cocción está entre 13 y 14 (proceso de fabricación de pasta alcalino). Este valor disminuye continuamente en el transcurso de la cocción ya que se liberan ácidos orgánicos de la lignina y los carbohidratos durante la reacción de cocción.

Actualmente, el proceso kraft es el proceso de fabricación de pasta química dominante en el mundo debido a las superiores características de resistencia de la pasta en comparación con el proceso al sulfato, a su aplicación a todas las especies de madera, y a los eficaces sistemas de recuperación de productos químicos que se han desarrollado y aplicado. Sin embargo, la química del proceso kraft lleva consigo un inherente problema potencial de compuestos malolientes.

Como resultado de las reacciones químicas en la etapa de cocción, se forman grupos cromóforos de la lignina residual, lo que hace que la pasta se vuelva de un color más oscuro que la madera original. Debido al elevado pH, el proceso de pasta kraft induce más cromóforos que el proceso al sulfato, por lo que la pasta kraft sin blanquear tiene una blancura inicial considerablemente más baja que la pasta al sulfato sin blanquear.

Procesos y Técnicas Aplicados

La Figura 2.1 presenta un esquema de los procesos de una fábrica de pasta kraft [SEPA-Report 4713-2, 1997].

Una fábrica de pasta kraft puede dividirse en cuatro partes principales: manipulación de materias primas, desfibrado químico (deslignificación) con un sistema casi totalmente cerrado de recuperación de productos químicos y de energía, blanqueo con un sistema abierto de agua y un sistema externo de tratamiento de aguas residuales del proceso. Otra división más convencional es la línea de fibras, el sistema de recuperación y el tratamiento externo de aguas residuales. Algunos sistemas auxiliares, como la manipulación de rechazos, la fabricación de productos químicos de blanqueo y la generación de energía auxiliar están conectados con los departamentos principales.

2.1.1 Recepción y almacenaje de la madera

La pila de astillas de madera puede llegar a estar bastante caliente durante este periodo de maduración. El almacenaje durante más de 40 días suele reducir el rendimiento subsiguiente de las fibras. Por otra parte, la fabricación de la pasta mecánica requiere madera fresca, y en todo caso es deseable mantener el contenido de agua de la madera.

2.1.2 Descortezado

El método más común de descortezado es el descortezado en tambor. La corteza se quita mientras los troncos se golpean unos contra otros cuando se mueven por la acción giratoria del tambor de descortezado. La corteza se suelta y las astillas de madera caen del tambor a través de canales inclinados especiales. Los troncos descortezados se rocían con agua antes de pasarlos al proceso de preparación de pasta.

El proceso de descortezado húmedo utiliza grandes volúmenes de agua. En años recientes el descortezado "seco" se ha instalado en muchas fábricas. El descortezado seco da una corteza con un menor contenido de agua, lo que da lugar a un mejor balance energético para la fábrica si se quema la corteza.

En los países nórdicos, hay que descongelar los troncos congelados y la nieve antes del descortezado. Esto puede hacerse en el tambor de descortezado con agua caliente o vapor, o en transportadores especiales de descongelación antes del tambor de descortezado.

La corteza de la unidad de descortezado se alimenta típicamente a una trituradora de corteza y, si está mojada, se prensa para poder quemarla. Existen algunos usos alternativos de la corteza, y en algunos casos se vende externamente, pero el gran volumen de las instalaciones grandes favorece la utilización *in situ* y la recuperación de la energía.

2.1.3 Troceado y criba de la madera

Para los procesos de fabricación de pasta química, los troncos son reducidos a astillas en una troceadora. Es necesaria una distribución uniforme del tamaño de astillas para la eficacia de los procesos y para la calidad de la pasta. Cuanto más uniformes son las astillas después del troceado, más bajo es el consumo de materia prima. Después de la estación de troceado, las astillas son cribadas para quitar las astillas de gran tamaño y el serrín. Sin embargo, el serrín puede también cocerse junto con las astillas o por separado en un aparato para cocer serrín, o puede quemarse o usarse para otros fines. Las astillas de gran tamaño pueden ser reprocesadas en una trituradora o de nuevo en una troceadora. Las astillas se criban según su grosor, ya que éste es un parámetro crítico en la fabricación de pasta química y mecánica. El grado óptimo global se alcanza muchas veces sacrificando un poco de materia prima para asegurar condiciones de proceso estables que, a su vez, promueven una calidad mejor de la pasta y una menor contaminación. El material quitado en la operación de la criba puede ser vendido para otros fines o quemarse en una caldera de combustible sólido con recuperación de calor.

2.1.4 Cocción y deslignificación

En el proceso kraft las fibras son liberadas en la planta de cocción disolviendo la lignina y la parte de la hemicelulosa en la solución química de cocción (licor blanco), que contiene hidróxido sódico y sulfuro sódico como productos químicos activos. Cuando el producto final es pasta sin blanquear, la cocción es la única etapa de deslignificación.

El proceso de cocción puede realizarse en digestores discontinuos o en un digestor continuo. Cuando se usan procesos discontinuos, en la etapa de cocción las astillas de madera y los licores se cargan en un digestor discontinuo, donde realiza la cocción a temperatura y presión elevadas. Cuando se alcanza el contenido residual deseado de lignina (medido como índice kappa), el contenido se descarga a un tanque de soplado y se repite el ciclo de cocción. La cantidad de lignina que permanece en la pasta puede determinarse aproximadamente multiplicando el índice kappa por el factor 0,165 [Uhlmann, 1991], es decir, un índice kappa de 30 corresponde a una lignina residual de aproximadamente un 4,95%.

La cocción puede también realizarse en un digestor continuo (ver figura 2.2), en el que la carga de madera y productos químicos, así como la temperatura en la zona de cocción, definen el contenido de lignina resultante. Las astillas son precalentadas con vapor antes de entrar en el digestor continuo para eliminar el aire, que interfiere con la impregnación. Tras entrar en el digestor, las astillas son impregnadas con licor de cocción y la temperatura se eleva a 155 - 175°C. El tiempo de cocción a la máxima temperatura es del orden 1-2h. En la cocción convencional, la deslignificación de fibra larga (abeto o pino) puede reducirse a un índice kappa de 30 - 35 manteniendo propiedades de resistencia aceptables de la pasta. Para fibra corta (álamo, abedul y eucalipto) el índice kappa puede reducirse hasta 14 - 22 [CEPI, 1997].

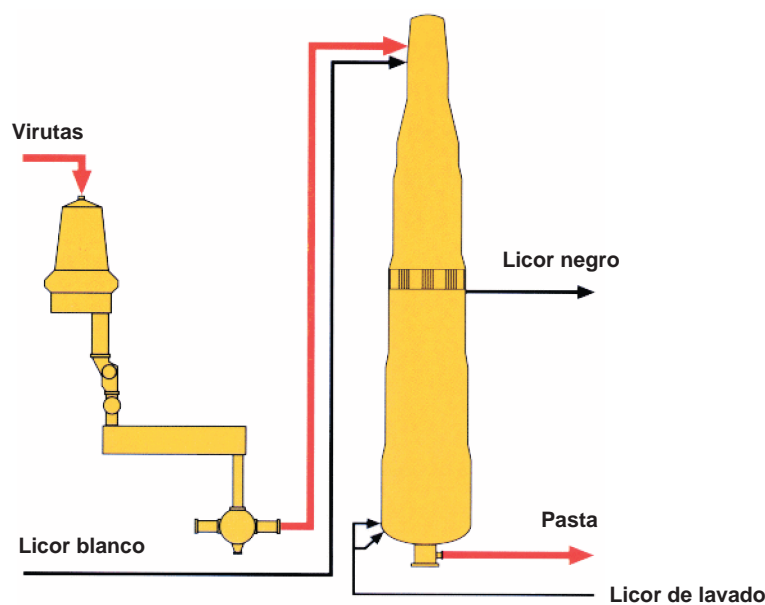


Figura 2.2: Digestor continuo

Debido al mal blanqueo de las pastas kraft y la contaminación causada por el blanqueo de la pasta, se han desarrollado varios métodos de modificación de la cocción con objeto de eliminar más lignina de la fibra cortante la cocción sin reducir el rendimiento. El índice kappa de la cocción de fibra larga puede reducirse a un nivel de 15 - 25 mediante una deslignificación extendida [Finnish BAT report, 1996], y se siguen manteniendo el rendimiento y las características de resistencia. Esto significa que en la pasta queda de un 25 a un 50% menos de lignina en comparación con la pasta con un índice kappa de 32. Los requisitos de agentes de blanqueo subsiguiente se ven por lo tanto reducidos, y también se reducen y los vertidos de efluentes de la planta de blanqueo. Pueden alcanzarse reducciones comparables del índice kappa en la cocción de fibra corta (ver también 2.1.6).

2.1.5 Lavado y filtrado

La pasta procedente del digestor contiene fibras y licor de cocción usado (licor negro). Alrededor de la mitad de la madera se disuelve en la cocción. Por lo tanto el licor negro contiene productos químicos inorgánicos y una gran cantidad de sustancias orgánicas. El licor negro se elimina de la pasta en el lavado subsiguiente y se pasa al sistema de recuperación de productos químicos, donde se recuperan los agentes químicos de cocción y la energía. Las sustancias orgánicas disueltas, junto con los productos químicos de cocción usados, se separan por lavado de las fibras de celulosa en las etapas de lavado de la pasta cruda. Los sistemas modernos recuperan normalmente al menos un 99% de los productos químicos aplicados en el digestor. El lavado de la pasta procedente de una planta convencional con digestor discontinuo se realiza normalmente en filtros de tambor, mientras que una planta con digestor continuo

utiliza la zona de lavado de alto calor del digestor con filtros de tambor o difusores adicionales. En las actuales líneas de cocción de fibras tanto discontinuas como continuas, el lavado comienza ya en el digestor desplazando el licor negro caliente con licor frío de lavado. El lavado subsiguiente se realiza en los diversos tipos de equipo de lavado, como filtros de tambor al vacío, prensas de lavado, difusores o filtros de banda.

El lavado eficiente reduce la cantidad de licor negro que lleva la pasta, lo que produce un menor consumo de productos químicos de blanqueo y reduce los vertidos de la planta de blanqueo. El lavado eficiente reduce también el consumo de productos químicos en la deslignificación con oxígeno. El resultado del lavado depende en gran medida de la eficacia del equipo usado, la consistencia de salida de la pasta y la cantidad de agua de lavado aplicada. Sin embargo, si se mejora el lavado aumentando la cantidad de agua de lavado, en la etapa subsiguiente aumentará la demanda de vapor para evaporar y concentrar el licor negro.

Las prensas de lavado y los difusores son especialmente eficaces para eliminar las sustancias orgánicas disueltas, y éste es un motivo por el que las prensas de lavado han llegado a ser más comunes, especialmente como última etapa de lavado antes del blanqueo. El lavado más extendido puede realizarse en un difusor. La adición del dióxido de carbono al agua de lavado mejora el efecto de lavado.

Antes de su proceso ulterior, la pasta se filtra con filtros de presión y “centricleaners”. El objetivo del filtrado es separar nudos y haces de fibras de la corriente principal de pasta con una serie de equipos vibradores, filtración con filtros de presión y separación centrífuga de las fibras y otras partículas con diversos pesos específicos. Los rechazos del filtrado constituyen otra corriente de residuos que deberá gestionarse.

2.1.6 Deslignificación con oxígeno

Tras la cocción, puede proseguirse la deslignificación con oxígeno en una o dos fases, con o sin lavado inmediato. La deslignificación con oxígeno puede combinarse con cocción convencional y extendida.

La deslignificación con oxígeno se produce en condiciones alcalinas. Para mantener el balance de sodio de la fábrica, la etapa de oxígeno utiliza normalmente el licor blanco oxidado, en el que el hidróxido sódico es el principal producto químico alcalino y el sulfuro sódico ha sido oxidado a tiosulfato. Debido a la solubilidad relativamente baja del oxígeno en el licor alcalino, el reactor de deslignificación se presuriza y la temperatura se eleva a unos 100 °C. En la deslignificación con oxígeno se agrega una sal de magnesio (MgSO_4) para preservar la resistencia de la pasta. El oxígeno se compra normalmente, aunque también hay algunas plantas de producción in situ. Debido a su mejor selectividad y menores costes de inversión, el sistema de consistencia media (MC, 10-15%) ha sido mayoritario en las fábricas durante los últimos diez años, pero también se utilizan instalaciones de consistencia alta (HC, 25-30%). La industria ha optado recientemente por instalar sistemas de deslignificación con oxígeno de dos etapas con el fin de aumentar la selectividad del tratamiento. La deslignificación con oxígeno es generalmente una etapa intermedia en el lavado de la pasta. El agua de lavado se agrega en la última etapa de lavado tras la deslignificación con oxígeno y se hace pasar a contracorriente respecto al flujo de pasta. El lavado tras la deslignificación con oxígeno se efectúa generalmente sólo con una o dos prensas de lavado, o en combinación con algún otro tipo de filtro. El material orgánico que se disuelve durante la deslignificación con oxígeno puede recuperarse y conducirse al sistema de recuperación de productos químicos sin cambios importantes en el proceso. La recuperación reduce la cantidad de material orgánico que va a parar a las aguas residuales y la cantidad requerida de productos químicos.

El grado de deslignificación adicional es del 40-50% en un sistema de una etapa y puede llegar hasta un 70% en un sistema de dos etapas [Finnish BAT report, 96]. El índice kappa después de

la cocción convencional y deslignificación con oxígeno es típicamente de 18-22 para fibra larga y de 13-15 para fibra corta sin la deslignificación extendida (CEPI, 1996). Según la especie de madera, la deslignificación con oxígeno con cocción extendida puede alcanzar una reducción en el índice kappa de alrededor de 8 - 12. El rendimiento global de la pasta puede disminuir en un 1,5 – 2,5%, y todavía hay lignina que deberá ser eliminada por otros medios cuando se requiera una pasta de alta blancura. En la siguiente tabla 2.1. se resume los índices kappa alcanzados actualmente con diversas tecnologías de deslignificación.

Tecnología de deslignificación	Fibra corta	Fibra larga
Cocción convencional	14 - 22	30 - 35
Cocción convencional y deslignificación con oxígeno	13 - 15	18 - 22
Cocción extendida	14 - 16	18 - 22
Cocción extendida y deslignificación con oxígeno	8 - 10	8 - 12

Tabla 2.1: índices kappa alcanzados actualmente con las distintas tecnologías usadas

La reducción del índice kappa de la pasta sin blanquear (pasta cruda), si se alcanza mediante deslignificación extendida en digestor, deslignificación con oxígeno u otro método, reducirá la carga de agentes contaminantes de la planta de blanqueo que entran en el sistema externo de tratamiento de efluentes. Esto es debido a que las sustancias disueltas son conducidas al sistema de recuperación y luego se queman en la caldera de recuperación.

2.1.7 Blanqueo

El propósito de blanquear la pasta química es obtener ciertos criterios de calidad de la pasta con respecto a su blancura, estabilidad de blancura, limpieza y resistencia. La blancura de la pasta kraft sin blanquear es algo baja, por debajo del 30% ISO, mientras que la pasta totalmente blanqueada tiene una blancura del 88% ISO o superior. La cocción y la deslignificación con el oxígeno no pueden eliminar toda la lignina, y para alcanzar esta blancura es necesario eliminar u oxidar la lignina y las impurezas que quedan en la pasta. El índice kappa después de blanquear se reduce por debajo de 1 unidad [CEPI, 1996]).

Mientras que la deslignificación puede llevarse a cabo con sistemas de agua cerrados, las plantas de blanqueo tienden a evacuar el efluente para su tratamiento externo. Estos efluentes de la planta de blanqueo no pueden recircularse fácilmente a la recuperación de productos químicos, principalmente debido al hecho de que estos efluentes de la planta de blanqueo aumentarían la acumulación de cloruros y de otros elementos inorgánicos indeseados en el sistema de recuperación de productos químicos, lo que puede causar corrosión, incrustaciones y otros problemas. Sin embargo, hay proyectos en marcha sobre cómo cerrar los circuitos de la planta de blanqueo, y algunas plantas funcionan con sistemas semicerrados de agua.

El blanqueo de la pasta kraft se realiza en varias etapas, generalmente cuatro a cinco. Los productos químicos más comúnmente usados son dióxido de cloro, oxígeno, ozono y peróxido. Últimamente, el ácido peracético se encuentra disponible comercialmente como producto químico de blanqueo. El cloro y el hipoclorito se han ido eliminado en gran parte como productos de blanqueo en años recientes (ej: decisión del PARCOM sobre la eliminación progresiva del uso del cloro molecular (Cl_2) en el blanqueo de pasta kraft y al sulfito). Pequeñas cantidades de cloro se forman como subproducto, en la mayoría de los sistemas de generación de dióxido de cloro usados, y una parte de este cloro estará presente en el dióxido de cloro que se utiliza para blanquear. El dióxido de cloro y el ozono deben producirse in situ (ver Sección 2.1.11). El peróxido, el oxígeno y el álcali pueden ser suministrados a las fábricas.

El ozono es un agente de blanqueo muy reactivo, mientras que el dióxido de cloro, el oxígeno y el peróxido de hidrógeno son menos reactivos. Debido a los diferentes mecanismos de reacción se

utilizan distintos productos químicos en la secuencia de blanqueo. Las etapas ácidas y alcalinas se utilizan para complementarse entre sí.

El blanqueo al peróxido es relativamente lento y requiere tiempos de reacción largos y por lo tanto volúmenes grandes del reactor o una mayor consistencia de la pasta. La mayor presión hace posibles temperaturas más altas de reacción, dando como resultado un tiempo de reacción reducido o una mejora del resultado del blanqueo. Es necesario eliminar los iones metálicos para evitar la degradación del peróxido de hidrógeno usando agentes quelantes de los metales (es decir EDTA o DTPA) o lavado ácido. Una ventaja del peróxido comparado con los otros productos químicos de blanqueo con oxígeno es que el blanqueo con peróxido, en condiciones óptimas, blanquea la lignina residual.

El tratamiento enzimático antes del blanqueo ha estado en uso en algunas plantas desde 1991. Puede combinarse con diversas secuencias de blanqueo para potenciar la eficacia de los productos químicos usados pero normalmente produce una pequeña pérdida de rendimiento.

Una planta de blanqueo consiste en una secuencia de etapas de blanqueo independientes en las que se añaden varios productos químicos. Cada etapa de blanqueo consta de:

- Dispositivos para mezclar los productos químicos y la pasta.
- Un reactor de blanqueo (torres de flujo ascendente o descendente) diseñado con un tiempo de permanencia adecuado para las reacciones químicas.
- Equipo de lavado para la separación de los productos químicos usados, la lignina eliminada y otras materias disueltas de la pasta (filtro de tambor o de difusor).

Las etapas de blanqueo se designan con una serie de siglas según el agente químico aplicado:

Q	Etapá ácida en la que se ha utilizado el agente quelante EDTA o DTPA para la eliminación de metales
Z	Etapá de ozono con ozono gas (O_3)
P	Etapá alcalina con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en forma líquida
D	Etapá de dióxido de cloro con una solución acuosa de dióxido de cloro (ClO_2)
E	Etapá de extracción con hidróxido sódico ($NaOH$)
E/O	Etapá de extracción con hidróxido sódico con adición subsiguiente de oxígeno gas como agente de refuerzo
E/P	Etapá de extracción con hidróxido sódico con adición subsiguiente de peróxido de hidrógeno como agente de refuerzo

En la actualidad, la deslignificación con oxígeno se ha convertido cada vez más en una etapa de deslignificación seguida de una secuencia de blanqueo de D-E-D-E-D, D-E-D-D, D-EOP-D-E-D o QP-DQ-PO.

Algunas fábricas han respondido a la demanda del mercado de pastas totalmente sin cloro (TCF) modificando la secuencia de blanqueo. Hoy en día, la pasta TCF es una tecnología establecida. Una serie de fábricas tienen la posibilidad de producir pastas ECF o TCF según la situación del mercado. Se han desarrollado y se siguen desarrollando nuevas secuencias, por ejemplo Q-E/P-E-P, Q-Z-P-E-P, OP-ZQ-PO o OP-Q-PO [CEPI, 1997].

La introducción de la cocción extendida y la deslignificación con oxígeno han dado como resultado una recuperación más eficaz de sustancias orgánicas y han permitido también el desarrollo del uso de otros productos químicos en el blanqueo y la minimización del uso de los productos químicos de cloro. Por consiguiente, la cantidad total de compuestos orgánicos y la cantidad total de compuestos organoclorados se han reducido significativamente.

Los dos tipos principales de métodos de blanqueo en uso son el blanqueo sin cloro elemental o ECF (Elemental Chlorine Free, es decir, cuando no se aplica nada de cloro molecular o gaseoso en el

blanqueo) y de TCF (Totally Chlorine Free o totalmente sin derivados clorados). El blanqueo ECF utiliza dióxido de cloro, álcali para la extracción de la lignina disuelta, peróxido y oxígeno para el refuerzo de las etapas de extracción. El blanqueo TCF utiliza oxígeno, ozono o ácido peracético y peróxido para la extracción de la lignina. La selectividad es importante por lo que se refiere al rendimiento y a la calidad de la pasta, puesto que una elevada selectividad significa que el producto químico de blanqueo reacciona primordialmente con la lignina. El dióxido de cloro y el cloro son los agentes de blanqueo más selectivos y la selectividad es mejor en la etapa de blanqueo que en la cocción y la deslignificación con oxígeno.

El blanqueo TCF requiere un índice kappa inicial bajo para la pasta (10 - 12) con el fin de lograr una blancura elevada y buenas características de resistencia debido a la potencia de los productos químicos de blanqueo y la degradación de las fibras durante el blanqueo, aunque es posible alcanzar una blancura final de 89% ISO con blanqueo TCF sin pérdida de rendimiento. En la pasta blanqueada con blanqueo TCF queda una cantidad más grande de lignina residual que en la pasta blanqueada con blanqueo ECF, y este residuo debe ser estabilizado para reducir al mínimo el amarilleo después de la producción. El blanqueo ECF puede aplicarse en una pasta con un índice kappa más alto.

Discusión de blanqueo ECF frente a blanqueo TCF

Durante los 10 últimos años ha habido una discusión e investigación intensiva sobre las ventajas medioambientales del blanqueo TCF en comparación con el ECF. La evaluación de los resultados de la investigación y de las síntesis de la gran cantidad de ensayos de laboratorio y de modelos de ecosistemas, así como de estudios de campo con efluentes reales de fábricas de pasta kraft blanqueada (EMKB) pueden resumirse como sigue:

- La composición química del efluente de fábricas modernas de pasta kraft que utilizan blanqueo ECF o TCF con bajo índice kappa a partir de pasta deslignificada con oxígeno con kappa bajo ha cambiado en gran medida en comparación con la situación de hace 10-15 años, incluso teniendo en cuenta que el estándar operativo de cada fábrica individual es de importancia crucial para la cantidad y calidad de las emisiones [SEPA Report 4785, 1997].
- Las fábricas modernas con blanqueo ECF con bajo índice kappa dan muy bajas emisiones de sustancias orgánicas cloradas, y en el efluente no se detectan en general compuestos fenólicos altamente clorados [ibid.].
- Una comparación entre la capacidad tóxica de efluentes de plantas de blanqueo y de fábricas completas que utilizan distintos esquemas para blanqueo sin cloro, es decir, blanqueo ECF o TCF con bajo índice kappa, muestra que ninguno de ambos conceptos técnicos produce invariablemente efluentes con una menor potencia tóxica [FEI, 1996]. No hay una diferencia clara en el tipo de efecto y su intensidad entre efluentes de fábricas que utilizan blanqueo ECF con bajo Kappa (reducción de cloratos) y de TCF.
- Las ventajas relativas del blanqueo ECF frente al TCF (o viceversa) no son consistentes debido a distintas estrategias experimentales y también a factores ajenos al blanqueo en las distintas fábricas, como por ejemplo el estándar operativo de la fábrica [ibid.].
- El tratamiento secundario de efluentes tiende por lo general a reducir la toxicidad de los efluentes y, según modelos de estudio de ecosistemas, los efectos sobre el ecosistema se ven mitigados tras el tratamiento externo [ibid.].
- Recientes estudios de ecosistemas han indicado una correlación entre la DQO de los efluentes y los efectos observados. Estas observaciones sugieren que no es cuestión de si hay que utilizar ECF o TCF como opción de blanqueo, sino más bien de mejorar la operación de cocción en sí misma [ibid.]. Así, las cantidades de ácidos grasos, ácidos resinosos y esteroides en los efluentes de las fábricas modernas de pasta kraft se ven más afectadas por la materia prima de la fibra o por contribuciones de secciones ajenas a blanqueo que por el propio proceso de blanqueo [SEPA Report 4785, 1997].

- Una secuencia de blanqueo TCF es la alternativa más ventajosa para un mayor cierre de los circuitos del sistema. Sin embargo, el uso de productos químicos de blanqueo totalmente sin cloro requiere una eliminación extensa de los metales (tales como iones de manganeso, hierro y cobre) de la pasta debido a su impacto negativo en el blanqueo al peróxido. Esta eliminación se efectúa generalmente mediante un tratamiento quelante o un lavado ácido de las pastas. Existe una discusión sobre la compatibilidad medioambiental de los agentes quelantes, dado que en condiciones normales son poco biodegradables. Se han hecho progresos para reducir el vertido de los filtrados de etapas quelantes en el medio ambiente (ver Sección 2.5.3).

2.1.8 Depuración de la pasta blanqueada

Tras el blanqueo, por lo general se procede a la depuración final de la pasta. La depuración secundaria se realiza con el mismo tipo de equipo que la depuración de la pasta sin blanquear.

2.1.9 Secado

En una fábrica integrada de pasta y papel, la pasta será transferida a la fabricación de papel en un estado húmedo (con una consistencia de cerca del 4%) y el agua que la acompaña forma parte del balance global de agua de la fábrica. Para una fábrica de pasta no integrada en la que la pasta no se utiliza para la fabricación de papel en la misma instalación, la pasta se prensará primero y luego se secará para su transporte. La máquina de secado consiste en un tren de secado similar aunque más simple que el tren de secado de una máquina de papel, y sirve para la deshidratación inicial de la pasta. Después de la etapa de deshidratación, la pasta se seca con vapor en una sección de la máquina de secado en múltiples etapas. Después de cortarla en hojas, se forman las balas para el envío.

2.1.10 Sistema de recuperación de productos químicos y energía

El sistema de recuperación en una fábrica de pasta kraft tiene tres funciones:

- la recuperación de los productos químicos inorgánicos de cocción;
- la destrucción del material orgánico disuelto y la recuperación del contenido de energía como vapor de proceso y energía eléctrica;
- la recuperación de subproductos orgánicos valiosos (ej: tall-oil).

El valor como combustible del licor negro recuperable es normalmente suficiente para que las fábricas de pasta sean más que autosuficientes en calor y energía eléctrica. Los subproductos orgánicos desempeñan un papel económico limitado en la mayoría de las fábricas de pasta kraft.

Las unidades de proceso principales del sistema de recuperación de productos químicos son la evaporación del licor negro, licor de cocción y del lavado a contracorriente, incineración de los licores evaporados en una caldera de recuperación y caustificación, incluyendo la regeneración de la cal.

En la Figura 2.3 [BMU Austria, 1995] se presenta un esquema de los circuitos de productos químicos que ilustra los principales pasos de proceso y sus funciones.

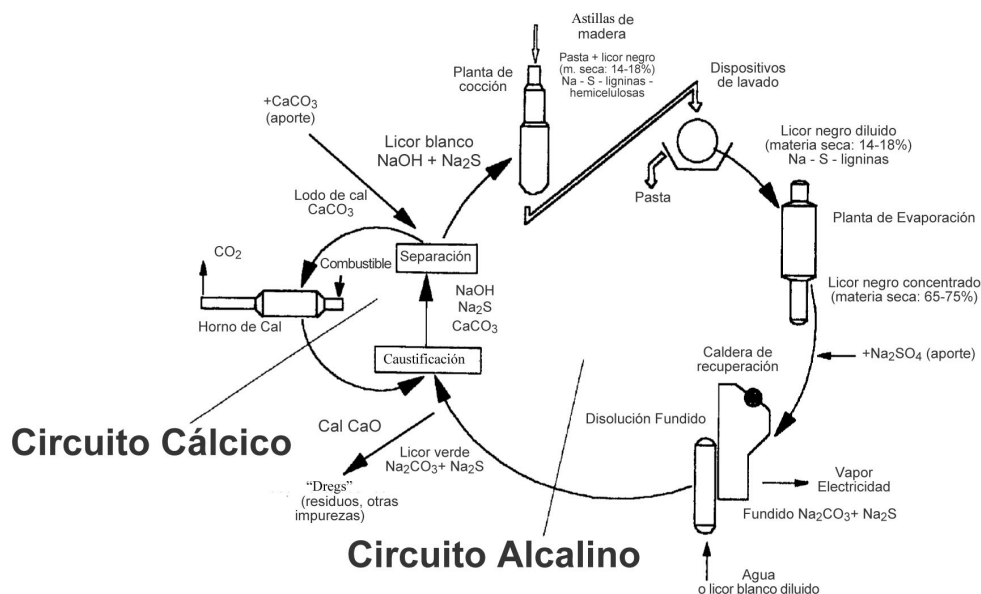


Figura 2.3 Ciclos de recuperación de productos químicos para una fábrica kraft

El licor negro del lavado de la pasta tiene normalmente un contenido de sólidos disueltos de un 14 - 18% que debe ser aumentado considerablemente antes de que el licor pueda ser quemado. El licor se concentra en una planta de evaporación multiefecto hasta un contenido de materia seca del 65-75%, pero a medida que aumenta el contenido en materia seca, la viscosidad del licor negro aumenta y puede llegar a ser demasiado alta para el bombeo. A presión atmosférica el límite superior es de alrededor del 72-74% MS, pero se utilizan dos distintos principios para superar el problema:

- presurizado del licor, de modo que la temperatura más alta del licor reduzca su viscosidad;
- cambiar la reología del licor mediante un proceso de despolimerización térmica.

El licor puede concentrarse a más del 80% de sólidos aplicando un tratamiento térmico al licor negro concentrado y evaporación a presión. En el tratamiento térmico, parte del material combustible se separa como gases no condensables (GNC) que contienen Compuestos de Azufre Reducido (TRS). Estos gases se recogen y queman junto con otros gases malolientes.

Los condensados de los evaporadores del licor negro y de la planta de cocción variarán en cuanto a su grado de contaminación según su origen, pero normalmente contendrán TRS, metanol y algunos otros compuestos orgánicos volátiles. Se tratan en una torre de "stripping" que normalmente está integrada con la evaporación del licor negro usando el vapor secundario (o primario). El "stripping" de los condensados permite reutilizar el condensado en el lavado de la pasta sin blanquear y en la planta de caustificación.

El licor negro concentrado se quema en la caldera de recuperación para recuperar el contenido de sodio y de azufre en una forma química conveniente para regenerar los productos químicos de la cocción y para recuperar energía de los gases de combustión.

Un aumento en el contenido de materia seca del licor negro desde un 65 - 70% hasta un 80 - 85% cambia los balances de materia y de energía, así como las condiciones de combustión en la caldera de recuperación. El caudal de gases de combustión disminuye a medida que entra menos agua en el horno. Aumentando el contenido de materia seca, por ejemplo a más del 80%, puede conseguirse un aumento en la producción o una deslignificación extendida con una recuperación

más eficaz del licor negro en una fábrica en la que la caldera de la recuperación sea el cuello de botella de la capacidad de la producción.

La temperatura de combustión aumenta con una lejía con un mayor contenido de sólidos, lo que hace que se vaporice más sodio (Na), que luego reacciona con el azufre y reduce emisiones de azufre de la caldera de la recuperación.

El material fundido de la caldera de la recuperación se disuelve en agua o en licor blanco diluido para producir el "licor verde", que consiste principalmente en sulfuro sódico y carbonato sódico. El licor verde se clarifica y cáustifica con cal, convirtiéndose el carbonato sódico en hidróxido sódico para producir licor blanco para la cocción. Los residuos de ceniza y otras impurezas se eliminan del proceso como sedimentos de licor verde. El lodo calizo procedente de la caustificación se separa del licor blanco, se lava y se calcina en un horno de cal que se asemeja algo a un horno de cemento rotatorio estándar para regenerar la cal. Esta calcinación es una reacción a alta temperatura, endotérmica, que requiere combustible externo.

La manipulación y la combustión del licor negro con un alto contenido de azufre emite azufre a la atmósfera en forma de dióxido de azufre y gases malolientes que contienen compuestos de azufre reducido tales como sulfuro de hidrógeno (H_2S), metilmercaptano (CH_3SH), sulfuro de dimetilo (CH_3SCH_3) y disulfuro de dimetilo (CH_3SSCH_3).

Los gases malolientes fuertes se recogen y se queman generalmente en un quemador separado o en el horno de cal. Este último se prefiere menos porque puede ser que trastoque su funcionamiento. Los humos se tratan en la mayoría de los casos mediante un lavador, y el agua del lavador se conduce de nuevo al sistema de recuperación de productos químicos. Algunas fábricas de pasta kraft también recogen los gases malolientes débiles en un grado variable. Los gases débiles se emiten en el precalentado de astillas, filtrado, lavado de pasta, tanque de disolución y ventilaciones de tanques, etc.

2.1.11 Preparación de agentes químicos de blanqueo in situ

Los agentes químicos más comúnmente usados para el blanqueo de pastas químicas son dióxido de cloro, oxígeno, ozono y peróxido. Dióxido de cloro y ozono deben producirse in situ. Peróxido, oxígeno y álcalis pueden ser suministrados a las fábricas.

2.1.11.1 Dióxido de cloro

El dióxido de cloro debe generarse in situ porque es inestable como gas y puede almacenarse solamente en solución de aproximadamente un 1% en agua. El gas se estabiliza a las temperaturas de proceso típicas de 40 a 70°C y si la presión parcial de dióxido de cloro se mantiene por debajo de 100 mmHg, durante al menos cinco segundos. Una vez absorbido en la solución, el dióxido de cloro puede almacenarse durante varios meses en la oscuridad a -5°C sin ningún espacio para gas. El dióxido de cloro gaseoso se descompone en cloro y oxígeno, y esta descomposición es explosiva a una presión parcial de 300 mmHg.

Hay una serie de posibles reacciones para producir el dióxido de cloro y algunas técnicas pueden producir hasta 0,7 toneladas de cloro como subproducto por tonelada de dióxido de cloro, mientras que otras producen cantidades muy pequeñas. En la industria de la pasta y el papel, el dióxido de cloro se forma por la reducción ácida del ión clorato ClO_3^- .

El clorato sódico es la fuente comercial común de ion clorato, pero la elección del agente de reducción tiene una gran influencia en los subproductos y la economía. Entre los agentes de reducción que se han utilizado se incluyen el ión cloruro, el peróxido de hidrógeno, el dióxido de azufre y el metanol.

Las técnicas han evolucionado a lo largo de muchos años para maximizar la producción de dióxido de cloro a partir de clorato sódico, reducir al mínimo la formación de cloro como subproducto y también optimizar la producción de ácidos residuales. Las dos técnicas principales, que producen el mínimo cloro como subproducto, son el proceso Mathieson que utiliza clorato sódico, ácido sulfúrico y dióxido de azufre; y el R8, recientemente desarrollado por SOLVAY, que utiliza principalmente clorato sódico, ácido sulfúrico, y metanol. Además, es esencial un poco de ión cloruro para la producción del dióxido de cloro en todos estos procesos. La Tabla 2.2 da una descripción de los diversos métodos de producción de dióxido de cloro.

	MATHIESON	R3	R3H	R5	R6	R7	R8	LURGI R6
Productos químicos de partida (t/t ClO₂)								
NaClO ₂	1,75	1,6	1,68	1,75		1,68	1,65	1,08
NaCl		8				0,35	0,03	
H ₂ SO ₄	1,30	1,1	0,80			0,40	1,10	
HCl		5	0,70	1,40				
SO ₂	0,75	1,7				0,40		
CH ₃ OH		3					0,15	
Cl ₂					0,80			
EI electricidad (MWh)					8,50			
Subproductos (t/t ClO₂)								
Na ₂ SO ₄	1,20	2,3	1,20			1,60		
H ₂ SO ₄	1,60	0					1,30	
Na ₃ H(SO ₄) ₂							0	0,10
Cl ₂	0		0,70	0,80	0,30	0,20		
H ₂		0,7			0,05			
NaCl		0		0,95				
NaOH								0,70

Tabla 2.2: Métodos de producción de dióxido de cloro utilizados en Finlandia. [Finnish BAT report, 1997]

Puede observarse que sólo el método "Mathieson" y el denominado "R 8" no producen cloro como subproducto.

Idealmente cualquier subproducto de sodio y azufre de la producción de dióxido de cloro podría utilizarse en la fábrica de pasta para ser usado como producto químico de adición, por lo que los efluentes serían mínimos o inexistentes. Sin embargo, si se produce más sodio o azufre que los requeridos para su adición en fábrica, deberán ser eliminados del proceso (ver también la Sección 2.2.2.5).

Un problema potencial cuando se utiliza ClO₂ es la formación de clorato. Alrededor del 10% del ClO₂ usado como cloro activo se convierte en clorato. Esto significa que se forman cerca de 4-6 kilogramos de clorato por tonelada de pasta en blanqueo ECF con kappa 18. El clorato es tóxico para las bacterias y el plancton a niveles de unos 3-4 mg/l. Además, inhibe el crecimiento de las algas pardas, como por ejemplo el fucus vesiculosus, en concentraciones a partir de 20 microgramos/l. El motivo es que cuando el N es el factor limitante del crecimiento, las algas absorben clorato, que es un conocido herbicida, en lugar del NO₃⁻.

2.1.11.2 Ozono

El ozono se produce a partir de aire u oxígeno seco mediante la aplicación de altos voltajes (10 - 20 kV) a través de dos electrodos separados por el gas reactante. El ozono no es muy estable y el rendimiento de ozono es bastante bajo, por lo que hay que contar con un elevado nivel de oxígeno sin reaccionar en el gas producto. Un moderno generador de ozono alimentado con oxígeno consume unos 10 - 15 kWh/kg de O₃ generado.

2.1.11.3 Otros agentes químicos de blanqueo

Otros agentes de blanqueo se suministran listos para su uso: peróxido de hidrógeno en solución

al 50%; ditionito como sólido. El oxígeno se compra en su mayoría, pero hay algunas fábricas en Europa que generan oxígeno in situ. En algunas fábricas de pasta se utiliza ácido peracético como agente blanqueante en secuencias de blanqueo TCF. Para la producción de ácido peracético se requieren unos 3 kWh de electricidad /kg de producto.

2.2 Niveles actuales de consumos / emisiones para fábricas integradas y no integradas

2.2.1 Esquema de entradas / salidas

En la Figura 2.4. se muestra un esquema de las entradas de materias primas y energía, así como la salida de productos, subproductos y las principales emisiones (emisiones, residuos, etc.) de la producción de pasta kraft.

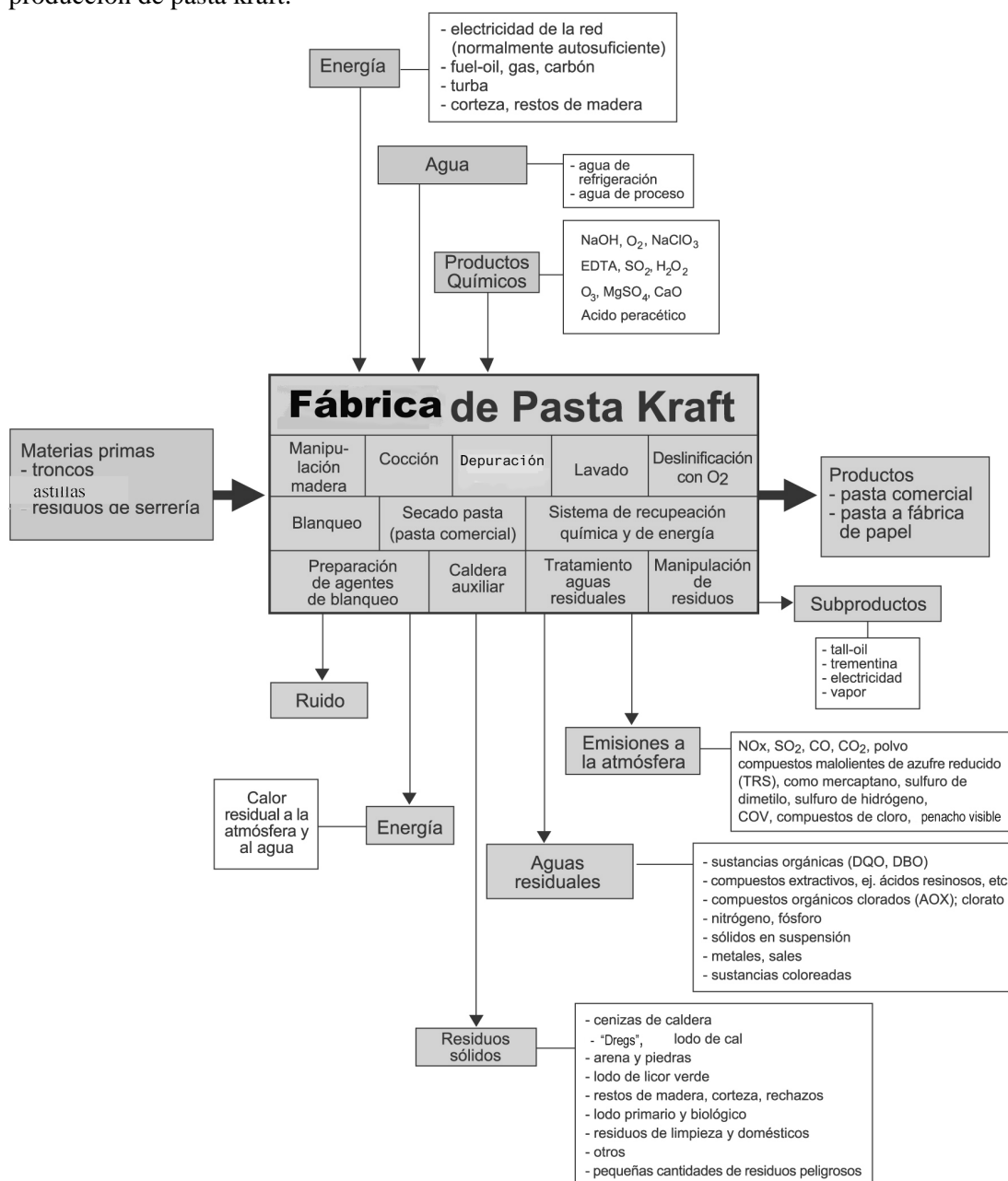


Figura 2.4: Diagrama del flujo de materia de una fábrica de pasta kraft. La presencia de algunas sustancias depende del tipo de designificación y blanqueo.

Las secciones siguientes presentan datos específicos de consumos, así como de emisiones, para los distintos pasos operativos asociados con la fabricación de pasta kraft.

2.2.2 Niveles de consumos y emisiones derivadas de las unidades de proceso

En la fabricación de pasta kraft, los efluentes de aguas residuales y las emisiones a la atmósfera, incluidos los gases malolientes, son los centros de interés, pero en los próximos años también se espera que los residuos se conviertan en un aspecto de preocupación medioambiental. A continuación se discuten los consumos de materias primas y las emisiones al agua, a la atmósfera y al suelo (residuos) más relevantes, así como los aspectos energéticos, cubriendo los aspectos siguientes:

- Consumo de madera
- Consumo de agua y emisiones de aguas residuales de distintos pasos de proceso
 - Manipulación de la madera
 - Condensados de los evaporadores
 - Fugas
 - Pérdidas de lavado
 - Blanqueo
 - Descargas de nutrientes
 - Descargas de metales
- Emisiones a la atmósfera
 - De la cadera de recuperación
 - Del horno de cal
 - De las calderas auxiliares
 - Gases malolientes
 - Compuestos de cloro del blanqueo y la preparación de agentes de blanqueo
- Generación de residuos sólidos
- Consumo de productos químicos
- Consumo de energía
- Ruido

Cuando hay datos disponibles, se facilitan las emisiones al agua, a la atmósfera o al suelo (residuos) antes y después del tratamiento externo.

En cuanto a las cifras de emisiones y consumos reportadas, debe tenerse presente que, debido al uso de diversos métodos de medición en los distintos Estados Miembros, los datos no son siempre estrictamente comparables de un país a otro. (Ver Anexo III para más información al respecto, pero los diversos métodos usados no alteran las conclusiones apuntadas en este documento).

2.2.2.1 Consumo de madera

Todas las especies de madera pueden ser utilizadas como materia prima en el proceso de pasta kraft. Los residuos de tala y serrería pueden ser utilizados en el proceso de pasta kraft. El uso de la madera y su rendimiento en la producción de pasta blanqueada depende de la selectividad en la deslignificación y el blanqueo. La madera requerida para la fabricación de 1 tonelada de pasta química está normalmente entre 4 y 6,6 m³. En la gestión forestal, el volumen se mide como madera bajo la corteza. La densidad de la madera varía con la especie pero está entre 0,4 y 0,6 g/cm³. La cantidad de corteza varía también, pero es de un 12 - 15% en peso.

2.2.2.2 Consumo de agua y residuos de los distintos pasos de proceso

Como se muestra en la Figura 2.5, las emisiones al agua de una fábrica de pasta kraft con planta de blanqueo proceden de distintas etapas de proceso. También se incluyen vertidos accidentales.

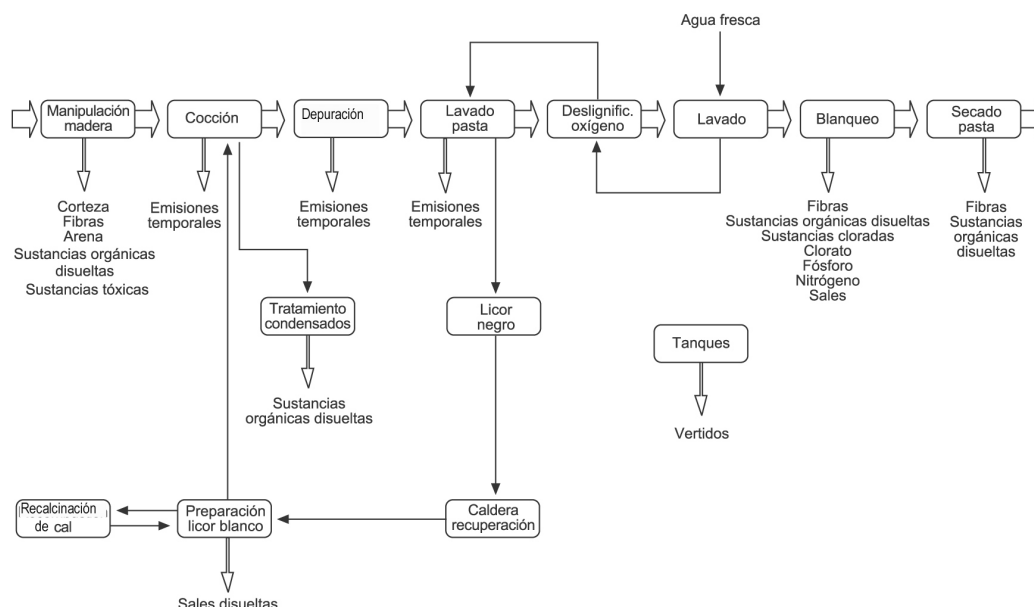


Figura 2.5: Emisiones al agua de una fábrica de pasta kraft

Las emisiones al agua están dominadas por sustancias orgánicas que consumen oxígeno, que se miden como DQO y DBO. El efluente de la planta de blanqueo, donde se utilizan productos químicos de blanqueo con cloro, contiene compuestos orgánicos clorados, medidos como AOX. Algunos compuestos evacuados de las fábricas muestran efectos tóxicos sobre organismos acuáticos, al igual que algunos de los componentes extractivos como ácidos resinosos que pueden lixivarse de la corteza en la manipulación de la madera. Las emisiones de sustancias coloreadas pueden afectar negativamente a las especies vivas del medio receptor, puesto que disminuyen la transparencia del agua. Las emisiones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) tienen un impacto negativo debido a la eutrofización. Los efluentes contienen también, en concentraciones más bajas, distintos metales extraídos de la madera.

El consumo de agua varía considerablemente entre las distintas fábricas de la UE, en un factor de más de 10, entre 15 y 100 m³/t. Las cifras por encima de 50 m³ se deben normalmente al hecho de que se incluye el agua de refrigeración limpia. El consumo de agua en una fábrica de pasta y papel puede reducirse aumentando la recirculación interna del agua. En una fábrica de pasta kraft, esto puede hacerse por ejemplo pasando de descortezado húmedo a seco, cambiando a un equipo de lavado más eficaz, reciclando filtrado alcalino del blanqueo, utilizando los condensados de la evaporación y cerrando el circuito de agua de la sección de depuración. Hay una diferencia en la gestión del agua entre las fábricas de pasta integradas y no integradas. En una fábrica integrada, la pasta pasará del proceso de fabricación de pasta al proceso de fabricación de papel con una consistencia de un 4%, y las aguas residuales de la fabricación de pasta y de la fabricación de papel se tratan generalmente en una sola planta de tratamiento. En fábricas de pasta no integradas, la pasta comercial debe ser deshidratada y secada.

El volumen de agua utilizado va muy ligado a la carga de aguas residuales evacuada de la fábrica. La contaminación depende principalmente del diseño y de la operación de los procesos que causan la mayor parte de las evacuaciones y en el grado de cierre de los circuitos de la

fábrica. Las principales fuentes de aguas residuales y la carga correspondiente de contaminantes se discuten a continuación.

Aguas residuales de la manipulación de la madera

Las aguas de escorrentía del almacén de la madera, por ejemplo en caso de tormenta, pueden estar contaminadas. Sin embargo, la fuente principal de contaminación de la manipulación es la planta de descortezado. Consume agua y crea un efluente que contiene nutrientes, fibras y compuestos orgánicos que consumen oxígeno, como ácidos resinosos, ácidos grasos, etc. que son tóxicos para la vida acuática antes de su tratamiento. El tratamiento biológico ha demostrado ser muy eficaz para eliminar la toxicidad. En la transferencia de descortezado húmedo a seco se reducen el consumo y las evacuaciones de agua. Sin embargo, la sequedad de la corteza sólo se ve afectada marginalmente.

Esto es debido al hecho de que el descortezado seco significa que el agua es reciclada, no que no se utilice el agua. En el descortezado húmedo se utilizan de 0,6 a 2 m³ de agua por m³ madera maciza. El descortezado seco utiliza de todos modos 0,1 a 0,5 de agua por m³ de madera para lavar los troncos y se disuelven algunos productos orgánicos, pero en menor grado que en el descortezado húmedo.

La sequedad de la corteza puede aumentarse prensando o secando la corteza. Un aumento en la sequedad mejorará la generación de calor pero producirá una mayor carga de contaminación. En la Tabla 2.3 siguiente se indican los rangos en la carga de contaminación de los efluentes del descortezado.

Técnica de descortezado	Volumen de efluente m ³ /m ³ madera	DBO ₅ kg/m ³ madera	DQO kg/ m ³ madera	Tot-P g/ m ³ madera
Descortezado húmedo y prensado	0,6 - 2	0,9 - 2,6	4 - 6	5 - 7
Descortezado seco y prensado	0,1 - 0,5	0,1 - 0,4	0,2 - 2	2 - 4

Tabla 2.3: Carga de contaminación del efluente de descortezado antes del tratamiento biológico [Finnish BAT Report, 1997]; La DBO₇ se ha convertido a DBO₅ mediante la fórmula DBO₇ /1,16 = DBO₅ propuesta en el mismo informe

La corteza es normalmente un 35 - 45 % del contenido sólido (sequedad) del árbol. Después de un descortezado normal húmedo o "seco", la corteza tiene un 30 - 35 % de sequedad. Esto se puede aumentar a 40 - el 45% en una prensa, pero entonces hay un efluente adicional a considerar en la prensa. El efluente de la prensa de corteza es tóxico con una DBO elevada (20 – 60 kg/m³). Podría ser tratado en la fábrica de pasta química, alimentándolo al digestor con las astillas para su evaporación subsiguiente y combustión del concentrado en la caldera de recuperación.

Durante el invierno, en los países nórdicos, hay que descongelar los troncos congelados y la nieve antes del descortezado. Esto puede hacerse en el tambor de descortezado con agua caliente o vapor, o en transportadores especiales de descongelación antes del tambor de descortezado. En cualquier instalación, el consumo de agua y los efluentes del descortezado seco aumentarán, situándose en un nivel medio o alto de la tabla anterior.

Condensados de la cocción y evaporación

Los condensados se originan a partir de los vapores de proceso de los digestores y de la planta de evaporación. Se forman de unos 8 a 10 m³/ADt de condensados totales con una carga de DQO de 20 - 30 kg/t y 7-10 kg/ADt de DBO₅. La DQO es principalmente metanol (5-10 kg/Adt) con algo de etanol y un número de compuestos sulfúricos orgánicos (1-2 kg/Adt TRS),

1-2 kg de trementina y compuestos nitrosos inorgánicos. El condensado sucio contiene además cetonas, terpenos, fenoles, resina y ácidos grasos, y diversos gases disueltos. Una gran parte del nitrógeno evacuado de una fábrica de pasta kraft está contenido en los condensados.

Cerca de 1 m^3 de condensado por tonelada de pasta tiene una concentración de DQO de 10 - 20 kg/m^3 . El nivel de condensados es más alto en la pasta de fibra corta que en la de fibra larga. Estos condensados concentrados se tratan normalmente en un “stripper” donde la eficacia de eliminación para la mayoría de compuestos está por encima del 90% según el pH. Los sistemas de “stripper” eliminan generalmente los gases malolientes (TRS) y las sustancias que contribuyen a la DQO al mismo tiempo. Los condensados depurados pueden ser de 1-1.5 kg de DQO/ m^3 de condensado. Normalmente alrededor de 0,2 toneladas de vapor por tonelada de condensado se alimentan al “stripper”. Las técnicas del ahorro de energía permiten reducir el consumo de vapor desde 0,2 t de vapor/t de condensado hasta 0,02-0,04 t vapor/t de condensado. Los gases separados se incineran en un quemador separado con lavado de SO_2 subsiguiente, o se queman en el horno de cal.

Se forman alrededor de 7 - 9 m^3 de condensados más diluidos, con una DQO que va desde 0,5 a 2 kg/m^3 , y que contienen un total de unos 8-12 kilogramos de DQO/t de pasta. Estos condensados están libres de metales y por lo tanto son particularmente útiles para lavado en la planta del blanqueo cuando se pretende cerrar esta parte del proceso. También puede ser reutilizado como licor de lavador para los hornos de cal o como agua para preparación del licor blanco.

Esto significa que algunos condensados se utilizarán en partes cerradas del proceso y no serán evacuados como residuos. Otros condensados se utilizarán en partes abiertas, por ejemplo en la planta de blanqueo, y acabarán en el efluente junto con los condensados que no se reutilizan sino que se evacúan directamente como residuos. Medidas como DQO, las descargas totales de condensados al efluente son normalmente de unos 4 - 8 kilogramos DQO/t de pasta, pero en su mayor parte son fácilmente biodegradables.

Alternativamente, los condensados moderadamente contaminados pueden ser tratados en un sistema ligado a la planta de evaporación, de tal modo que se efectúa el tratamiento sin ningún consumo adicional substancial de energía. De esta manera, la carga total de DQO antes de cualquier reutilización se reduce a unos 5 kg/t , una reducción de alrededor del 50% en comparación con tratar solamente los condensados más contaminados.

Fugas de distintos departamentos del proceso

La fuga de fibras y de licor negro se produce en la planta de digestión, en la planta de depuración, y durante el lavado. Hay también fugas de la planta de evaporación y de tanques. Durante la caustificación se producen fugas de licor blanco, de licor diluido, de cal etc. La mayoría de las fugas pueden recogerse y reciclarse si se utilizan volúmenes adecuados de almacenaje intermedio y se emplean procedimientos apropiados. Las fugas de componentes mecánicos tales como bombas pueden limitarse, por ejemplo eligiendo juntas adecuadas.

Normalmente se comprueba la conductividad o el contenido de fibras de los flujos de salida individuales de las aguas residuales, con el fin de decidir qué líquidos fugados se reciclan en el proceso y a cuáles se desechan como residuos. Puede conseguirse una mejor recogida de fugas si el agua limpia, como el agua de refrigeración o de sellado, utiliza conducciones separadas. El agua fugada restante puede entonces reciclarse más fácilmente en la parte apropiada del proceso.

Medida como DQO, la descarga de materias orgánicas en fugas está normalmente entre 2 y 10 kg/t de pasta. La cifra más baja se consigue usando volúmenes de almacenamiento intermedio suficientemente grandes y procedimientos apropiados de supervisión. En principio debe ser

posible reducir las descargas de fugas a cero si las aguas limpias de refrigeración y sellado utilizan conductos separados, se dispone de volúmenes suficientes de almacenamiento intermedio y se aplica una buena política de limpieza y mantenimiento.

La recogida mejorada de fugas reduce no sólo los vertidos al agua, sino que permite también la reutilización de recursos valiosos como productos químicos, fibras y energía.

Residuos de licor negro (pérdidas de lavado) de la manipulación de pasta sin blanquear

La eficacia del lavado de la pasta en la fabricación de pasta química está relacionada inicialmente con recuperar el máximo posible de productos químicos de cocción y de sustancias orgánicas disueltas. El lavado con prensa en la última etapa puede reducir la cantidad de agua desde 6 - 10 m³/t de pasta hasta 2 - 3 m³/t, aumentando con ello la cantidad de productos químicos y de contaminantes quemados eventualmente en la caldera de recuperación. La reducción de contaminantes en la pasta es sin embargo menor de lo que indica la reducción del flujo. El lavado no es eficaz al 100%, así que una cierta cantidad de productos químicos y de agentes contaminantes se transporta con la pasta a la etapa de blanqueo donde consume productos químicos de blanqueo y entra en el efluente.

Existen métodos estandarizados para medir este arrastre, que a menudo se denomina "pérdida de lavado", y que originalmente se midió como kg de sulfato sódico por tonelada de pasta. Dado que esta pérdida de producto químico de adición ha pasado a ser menos importante para el proceso y más para la protección del medio ambiente, la pérdida de lavado se mide ahora normalmente como DQO. En la actualidad, las pérdidas de lavado son típicamente 5 - 10 kg de DQO/t para fibra larga y 7 - 12 kg de DQO/t para fibra corta.

Descarga desde la planta de blanqueo

La planta de blanqueo es el punto más importante de descarga de contaminantes al agua en una fábrica de pasta. Si la planta de blanqueo puede cerrarse total o parcialmente, esto daría lugar a ulteriores reducciones sustanciales de las descargas al agua de sustancias, nutrientes y metales orgánicos. Las cifras típicas de cantidades de aguas residuales de una planta de blanqueo son 20 - 40 m³ de agua por tonelada de pasta. Muchas fábricas han intentado aumentar el grado de cierre de la planta del blanqueo reduciendo el volumen del agua. El cierre parcial de las plantas de blanqueo se consigue actualmente tanto en la planta ECF como TCF. Comparando con plantas de blanqueo abiertas la reducción de la carga de DQO ha sido de un 25-50 %, y la reducción en el caudal incluso mayor, bajando hasta 5-10 m³/t de pasta, en comparación con el valor más normal de 25 m³/t de pasta.

Las emisiones de la planta de blanqueo dependen de una serie de factores: el grado de deslignificación alcanzado antes de que la pasta entre en la planta de blanqueo, la pérdida de lavado, las secuencias de blanqueo escogidas y los productos químicos de blanqueo usados, el tipo de madera, la blancura final de la pasta a alcanzar y el grado de cierre de la planta del blanqueo.

En la Tabla 2.4 se presentan ejemplos de interrelación entre el tipo de madera, las técnicas y el grado de deslignificación antes de la planta del blanqueo, y la DQO generada durante el blanqueo. Los índices kappa se basan en los valores conseguidos actualmente a escala comercial usando varias técnicas de deslignificación. El cálculo para la descarga de lignina residual en kg DQO/t de pasta se basa en una descarga de aproximadamente 2 kg DQO por unidad kappa y en una pasta blanqueada al máximo blancura. Sin embargo, cuando el índice kappa es inferior a 10, la descarga de DQO está más próxima a 1,5 kg por unidad kappa [OSPAR, 1994].

Método de cocción	Design. con oxígeno Blanqueo con ozono	Pasta de fibra corta		Pasta de fibra larga	
		kappa	DQO [kg/ADT]	kappa	DQO [kg/ADT]
Cocción convencional	---	18	38	30	63
Cocción convencional	Design. con oxígeno	13	27	15	32
Cocción modificada	---	16	34	20	42
Cocción modificada	Design. con oxígeno	10	15	12	25
Cocción más modificada	---	13	26	15	30
Cocción más modificada	Design. con oxígeno	10	15	10	15
Cocción convencional.	Design. oxíg. + Ozono	N.I.	3	N.I.	6
Nota explicativa: N.I. = No hay información disponible					

Tabla 2.4: Descarga esperada de lignina residual medida como DQO de plantas de blanqueo para distintas técnicas de deslignificación. [OSPAR, 1994]

Sustancias orgánicas cloradas (AOX)

Desde hace muchos años el debate público sobre la industria de la pasta y el papel se ha centrado en las descargas de sustancias orgánicas cloradas. Una percepción distinta del impacto de los compuestos clorados en la población aumentó la presión medioambiental sobre las fábricas de pasta en Europa Occidental y así, un cambio en los conceptos de comercialización de las fábricas detuvo virtualmente el uso del cloro molecular para el blanqueo de la pasta. Esto significa que la formación de dioxinas y de dibenzofuranos clorados ha cesado virtualmente, y el grado de cloración de restantes sustancias cloradas se ha reducido. Al mismo tiempo, la composición de las AOX formadas ha experimentado un cambio paralelo a la reducción de las descargas de AOX de las fábricas de pasta. Por ejemplo, los compuestos fenólicos con 3-5 átomos de cloro en el anillo bencénico, es decir compuestos fenólicos que se degradan muy lentamente y son muy tóxicos, han disminuido perceptiblemente por debajo de 1 g/t ADP. En años recientes, siguiendo la demanda del mercado, algunas fábricas han eliminado totalmente el uso de productos químicos de blanqueo que contienen cloro, combinando la deslignificación con oxígeno con una etapa de ozono y/o una etapa de peróxido.

Para ambos tipos de pasta, de fibra larga y corta, las tablas siguientes dan ejemplos para diversas secuencias de blanqueo usadas en fábricas europeas de pasta, así como la descarga correspondiente de sustancias orgánicas cloradas, medida como AOX. Las tablas incluyen técnicas de deslignificación, secuencias de blanqueo, índices kappa, uso de productos químicos de blanqueo clorados y descargas de sustancias orgánicas cloradas antes del tratamiento.

Técnicas de cocción	Secuencias de blanqueo	kappa	ClO ₂ [kg/t]	AOX [kg/t]
Cocción convencional	D(EOP)DED	30	95	2
Cocción conv. + Design. oxígeno	D(EOP)DED	16	60	0,8
Cocción modificada. + Design. oxíg.	D(EOP)D(EP)D	10	30	0,3
Cocción conv. + Design. oxígeno	ZD	N.I.	10	0,1
Cocción modificada. + Design. oxíg.	ZP	N.I.	0	0
Notas: "D" significa Dióxido de cloro; "E" Extracción; "O" Oxígeno; "P" Peróxido; "Z" Ozono; N.I. = no hay información				

Tabla 2.5: Ejemplos de distintas secuencias para el blanqueo de pasta de fibra larga utilizadas en las fábricas de pasta europeas y la descarga correspondiente de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX. [OSPAR, 1994].

Técnicas de cocción	Secuencias de blanqueo	kappa	ClO ₂ [kg/t]	AOX [kg/t]
Cocción conv. + Deslign. oxígeno	D(EO)DED	13	40	0.5
Cocción modificada. + Deslign. oxíg.	D(EOP)DED	10	30	0.3
Cocción conv. + Deslign. oxígeno	ZD	N.I.	5	0.1
Cocción modificada. + Deslign. oxíg.	ZP	N.I.	0	0
Notas: "D" significa Dióxido de cloro; "E" Extracción; "O" Oxígeno; "P" Peróxido; "Z" Ozono; N.I. = no hay información				

Tabla 2.6: Ejemplos de distintas secuencias para el blanqueo de pasta de fibra corta utilizadas en las fábricas de pasta europeas y la descarga correspondiente de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX. [OSPAR, 1994].

Las pastas que entran en la planta de blanqueo con índices kappa bajos requieren menos productos químicos de blanqueo. Por ejemplo, si el índice kappa es menor de 10, la necesidad de dióxido de cloro como cloro activo puede limitarse a unos 30 kg/t para pasta de fibra larga, equivalente a unos 6 kg de cloruros. Otro 1 kg de cloruros/t viene con la madera. La cantidad de cloruro derivada de las etapas de blanqueo con productos químicos que contienen cloro es motivo de preocupación porque un motivo por el que no ha sido posible reciclar las aguas residuales de la planta de blanqueo al sistema cerrado es su contenido en cloruros. Estos cloruros causan la corrosión del equipo de proceso si no pueden ser expulsados en el efluente.

Resumen de descargas antes del tratamiento

Descargas de sustancias orgánicas

La Tabla 2.7 resume el volumen y la carga total de sustancias orgánicas evacuadas de distintos pasos de proceso antes del tratamiento primario.

Etapas de proceso	DQO kg/ADt
Manipulación de madera	1 - 10
Condensados	2 - 8
Fugas	2 - 10
Pérdida de lavado	6 - 12
Blanqueo	15 - 65
Total fábricas	31 - 105

Tabla 2.7: Descargas de sustancias orgánicas de fábricas de pasta kraft antes del tratamiento externo. Las diferencias entre fibra larga y dura son bastante pequeñas, y las siguientes cifras para subprocesos no se monitorizan de forma continua, mientras que la cifra total está basada en los datos disponibles sobre medias anuales y en un muestreo continuo y proporcional al caudal [OSPAR, 1994], [Finnish BAT report 1996], [CEPI 97]

En la actualidad las descargas totales más bajas después del tratamiento primario en fábricas de pasta blanqueada son 25-30 kg DQO/t de pasta para fibra larga. Una fábrica portuguesa de pasta de eucalipto (fibra corta) reportó 17,3 DQO/t de pasta como media anual en 1997 y 21,7 DQO/t de pasta en 1998 tras tratamiento primario solamente.

Descargas de nutrientes

Los nutrientes se originan principalmente en la madera en sí, aunque el tratamiento de efluentes biológicos puede requerir la adición de nutrientes si hay deficiencia. Los estudios en fábricas de pasta kraft han demostrado que las descargas de nitrógeno se derivan principalmente de la parte

sin blanquear del proceso, mientras que las descargas de fósforo proceden de la planta de blanqueo.

Las perspectivas de reducir las descargas de nutrientes del proceso dependen principalmente de las posibilidades de procesar posteriormente el condensado y de una ulterior deslignificación de la pasta en la parte cerrada del proceso. Los datos de la tabla inferior dan una indicación de cifras específicas para las descargas de fósforo y nitrógeno en kg/t de pasta kraft **antes** del tratamiento.

Proceso	Fósforo kg/ADt	Nitrógeno kg/ADt
Sin blanqueo	0,01-0,04	0,2-0,4
Planta de blanqueo	0,04 –0,06	<0,1*
Total fábrica	0, 05 –0,10	0,2-0,4*
Nota: * El uso de agentes quelantes puede aumentar esta cifra de nitrógeno 0,1 – 0,2 kg/t. Los agentes quelantes terminarán normalmente en el agua blanca. Algunas fábricas agregan agentes quelantes (también) en la parte cerrada del proceso. En este caso, los agentes complejantes terminan en la caldera de la recuperación, es decir, son incinerados.		

Tabla 2.8: Descargas de fósforo y nitrógeno antes del tratamiento en kg/t de pasta kraft [OSPAR, 1994]

Descargas de metales

La madera usada contiene metales, que se evacuan con las aguas residuales. Al igual que con el fósforo, seguramente puede conseguirse una reducción de las descargas de metales aumentando el grado de cierre del proceso pero las opciones de que el tratamiento externo reduzca los metales son muy limitadas.

	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Pasta sin blanquear	0,03	0,3	0,5	0,2	0,4	5
Pasta blanqueada	0,1	0,4	1	0,7	0,9	15

Tabla 2.9: Descargas de metales de fábricas de pasta Kraft en g/Adt [OSPAR, 1994]

Resumen de descargas después del tratamiento externo

Actualmente, el tratamiento externo mínimo consiste en una sedimentación, y para los efluentes de la fábrica de pasta normalmente se aplica también un tratamiento biológico secundario. Los datos de la tabla inferior muestran las variaciones en los efectos totales de la sedimentación y el tratamiento biológico de los efluentes de la fábrica de pasta kraft como % de las reducciones. Las plantas más recientes presentan cifras de reducción en la parte superior de los rangos indicados. La laguna aireada puede modificarse para incorporar el reciclaje del lodo. En ese caso, la eficacia del tratamiento se acerca a la de una planta de lodo activado.

Existen alternativas al lodo activado que son más compactas y menos caras. La experiencia de estas instalaciones es más limitada, pero se asegura que sus niveles de reducción son equivalentes a los del lodo activado.

Índice de reducción de	DBO ₅ [%]	DQO [%]	AOX [%]	P [%]	N [%]
Laguna aireada	40 - 85	30 - 60	20 - 45	0 - 15	0
Lodo activado	85 - 98	40 - 70	40 - 65	40 - 85	20 - 50

Tabla 2.10: Reducción porcentual en plantas de tratamiento de aguas residuales en fábricas de pasta química. [OSPAR, 1994], [Finnish BAT report, 1996]

En la Tabla 2.11 se indican datos actuales sobre descargas al agua expresadas como cargas, basados en datos disponibles de fábricas de pasta kraft de la UE.

	Caudal [m ³ /t]	DBO ₅ [kg/t]	DQO [kg/t]	AOX [kg/t]	SST [kg/t]	Tot-N [kg/t]	Tot-P [g/t]
Pasta blanqueada	20 -80	1- 20	7 - 50	---	0.2 - 15	0.1 – 1	3 - 40
Pasta sin blanquear	30 – 110 ¹⁾	0.2 - 40	4 - 90 ²⁾	0 - 2	0.2 - 10	0.1 - 0.8	5 - 90
Notas explicativas: 1) Las cifras superiores a 50 m ³ /t son normalmente debidas a que se incluye el agua de refrigeración 2) Una fábrica "greenfield" que comenzó a funcionar en 1996 reportó 4 kg DQO/t como media para 1998.							

Tabla 2.11: Descargas anuales reportadas de fábricas de pasta kraft de la UE. [Finnish BAT report, 1996], [SEPA Report 4869], [Finnish Forestry Industries Federation, 98], [CEPI 97]. Las cifras han sido derivadas de los distintos métodos analíticos descritos en el ANEXO III. Todos estos métodos se considera que dan resultados equivalentes. Las muestras de agua analizadas han sido homogeneizadas y no han sido filtradas ni decantadas. Las cifras indicadas son medias a largo plazo, normalmente valores anuales.

2.2.2.3 Emisiones a la atmósfera

En la figura 2.6 se presenta un esquema de las emisiones a la atmósfera de una fábrica de pasta kraft.

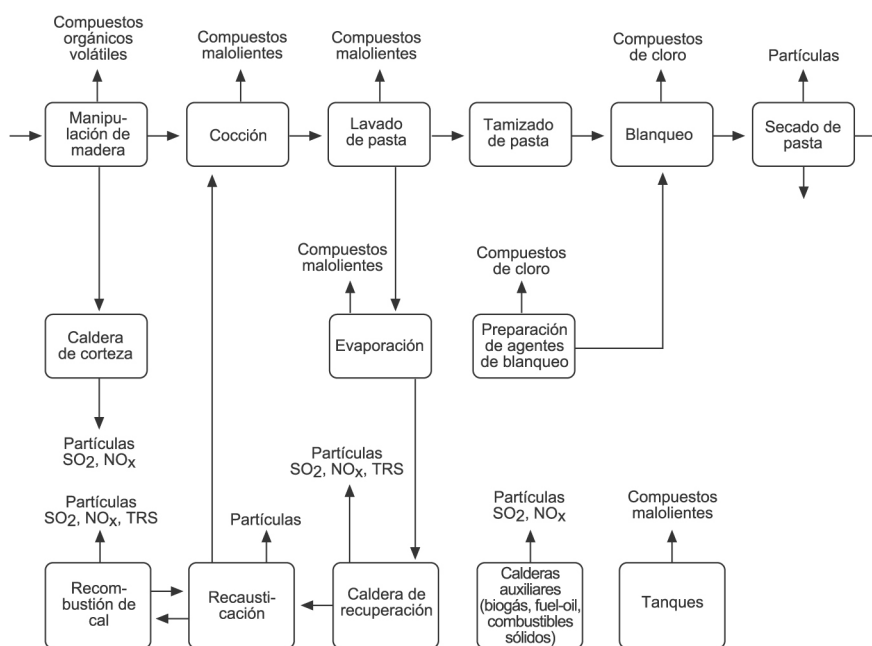


Figura 2.6: Emisiones a la atmósfera en fábricas de pasta kraft

Las emisiones a la atmósfera de una fábrica de pasta kraft se originan en el almacenaje de astillas, el digestor de cocción, el lavado de la pasta, la planta de blanqueo, la preparación química de los reactivos de blanqueo, la recuperación de productos químicos, la evaporación, la caldera de corteza, la caldera de recuperación, la preparación del licor blanco, el horno de cal, los tanques y el secado de la pasta (solamente para pasta comercial). Consisten principalmente en compuestos con azufre tales como dióxido de azufre y compuestos de azufre reducidos malolientes como metilmercaptano, sulfuro de dimetilo, y sulfuro de hidrógeno. A estos últimos compuestos se hace referencia comúnmente como azufre reducido total (TRS). De las calderas se emiten asimismo óxidos del nitrógeno y además pequeñas cantidades de polvo (partículas sólidas) como cenizas volantes. De las plantas de blanqueo y de la preparación de compuestos químicos de blanqueo pueden escaparse compuestos de cloro a la atmósfera. Se emiten Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) a la atmósfera, principalmente terpenos, de las astillas

de madera almacenadas en montones al aire libre. La emisión de COV de los montones de astillas varía entre otras cosas con el tiempo de almacenaje de las astillas, la temperatura y la especie de madera. A continuación se discuten con más detalle las fuentes principales de las emisiones a la atmósfera.

2.2.2.3.1 Emisiones a la atmósfera de la caldera de recuperación

La caldera de recuperación es una fuente importante de emisiones atmosféricas en una fábrica de pasta kraft. Las emisiones están representadas principalmente por dióxido de azufre. Además, hay emisiones de partículas (principalmente sulfato sódico y carbonato sódico), óxidos de nitrógeno y compuestos malolientes (sulfuro de hidrógeno).

La caldera de recuperación se alimenta con el licor negro evaporado. Aproximadamente un tercio de la materia seca del licor evaporado consiste en productos químicos inorgánicos y dos tercios son sustancias orgánicas disueltas. Tras una evaporación convencional, el licor negro (licor concentrado) tiene un contenido de materia seca de alrededor del 65%. La finalidad de la evaporación es alcanzar un alto contenido de materia seca (MS) en el licor negro concentrado alimentado a la caldera de recuperación para generar más vapor. Instalando equipo adicional puede alcanzarse un contenido de materia seca del 75-80+ %. Las emisiones de azufre de la caldera se reducirán normalmente alrededor del 80% al aumentar el contenido de MS desde un 65-67 a un 74-76 % debido a una mayor temperatura en la caldera de recuperación y condiciones más favorables de combustión. Existen sin embargo algunos ejemplos en los que las emisiones de S no han reducido más allá de un 72-73% de materia seca. Una desventaja de la temperatura más alta es que la emisión de NO_x puede aumentar. La caldera de recuperación está equipada con un precipitador electrostático para eliminar la gran cantidad de partículas (principalmente Na_2SO_4) de los humos. El polvo es realimentado al horno, mezclándose en el licor negro concentrado. Además, las calderas de la recuperación van a menudo equipadas con un lavador para disminuir las emisiones de SO_2 .

En la Tabla 2.12. se indican las emisiones típicas a la atmósfera de calderas de recuperación. El caudal de gas es normalmente del orden de 6.000–9.000 m^3 ndg/t de pasta, mientras que la producción de vapor de proceso está entre 13 y 18 GJ/t de pasta. Debido al menor rendimiento de la cocción de fibra larga, esta cifra es más alta para fibra larga que para fibra corta. Un mayor cierre del proceso también tiene como consecuencia una mayor producción de energía.

A continuación se discuten los principales principios y variables operativas que influyen sobre las emisiones de la caldera de recuperación, para explicar la complejidad de la prevención de la contaminación en esta instalación.

La figura 2.7 siguiente muestra algunas de las reacciones inorgánicas principales en una caldera de recuperación y también la zona del hogar donde se producen las reacciones. En una caldera de recuperación convencional hay una zona oxidante en la parte superior y una zona reductora en la parte inferior. El licor concentrado se introduce a través de uno o varios inyectores en la zona reductora. El aire de combustión se suministra básicamente en tres distintos niveles como aire primario, secundario y terciario (de abajo a arriba).

En el fondo del hogar se forma un fundido que consiste principalmente en sulfuro sódico (Na_2S) y carbonato sódico (Na_2CO_3). Cuando el azufre se reduce a sulfuro en el fundido también se forma un poco de sulfuro de hidrógeno. Pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno pueden salir con los gases de combustión si el suministro de aire no es suficiente o si la mezcla del aire en el hogar es incompleta. Pueden producirse altas emisiones temporales de sulfuro de hidrógeno del fundido a consecuencia de las perturbaciones causadas por los depósitos de sustancias secas en las paredes del hogar que caen al fundido. En la parte oxidante del hogar, el azufre se oxida a dióxido de azufre, y el sodio de la fase gaseosa reacciona con el dióxido de azufre para dar sulfato sódico. Un contenido de materia seca más alto produce una temperatura

Dióxido de azufre		
- sin lavador y 63-65 % MS del licor negro	100-800 60-250 1-4	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
- con lavador y 63-65 % MS del licor negro	20-80 10-25 0,1-0,4	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
- sin lavador y 72-80 % MS del licor negro	10-100 12-30 0,2-0,5	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
Sulfuro de hidrógeno ¹⁾		
- más del 90% del tiempo (percentil 90)	< 10 < 0,05	mg/m ³ n kg/ADt
- temporalmente	mayor	
Oxidos de nitrógeno (como NO ₂)		
	100-260 50-80 0,6-1,8	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
Partículas		
- después del precipitador electrostático	10-200 0,1-1,8	mg/m ³ n kg/ADt
Notas:		
1) Nivel correspondiente a la limitación de emisiones en Suecia		

Tabla 2.12: Emisiones de calderas de recuperación de pasta kraft en kg/ADt a un caudal de gas de alrededor de 6000 - 9000 m³/t [Principalmente de SEPA report 4008, 1992].

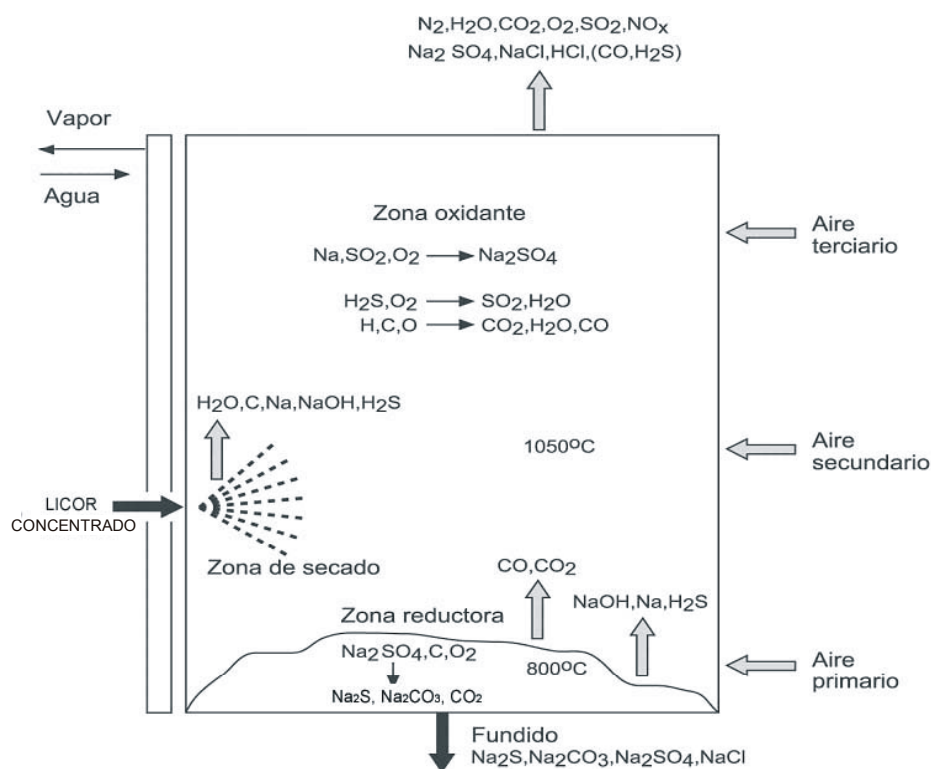


Figura 2.7: Algunas reacciones químicas conceptuales en una caldera de recuperación. [SEPA report 4008, 1992]

elevada en el hogar y por lo tanto una menor emisión de sulfuro de hidrógeno y una mayor emisión de sodio. La mayor emisión de sodio significa que hay más azufre combinado como sulfato sódico, con lo que la emisión de dióxido de azufre se ve disminuida.

En general, la emisión de azufre de la caldera de recuperación está influenciada por las siguientes variables operativas:

- La temperatura en las distintas zonas, que por otra parte está influenciada por el valor calorífico y el contenido de materia seca del licor negro concentrado y la cantidad de aire de combustión.
- La relación azufre / sodio (S/Na_2) en el licor (sulfidez). Una elevada relación S/Na_2 significa que el sodio libre en el hogar en relación con la cantidad de azufre no es suficiente para fijar todo el azufre, por lo que una gran parte del azufre sale del hogar en forma de dióxido de azufre en lugar de sulfato sódico. Un elevado contenido de materia seca del licor negro puede compensar este efecto.
- Suministro (cantidad de aire en exceso y temperatura del aire primario) y distribución del aire de combustión.
- Distribución del licor negro a lo largo del área de la caldera.
- La carga del hogar. La operación de una caldera de recuperación en modo sobrecargado tiene un efecto adverso sobre las características de las emisiones, especialmente en la cantidad de sulfuro de hidrógeno producido.

Una observación general es que incluso aunque puedan darse indicaciones generales de niveles de emisiones, cada caldera de recuperación es distinta y hay que buscar cuidadosamente las condiciones óptimas.

Para reducir las emisiones de SO_2 de la caldera de recuperación, a menudo va equipada con un lavador de humo que funciona a un pH 6-7. El pH se controla agregando hidróxido sódico ($NaOH$), licor débil o el licor blanco oxidado. Un pH más alto eliminaría el sulfuro de hidrógeno pero se absorbería dióxido de carbono que neutralizaría rápidamente el álcali. El licor sobrante del lavador se recicla al proceso, normalmente a la preparación del licor blanco.

La formación de NO_x en una caldera de recuperación está influenciada principalmente por el contenido de nitrógeno en el licor negro y el exceso de O_2 durante la combustión. La formación de NO_x por MJ aportado es generalmente baja debido a la concentración relativamente baja de oxígeno necesaria para una recuperación eficaz de productos químicos, y la emisión de NO_x varía normalmente entre 1 y 2 kg/t de pasta.

Un aumento en el exceso de O_2 del 1,5 al 2,5% puede aumentar los NO_x en alrededor de un 20%, y el aumento del contenido de MS desde 65 hasta el 75% puede aumentar los NO_x hasta un 20%. El contenido de nitrógeno es mayor en licores de fibra corta que en los de fibra larga, lo que puede también dar lugar un aumento del 10% en los NO_x .

Un menor nivel de NO_x puede alcanzarse normalmente mediante modificaciones en el sistema de alimentación del aire y la optimización de la combustión. Las emisiones están normalmente entre 50 y 80 mg/MJ, pero las calderas de recuperación nuevas pueden alcanzar niveles tan bajos como de 40 mg/MJ o bastante por debajo de 1 kilogramo NO_x/t (ej: fábrica de Moensteras, Suecia).

2.2.2.3.2 Emisiones a la atmósfera del horno de cal

En el proceso de calcificación, el carbonato cálcico formado durante el proceso de recaustificación (ver Figura 2.3) se convierte térmicamente de nuevo a óxido de calcio según la reacción $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$. La reacción ocurre en un horno rotatorio donde el lodo húmedo calizo es secado, calentado hasta la temperatura de reacción, calcinado y enfriado de nuevo. La reacción de la calcinación comienza a 800°C y para completar la reacción

se requieren temperaturas de hasta 1000-1100°C en el extremo caliente del horno. El enfriamiento se realiza mediante aire en intercambiadores de calor. El caudal de gas en un horno de cal es de unos 1000 Nm³ /t (gas seco) de pasta, y la energía usada es de 1,5 – 1,8 GJ/t de pasta.

Las principales emisiones a la atmósfera del horno de cal son dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos de azufre reducido (TRS) y partículas. La Tabla 2.13 muestra las emisiones a la atmósfera típicas de un horno de cal.

Las emisiones del horno de cal en una fábrica de pasta kraft están principalmente afectadas por el tiempo de retención de sólidos, la zona de contacto de los gases, el tipo de combustible y la temperatura.

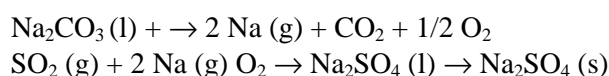
Dióxido de azufre - combustión con fuel oil sin gases no condensables	5-30	mg/m ³ n
	2,5-16	mg/MJ
	0,003-0,002	kg/ADt
- combustión con fuel oil con gases no condensables	150-900	mg/m ³ n
	80-740	mg/MJ
	0,1-0,6	kg/ADt
Sulfuro de hidrógeno - normalmente	< 50	mg/m ³ n
	< 0,03	kg/ADt
	superior	
Oxidos de nitrógeno (como NO ₂) - combustión a fuel	240-380	mg/m ³ n
	130-200	mg/MJ
	0,2-0,3	kg/ADt
- combustión a gas	380-600	mg/m ³ n
	200-320	mg/MJ
	0,3-0,4	kg/ADt
Partículas - después del precipitador electrostático	20-150	mg/m ³ n
	0,01-0,1	kg/ADt
- después del lavador húmedo sólo	200-600	mg/m ³ n
	0,1-0,4	kg/ADt

Tabla 2.13: emisiones típicas a la atmósfera de un horno de cal [SEPA report 4008, 1992]; Los valores más altos de SO₂ en combustión con gases no condensables son causados por el hecho de que la capacidad del horno de cal de atrapar azufre a veces no es suficiente si se trata todo el aire que contiene TRS en el horno de cal.

Emisiones de SO₂

Las emisiones de azufre del horno de cal son debidas al azufre del combustible y a los gases malolientes si se queman. A este respecto, el papel del azufre que entra con el lodo calizo es marginal.

El Na gaseoso puede absorber una cantidad limitada de azufre en el horno de cal, formando sulfato sódico según las ecuaciones siguientes:



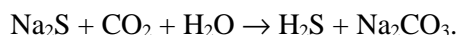
El principal compuesto absorbente de azufre es pues el carbonato sódico (Na₂CO₃) del lodo calizo. Cuando se agota esta capacidad, se emite SO₂. Este efecto se acentúa cuando se incineran gases malolientes no condensables en un horno. Por lo tanto, las emisiones de SO₂ son generalmente una función clara de la magnitud del caudal de gases malolientes.

Para minimizar la formación de SO₂ puede reducirse el contenido de azufre en el combustible o, si los gases malolientes no condensables (GNC) van a ser quemados en el horno de cal, los compuestos de azufre pueden separarse por lavado de estos gases antes de su combustión en el horno de cal. Un pequeño lavador interno de NaOH para el flujo de gases malolientes (es decir no para todo el caudal de gases de combustión) reduce el H₂S casi totalmente, mientras que los metilsulfuros se reducen en un 50 - 70 % y el metilmercaptano en menos de un 20%. Las emisiones típicas totales de azufre de los hornos de cal van desde diez a varios cientos de mg/m³ si se queman los GNC, siendo de 10 - 30 mg/m³ si no se queman.

Emisiones de Azufre Reducido Total (TRS)

Las emisiones de TRS de un horno de cal consisten principalmente en sulfuro de hidrógeno. Las concentraciones observadas de H₂S son normalmente inferiores a 50 mg/m³ (percentil 90), dando como resultado una emisión total de <0,03 kg/t.

La formación de H₂S en el horno de cal depende de los niveles del oxígeno y de la cantidad de sulfuro sódico en el lodo quemado en el horno. La presencia de suficiente aire en exceso puede asegurarse mediante un sistema de control del oxígeno residual. El contenido de sulfuro sódico puede controlarse mediante un sistema apropiado de lavado del lodo calizo y filtrado, para evitar que el sulfuro sódico (Na₂S) entre en el horno de cal. Si entra Na₂S en la sección de secado en frío y en la sección de calentamiento del horno de cal en presencia de CO₂ y agua, se forma H₂S según la siguiente reacción:



Con una capacidad apropiada del filtro del lodo, se aspira una pequeña cantidad de aire a través de la capa de lodo calizo y el Na₂S retenido en la superficie de las partículas del lodo calizo se oxida entonces a tiosulfato sódico, lo que evita la formación de H₂S en el horno. Si surgen problemas con el H₂S, el motivo es en muchos casos una mala calidad del lodo calizo en cuanto a contenido de materia seca (normalmente por encima del 80%) y pureza de lodo (se requiere una baja concentración de álcali libre). Las opciones técnicas son la mejora de la clarificación del licor verde y del lavado del lodo calizo o la sustitución de una parte de la cal por cal de adición.

Partículas: la materia en partículas se compone de polvo de cal y sodio condensado de la fase vapor. Las emisiones pueden controlarse internamente mediante el diseño y el funcionamiento apropiado del horno, y externamente agregando un precipitador electrostático o un lavador. Un precipitador electrostático es capaz de reducir la concentración de partículas hasta 20 - 100 mg/m³ y lavador de agua hasta 200 - 600 mg/m³.

Oxidos de nitrógeno (NO_x): las emisiones de NO_x están relacionadas principalmente con el diseño del quemador y, para un determinado quemador, con el contenido de nitrógeno del combustible y la temperatura de combustión. El uso de un combustible con un contenido más alto del nitrógeno produciría un aumento en las emisiones. La incineración de los GNC, así como el uso de biogás y de metanol como combustible, aumentan la formación de NO_x.

Las concentraciones de NO_x van desde unos 100 mg/m³ cuando sólo se usa tall-oil, hasta unos 900 mg/m³ con GNC y metanol junto con polvo de corteza, gases de pirólisis o combustible fósil.

2.2.2.3.3 Emisiones a la atmósfera de las calderas auxiliares

Calderas de corteza: la corteza se quema de forma autotérmica a una sequedad de alrededor del 20%. Antes de la incineración, la corteza suelta y las astillas de madera desprendidas de los

troncos en el tambor de descortezado se alimentan a una trituradora de corteza y por último se prensa a una sequedad del 38-45%. El consumo de energía en una prensa es unos 5 kWh/t de corteza, que tiene una sequedad inicial de alrededor del 35%, y el aumento en la producción de calor es de alrededor de 2 GJ/t_{45%} si se aumenta la sequedad desde el 35 al 45%. A una sequedad del 45%, la corteza representa un valor calorífico de cerca de 7 - 8 GJ/t y puede utilizarse como fuente de la energía dentro de la planta o venderse como subproducto, e.g. como pellets. En la planta se utiliza normalmente en una caldera auxiliar. Si va a utilizarse como combustible dentro del proceso o venderse como pellets, primero debe secarse hasta una sequedad de alrededor del 90%. Entonces, después haber sido gasificada o pulverizada, puede utilizarse, por ejemplo en el horno de cal.

La corteza se utiliza en gran medida como combustible en la planta de energía en fábricas de pasta. Dado que la corteza contiene sólo cantidades pequeñas de azufre, habrá sólo emisiones bajas de dióxido de azufre, dependiendo de si se agregan otros combustibles con azufre. Cuando la corteza se está quemando junto con combustibles que contienen azufre (ej: combustibles fósiles), la ceniza alcalina de la corteza fija algo del azufre y reduce así las emisiones.

En calderas de corteza la emisión de óxidos de nitrógeno también será más baja que en la combustión de otras clases de combustible, debido a la baja temperatura de combustión. Las emisiones son típicamente de 70 - 100 mg/MJ cuando sólo se quema corteza, pero en ocasiones, cuando se utiliza fuel en la caldera, se produce un aumento hasta 100 - 150 mg/MJ. El exceso de oxígeno aumenta la formación de NO_x, pero un bajo nivel de exceso de oxígeno aumenta el CO y los COV. La reducción total de NO_x alcanzable en una caldera de corteza es de un 30-50%, realizando cambios en técnicas de combustión y/o aplicando un proceso de SNCR (Reducción No Catalítica Selectiva). Pueden encontrarse ejemplos del uso del proceso de SNCR en calderas de corteza, por ejemplo en algunas fábricas suecas (Nymölla, Husum).

Dada una producción de calor a partir de corteza de unos 7 GJ/t de corteza, el rango de emisiones de NO_x es de 0,3 – 0,7 kg/t de corteza. La cifra más baja representa condiciones optimizadas de combustión y/o uso de SNCR, en la que se utiliza urea para reducir el NO a nitrógeno, dióxido de carbono y agua. Las emisiones de NO_x serían entonces de unos 40 - 60 mg/MJ o 100-200 mg/m³ (TPN, gas seco).

Las emisiones de polvo se reducen normalmente a unos 20 - 40 mg/Nm³ (gas seco) a un 11% de O₂ cuando se utilizan precipitadores electrostáticos (PEs) y a unos 200 mg/m³ con ciclones. Las emisiones de azufre gaseoso son pequeñas, de unos 5 - 20 mg/MJ al quemar corteza. Algunas cifras reportadas sobre emisiones de azufre de calderas de corteza en fábricas suecas son Stora Fors 7, Mörrum 19, Norrsundet 20, Ortviken 15, Skoghall 13, Dynäs 10 mg S/MJ de aporte de combustible a las calderas. Probablemente algo del azufre en la corteza se elimina con las cenizas.

Unidad	S	NO _x	Partículas
kg/t	0,04-0,1 kg/t	0,3 – 0,7 kg/t	0,1 - 1 kg/t
mg/MJ	5 - 15 mg/MJ	40 - 100 mg/MJ	20 - 200 mg/m ³

Tabla 2.14: Emisiones a la atmósfera de calderas de corteza. Datos en kg/t de corteza y mg/MJ respectivamente. Las cifras normales de caudal de gas son de unos 1600 - 1700 m³/t de pasta

Otras calderas de vapor: en fábricas integradas de pasta y papel, el exceso del calor producido por la fábrica de pasta no es suficiente para cubrir el consumo de energía de la producción de papel. La demanda adicional de calor tiene que producirse en calderas de vapor auxiliares. Se utiliza combustible como combustible de apoyo en calderas de corteza y de lodo, y también como combustible principal en calderas auxiliares. Los combustibles usados en las calderas son carbón, fuel, gas natural, turba, residuos de madera y lodo fibroso del tratamiento de efluentes. Las emisiones de la producción de energía dependen del combustible, la mezcla de combustibles y el contenido de impurezas.

Por ejemplo el fuel y el carbón contienen azufre, pero el gas natural no. La mayoría de las calderas para combustibles sólidos son calderas circulantes y de lecho fluidizado, especialmente cuando se queman mezclas de combustible difíciles con características variables. Estas calderas ofrecen la oportunidad de utilizar una gama más amplia de combustibles y de generar emisiones más bajas que las calderas de parrilla. La eficacia de la combustión es alta gracias a la mezcla eficaz de los materiales y a la transferencia de calor entre el material sólido y los gases de combustión. Las emisiones de NO_x son relativamente bajas debido a la baja temperatura de combustión (800°C -950°C). Si el combustible contiene azufre, las emisiones de azufre pueden prevenirse mediante la adición de cal en el lecho. A temperaturas por debajo de 900°C, el azufre reacciona con la cal o el calcio de la corteza y las emisiones del dióxido de azufre se reducen considerablemente.

Tipo de combustible	mg NO _x /MJ	mg S/MJ	Partículas [mg/m ³]
Fuel	60 - 150	25 - 100 ¹⁾	20 - 200
No hay datos para otros combustibles			
Notas:			
¹⁾ Contenido de azufre del fuel: 0,1 – 0,4 %			

Tabla 2.15: Ejemplos de emisiones actuales de distintos tipos de calderas auxiliares [SEPA Report 4008, 1992], [informes anuales de fábricas suecas a la SEPA]

2.2.2.3.4 Gases malolientes

Los gases malolientes en la fabricación de pasta kraft son normalmente H₂S, metilmercaptano, sulfuro de dimetilo y disulfuro de dimetilo. A veces, se hace referencia a los gases malolientes azufre reducido total o TRS. Las corrientes de gases malolientes se dividen generalmente en gases fuertes (concentrados) y débiles (diluidos). Estos últimos hacen referencia normalmente a una concentración de < 0.5 g de S/m³, mientras que los gases más concentrados o fuertes están normalmente por encima de 5 g/m³.

Los gases concentrados proceden del digestor, de la planta de evaporación y del “stripper” de condensados. En total suponen hasta unos 25 m³/t de pasta. Los gases no condensables de la planta de cocción y los gases desprendidos en el “stripping” de los condensados sucios de la planta de evaporación contienen generalmente 1-2,5 kilogramos S/Adt. [Finnish BAT Report, 1997] y son normalmente más elevados en la fabricación de pasta de fibra corta que en la de fibra larga, debido a distinta estructura de la lignina.

La ventaja de quemar los gases malolientes en el horno de cal es que no se requiere un horno adicional. Además, el azufre en el gas puede ser absorbido, lo que reduce la emisión de dióxido de azufre. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el contenido de azufre en los gases malolientes puede sobrecargar la capacidad de absorción del horno de cal.

En promedio, un 15 % del combustible usado en un horno puede sustituirse por gas maloliente. Sin embargo, la variación de la cantidad de energía del gas puede hacer difícil producir cal de calidad buena y uniforme. La separación del metanol de los gases reduce al mínimo el problema de la variación de la calidad del gas. El metanol separado puede entonces alimentarse en fase líquida al horno de cal o a un quemador especial para gases malolientes.

Los gases diluidos proceden por ejemplo del precalentamiento de astillas, depuración, lavado de pasta, tanque de disolución y ventilación de diversos tanques que contienen licor negro, etc. En total suman unos 2000 - 3000 m³/t de pasta con 0,2 – 0,5 kg S/Adt [Finnish BAT Report, 1997].

En algunas fábricas, los gases diluidos se recogen y se queman en la caldera de recuperación, en el horno de cal, o se lavan. El lavado es especialmente eficaz con el H₂S. La combustión de los

gases débiles en la caldera de recuperación puede influenciar el funcionamiento de la caldera y requeriría la modificación de la misma. En algunas fábricas se queman los gases malolientes tanto concentrados como diluidos en la caldera de recuperación. La información sobre esta práctica es sin embargo limitada.

En la cocción y la evaporación, una parte de los compuestos malolientes se transfiere a los condensados. Además de compuestos de azufre reducido, los condensados contienen metanol y algunos otros compuestos que consumen oxígeno (carga de DBO). Los condensados sucios se recogen y se tratan por separado según lo descrito arriba (ver: descargas de aguas residuales de diversos pasos de proceso).

2.2.2.3.5 Compuestos clorados del blanqueo y preparación de productos químicos de blanqueo

En los fábricas de pasta kraft blanqueada que utilizan dióxido de cloro como agente blanqueante, se liberan a la atmósfera compuestos clorados de la planta de blanqueo y de la producción de ClO_2 . En la Tabla 2.16 se presentan algunos ejemplos de valores medidos y se comparan con los valores establecidos en condiciones normales en permisos en Suecia.

Nombre de la fábrica (año de referencia)	Condición en el permiso [kg cloro activo/t de pasta blanqueada]	Valores medidos [kg cloro activo/t de pasta blanqueada]
Husum (1995,96)	0,2 anual	0,0-0,04 kg Cl_2 y ClO_2 como cloro/ t de pasta; valor mensual (un 0,4)
Skärblacka (1996)	0,3 mensual	0,08 media anual
Mönsterås (1997)	0,05 anual	0 (TCF)
Gruvön (1997)	0,2 mensual	0,02 (media de una semana)
Skoghall (1997)	0,2 mensual	0,05 (media de una semana)
Skutskär (1997)		0,0004 planta de blanqueo 0,006 producción de ClO_2

Tabla 2.16: Ejemplos de valores medidos de emisiones de cloro a la atmósfera de la planta de blanqueo y producción de ClO_2 de algunas fábricas de pasta en Suecia. Datos de los informes anuales obligatorios para las fábricas y de los permisos. Las cifras cubren todas las emisiones de la planta, normalmente medidas en las ventilaciones de la planta de blanqueo y de la producción de dióxido de cloro tras los lavadores

Resumen de emisiones a la atmósfera después de tratamiento externo

Los datos disponibles sobre emisiones medias anuales en kg/t de pasta kraft se resumen en la Tabla 2.17 siguiente. Para facilitar la comparación, todas las emisiones de compuestos sulfúricos gaseosos, incluido el SO_2 , se han indicado como azufre gaseoso. Los datos de emisiones para la caldera de recuperación se basan en monitorización continua, mientras que las otras fuentes se monitorizan con menor frecuencia.

Debe precisarse, sin embargo, que no todas las fábricas reportan emisiones difusas, y los métodos para calcular y reportar las emisiones totales varían entre las distintas fábricas y entre los diversos Estados miembros.

Las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) del proceso reportadas son de unos 0,4 kg/t de pasta kraft de fibra larga, y menos de 0,1 kg/t para pasta kraft de fibra corta. Según se ha indicado anteriormente, hay también algunas emisiones de COVs de los montones de astillas. A modo de ejemplo, las emisiones de las astillas son de unos 0,2 – 0,3 kg/m³ de madera en pasta kraft.

Fuente de emisión	Total S gaseoso [kg/t ADt]	NO _x [kg/t ADt]	Partículas [kg/t ADt]
Caldera de recuperación	0,01 - 2	0,8 – 1,8	0,2 – 1,8
Horno de cal	<0,01 – 0,7	0,02 – 0,6	0,02 – 0,9
Caldera de corteza	0,02 0,06 ¹⁾	0,03 – 0,2	0,03 – 0,3 ¹⁾
Gases malolientes	0,01 – 2 ²⁾		---
Total emisiones de las plantas	0,04 - 4	0,85 – 2,6	0,25 - 3
Notas explicativas:			
1) Cifra estimada para la caldera de corteza. No incluye el uso de combustible fósil en la caldera de corteza.			
2) Se supone que los gases concentrados se queman en el horno de cal.			

Tabla 2.17: Emisiones medias a largo plazo (anuales) a la atmósfera de fábricas de pasta kraft en la UE. Las cifras se basan en los distintos métodos analíticos que se discuten en el ANEXO III o métodos con resultados equivalentes. NO_x es la suma de las emisiones de NO y NO₂ calculadas como NO₂ [SEPA report 4869], [Finnish Forestry Industry Federation, 1998], [Finnish BAT Report, 1996], [datos de comunicaciones personales con las fábricas].

2.2.2.4 Producción de residuos sólidos

La producción de pasta kraft genera diversas fracciones de residuos sólidos: lodo inorgánico (“dregs” y lodo calizo) de la recuperación química; residuos de corteza y de madera de la manipulación de la madera; lodo del tratamiento de efluentes (material inorgánico, fibras y lodo biológico); polvo de calderas y hornos; desechos (principalmente arena) de la manipulación de la madera; cenizas y material diverso (como material de construcción). Muchas sustancias orgánicas, que pueden considerarse residuos, se queman para recuperación de energía. Esto incluye normalmente residuos de corteza y madera, y podría incluir el lodo del tratamiento de aguas.

Los “dregs” y el lodo calizo se separan del ciclo de recuperación de productos químicos para mantener la cantidad de materia inerte y de productos químicos que no intervienen en el proceso a un nivel aceptable y asegurar así altos índices de reacción en el sistema de recuperación de productos químicos.

Los residuos de corteza y madera de la manipulación de la madera se queman para la recuperación de energía, por lo que sólo deben considerarse como residuos si no pueden quemarse y deben ir a parar a un depósito en vertedero. La ceniza de madera de las calderas de corteza contiene nutrientes tomados del bosque con la materia prima de la madera, por lo que puede ser adecuada como fertilizante mientras no esté contaminada por ejemplo por metales como Hg, Cd y Pb, aunque éstos vengan de la madera en sí. La lixiviación de metales pesados de cenizas recicladas esparcidas en el bosque o en una región agrícola puede ser un inconveniente de estas medidas.

El lodo del tratamiento de las aguas residuales es uno de los grupos principales de posibles residuos. Se genera una gran cantidad de lodo en el tratamiento primario y en el tratamiento biológico con el método del lodo activado. Las lagunas aireadas generan solamente pequeñas cantidades de exceso de lodo, y la producción de lodo en el tratamiento anaerobio es también moderada. La floculación química produce una cantidad considerable de lodo. El lodo biológico y químico tiene malas características de deshidratación.

El lodo se espesa generalmente antes de ser deshidratado en un filtro de prensa, prensa de tornillo o en un filtro al vacío. A menudo se mezcla el exceso de lodo del tratamiento biológico de aguas residuales con lodo primario y lodo de corteza antes de la deshidratación. Se utilizan productos químicos inorgánicos y/o orgánicos para mejorar la deshidratación del lodo formando

flóculos más grandes. El lodo mezclado puede desecarse a una sequedad del 25-35% con filtro de prensa y a un 40-50% con una prensa de tornillo usando vapor en la etapa de pretratamiento.

En la combustión de lodo, la producción energética neta es casi cero o negativa si el contenido de materia seca del lodo está por debajo del 40% y si el lodo contiene una gran cantidad de material inorgánico. Mantener buenas condiciones de combustión hace necesario el uso de un combustible auxiliar a menos que el lodo se mezcle con la corteza y otros materiales de residuos de madera. La combustión reduce el volumen de residuos y el contenido inorgánico permanece como ceniza, que se transporta normalmente a un vertedero.

El lodo de la precipitación química no puede quemarse solo sin el uso de combustible auxiliar debido al alto contenido de la materia inorgánica y agua. Por lo tanto, el lodo se transporta a menudo a un vertedero. El lodo de floculación, con solo polielectrolitos orgánicos sintéticos, es conveniente para la incineración.

Los datos sobre la generación de residuos son limitados. Por ello, en la Tabla 2.18 se dan los datos disponibles para los diversos tipos de residuos generados en una fábrica de pasta kraft de un Estado miembro.

Tipo de residuo	kg de materia seca por tonelada de pasta
Lodo de tratamiento de aguas residuales	10
Ceniza de madera	9
Otras cenizas	14
Residuos de fibra y estucados	5
Residuos de madera	6
Residuos peligrosos	0,2
Total	43
Notas explicativas: "ceniza de madera" es ceniza volante y polvo de la incineración de madera (ej: de la caldera de corteza) "otras cenizas" son cenizas de los combustibles utilizados en la producción de energía, aparte de la madera y el licor negro. "residuos de madera" son corteza, astillas, serrín, envases de madera, etc. Los residuos de madera se desechan en vertedero sólo si no pueden quemarse (si contienen tierra o están demasiado sucios).	

Tabla 2.18: Generación media de residuos en fábricas de pasta kraft en kg de materia seca/t de pasta [Finnish BAT Report, 1996]. Las cifras absolutas han sido convertidas a datos específicos por tonelada de pasta, dividiendo los valores totales por la producción anual de pasta kraft blanqueada y sin blanquear en Finlandia (5,7 Mt/a). Las cifras incluyen tanto las fábricas integradas como no integradas.

Otros informes [CEPI, 97] describen cantidades ligeramente más altas de residuos sólidos como valores típicos para las fábricas de pasta kraft. En ellos se considera que la fabricación de pasta kraft sin blanqueo produce 20 - 60 kg de residuos orgánicos secos/ADt (kraft) y 30-60 kg residuos inorgánicos secos /ADt. Para la fabricación de pasta kraft con blanqueo se reportan 30-60 kg de residuos orgánicos (secos) por tonelada de pasta, y 40-70 kg de residuos inorgánicos (secos) por tonelada de pasta.

Los datos notificados sobre residuos sólidos (expresados como materia seca, MS) en fábricas de Suecia son los siguientes¹:

¹ Datos tomados principalmente del informe 4869 del SEPA Skogsindustrins utsläpp till vatten och luft samt avfallsmängder och energiförbrukning 1996" (Emisiones a la atmósfera y al agua de la Industria Forestal, cantidades de residuos y consumo de energía 1996) y del Informe 4 ("Avfall från skogsindustrin- Mängder, sammansättning och omhändertagande" = Residuos de la Industria Forestal: Cantidades, composición y desecho) del proyecto "Miljö 95/96" (Medio Ambiente 95/96) realizado por la Fundación para la Investigación de la Contaminación Atmosférica y del Agua de las Industrias Forestales Suecas (SSVL).

Lodo de licor verde, “dregs” y el lodo calizo

Estos residuos se mezclan a menudo y es muy difícil dar cifras separadas. En total la cantidad varía grosso modo entre 10 y 60 kg/t de pasta, con una media de alrededor de 30 (SEPA 4869). La composición de la mezcla de residuos también varía. En el Informe 4 del proyecto "Miljö 95/96" se facilitan datos para una serie de muestras. Se calculan los siguientes datos medios para el lodo de licor verde con diversas cantidades de lodo calizo.

Lodo calizo [%]	Materia seca, [% MS]	Ceniza [%]	Contenido orgánico [%]	tot-Ng/kg MS	tot-P g/kg MS	tot S g/kg MS
<2	45	62	20	0,4	0,6	23
75	59	62	6.5	<0,4	2,8	6.3

Tabla 2.19: Composición media del lodo de licor verde con distintas cantidades de lodo calizo. Las cifras se dividen en dos grupos: uno casi sin lodo calizo (< 2%) y el otro con mucho lodo calizo (alrededor del 75% en promedio).

También se notifican las concentraciones de metales para las mismas muestras. En la Tabla 2.20 se indican los valores medios.

Lodo de carbonato [%]	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
<2	430	16	9,2	75	90	0,07	60	18	330	2300
75	310	11	5,3	85	96	<0,10	29	11	290	1000
Notas: Todos los valores expresados como [mg/kg sustancias secas]										

Tabla 2.20: Concentraciones medias de metales en el lodo de licor verde con distintas cantidades de lodo calizo.

En Suecia, el lodo de licor verde se seca normalmente en filtros de tambor aplicando una precapa de recubrimiento previo de lodo calizo, con un contenido de Materia Seca (MS) del 30-70%. Si se utilizan centrífugas, el contenido de MS es del 8-20% (Informe 4 de Miljö 95/96). El lodo se deposita normalmente en vertedero.

Cenizas, escorias, partículas (ej: de precipitadores electrostáticos)

Según SEPA 4869, las cantidades para fábricas de pasta kraft están entre 5 y 45 kg/t de pasta.

Residuos del almacenaje de madera para desecho en vertedero

Las cantidades varían entre 1 y 20 kg/t de pasta. Este residuo consiste principalmente en corteza, madera y piedras (SEPA 4869).

Rechazos de depuración / rechazos de fibra

Los datos limitados contenidos en SEPA 4869 muestran cifras entre 2 y 20 kg/t de pasta.

Lodo del tratamiento biológico

En las lagunas aireadas de las fábricas de pasta kraft, la cantidad de lodo suele ser muy pequeña, normalmente < 1 kg de MS/t de pasta (informe 4). El tratamiento biológico en planta de lodo activado genera mayores cantidades de lodos.

2.2.2.5 Consumo de productos químicos

El consumo de productos químicos varía de una fábrica a otra, y en cierta forma se considera información confidencial. No obstante, se reporta el siguiente consumo típico de los principales agentes químicos, en kg/t de pasta.

Sustancia	Consumo de pasta kraft sin blanquear [kg/t]	Consumo de pasta kraft blanqueada [kg/t]
NaOH	10-20	25-50
O ₂	-	5-25
NaClO ₃	-	20-50
EDTA	-	0-4
S	-	
SO ₂	-	2-10
H ₂ O ₂	-	2-30
O ₃	-	0-5
MgSO ₄	-	0-3
CaO	5-10	5-10

Tabla 2.21: Consumo de los principales compuestos químicos en kg/t ADP para producción de pasta kraft [CEPI 1997]; Todos los consumos de agentes químicos se expresan como productos químicos al 100% y no como soluciones comerciales con diversas cantidades de agua.

La principal aplicación de los productos químicos arriba indicados es:

- Se agrega sulfato de magnesio del orden de 0 - 2 kg MgSO₄/ADt para fibra corta o 2 - 3 kg MgSO₄/ADt para fibra larga con el fin de preservar la resistencia de la pasta en la deslignificación con oxígeno.
- El consumo de oxígeno para deslignificación es de 12 - 15 kg/ADt para pasta de fibra corta y 20 - 25 kg O₂/ADt para fibra larga El consumo de álcali es de 12 - 15 kg NaOH/ADt para fibra corta y 20 - 25 kg NaOH/ADt para fibra larga [Finnish BAT Report, 1997].
- Se utilizan agentes quelantes como EDTA y DTPA para eliminar los metales de las secuencias de blanqueo con peróxido de hidrógeno con el fin de evitar la descomposición del peróxido de hidrógeno. Las emisiones de agentes quelantes pueden afectar la distribución de los metales en el agua receptora y en los organismos que viven en ella. Además, el uso de agentes quelantes causa emisiones de nitrógeno, cuya magnitud depende de la cantidad empleada.

En condiciones de funcionamiento estables, es un principio fundamental que cualquier sustancia que entra en una fábrica también debe salir de la misma. En fábricas de pasta kraft que utilizan NaOH y Na₂S como principales agentes químicos de cocción, las entradas y salidas de sodio y azufre deben ser controladas y equilibradas. El requisito de emisiones reducidas de dióxido de azufre de las fábricas implica que preferiblemente debe entrar menos azufre en la fábrica, o que el azufre debe ser evacuado en forma de sustancias menos nocivas (como por ejemplo sulfato). La Tabla 2.22 detalla las fuentes principales de azufre.

Fuente	Cantidad de azufre [kg S/ADt]
Madera, agua, productos químicos	0,3 – 0,5
Fuel al horno de cal y caldera de recuperación	1,0 – 2,0
Producción de tall-oil	2,0 – 3,0 ¹⁾
Generación de dióxido de cloro	0 - 15 ²⁾
Sulfato magnésico para la etapa de oxígeno	0 – 0,8
Total	3,5 – 25,5
¹⁾ A menudo puede usarse ácido consumido de la producción de dióxido de cloro	
²⁾ Según el tipo de proceso y válido para una fábrica que utilice hasta 40 kg/ADt de dióxido de cloro expresado como cloro activo	

Tabla 2.22: Aportes típicos de azufre a una fábrica de pasta kraft blanqueada [SEPA report 4008, 1992]

Actualmente, las emisiones de dióxido de azufre de las fábricas de pasta kraft varían hasta niveles de tan sólo 0.3 kg S/ADt (ver Tabla 2.17). Las pérdidas no gaseosas de azufre en los efluentes se puede estimar que corresponden a 2 kg/ADt [SEPA report 4008, 1992]. Así, las pérdidas totales de azufre de una fábrica de pasta podrían ser de tan sólo 2,3 kg S/ADt en algunos casos. Una comparación con el aporte de azufre cuando se trabaja con una proporción elevada de dióxido de cloro en el blanqueo demuestra que una gran cantidad de azufre puede tener que evacuarse o desecharse en forma de sales neutras (ej.: Na_2SO_4). Sin embargo, esto causará simultáneamente pérdidas de sodio que deben ser compensadas con productos químicos de sodio sin azufre, más costosos. Para determinar las cantidades correctas, deben estudiarse los equilibrios químicos caso por caso para cada fábrica y cada proceso.

2.2.2.6 Consumo de energía

La mayor parte de la energía térmica se consume para calentar diversos fluidos y para evaporar agua. La energía térmica también se utiliza para acelerar o controlar reacciones químicas. La energía eléctrica se consume sobre todo para el transporte de los materiales (bombeo) y para el funcionamiento de la máquina de papel (solamente en fábricas de pasta integradas).

La fabricación de pasta kraft blanqueada consume unos 10-14 GJ/ADt de energía térmica (no se incluye el vapor para la producción de energía eléctrica). El consumo de energía eléctrica es 600-800 kWh/ADt, incluyendo el secado de la pasta. El consumo de energía para el secado de la pasta supone alrededor del 25% de la energía térmica, y un 15-20% de la energía eléctrica. Más del 50% del consumo de energía eléctrica se utiliza para bombeo.

El consumo de energía depende de la configuración del proceso, del equipo de proceso y de la eficacia del control de proceso.

La Tabla 2.23 siguiente resume el consumo medio de energía reportado en forma de calor (excluyendo el utilizado para producción de energía por contrapresión) y energía eléctrica para algunas fábricas de pasta no integradas e integradas.

Calidad de pasta y papel	Calor de proceso [GJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Producción no integrada de pasta kraft blanqueada	14,4	760
- procedente de suministro externo	1,2	0
Producción de pasta kraft sin blanquear con producción integrada de cartulina	16,4	959
- procedente de suministro externo	1,5	388
Pasta kraft blanqueada con producción integrada de papel fino sin estucar	17,5	1.218
- procedente de suministro externo	3,5	706

Tabla 2.23: Consumo medio de energía en fábricas de pasta y fábricas de papel de Suecia en 1995 [Informe SEPA 4712]

De los datos disponibles para las fábricas suecas de la Tabla 2.23 a la Tabla 2.29 [Informe SEPA 4712], es posible desglosar por subprocesos el consumo de energía y los balances energéticos de una serie de fábricas. Así es posible identificar las etapas de proceso que consumen más energía. Las cifras detalladas en el Informe 472 corresponden a una fábrica modernizada, por ejemplo una fábrica construida en los años 70 y modernizada desde entonces. Una fábrica de nueva construcción o recientemente modernizada tendría seguramente valores más bajos.

Departamento	Calor de proceso [MJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Manipulación de la madera	200	45
Cocción	1.700	64
Lavado y depuración	0	45
Evaporación	4.000	21
Caldera de recuperación	600	48
Caldera auxiliar	0	23
Caustificación	0	14
Horno de cal	1.500	7
Varios, fábrica de pasta	2.600	133
Total fábrica de pasta	10.600	400
Preparación de la pasta	0	200
Máquina de papel	5.800	350
Total fábrica de papel	5.800	550
Tratamiento de efluentes	0	9
Total por tonelada de papel	16.400	959

Tabla 2.24: Consumo medio de energía para la producción de 243.000 ADt/a de pasta kraft sin blanquear, y producción integrada de 250000 t/a de cartulina

Departamento	Calor de proceso [MJ/t]	Electricidad [kWh/t]
Fábrica de pasta		
Caldera de recuperación, vapor de proceso	+14.500	
Caldera auxiliar, vapor de proceso (sólo corteza propia)	+2.050	
Generador de turbina	-2.050	+571
Suministro externo (calor para el horno de cal)	+1.500	0
Consumo (incluido el horno de cal)	-10.600	-400
Tratamiento de efluentes	0	-9
Exceso de energía de la fábrica de pasta	+5.400	+162
Fábrica de papel		
Consumo	-5.400	-550
Suministro externo	0	+388
Total suministro externo	1.500	388

Tabla 2.25: Balance de energía para la producción de 243000 ADt/a de pasta kraft sin blanquear, y producción integrada de 250.000 t/a de cartón..

Departamento	Calor de proceso [MJ/ADt]	Energía eléctrica [kWh/ADt]
Manipulación de pasta	150	55
Cocción	2.050	65
Lavado y depuración	0	55
Deslignificación con oxígeno	400	45
Blanqueo	500	83
Preparación de agentes químicos de blanqueo	70	6
Depuración de la pasta blanqueada	0	40
Secado de la pasta	2.850	105
Evaporación	4.100	30
Caldera de recuperación	610	60
Caldera auxiliar	0	30
Caustificación	0	20
Horno de cal (calor directo)	1.500	10
Varios, fábrica de pasra	2.170	136
Total fábrica de pasta	14.400	740
Tratamiento de efluentes	0	20
Total por ADt de pasta	14.400	760

Tabla 2.26: Consumo de energía para producción no integrada de pasta kraft blanqueada, 250.000 ADt/a

Departamento	Calor de proceso [MJ/ADt]	Energía eléctrica [kWh/ADt]
Caldera de recuperación, vapor de proceso	+17.500	
Caldera auxiliar, vapor de proceso (sólo corteza propia)	+3.000	
Generadores de turbina	-2.600	+650
Suministro externo	+1.200	0
Consumo (incluido horno de cal)	-14.400	-630
Tratamiento de efluentes	0	-20
Exceso de energía de la fábrica de pasta (incluido vapor perdido)	+4.700	0
Total suministro externo	1.200	0

Tabla 2.27: Balance de energía para producción no integrada de pasta kraft blanqueada 250.000 ADt/a

Departamento	Calor de proceso [MJ/ADt]	Energía eléctrica [kWh/ADt]
Manipulación de pasta	230	46
Cocción	1.800	55
Lavado y depuración	0	46
Deslignificación con oxígeno	400	38
Blanqueo	500	70
Preparación agentes químicos de blanqueo	70	5
Depuración de la pasta blanqueada	0	34
Secado de la pasta	0	0
Evaporación	3.600	25
Caldera de recuperación	600	51
Caldera auxiliar	0	25
Caustificación	0	17
Horno de cal	1.300	8
Varios, fábrica de pasta	1.900	115
Total fábrica de pasta	10.400	535
Preparación de la pasta	0	250
Máquina de papel	7.100	420
Total fábrica de papel	7.100	670
Tratamiento de efluentes	0	13
Total por tonelada de papel	17.500	1.218

Tabla 2.28: Consumo de energía para una fábrica integrada de pasta kraft con 250.000 t/a de papel fino sin estucar dimensionado con tratamiento superficial.

Departamento	Calor de proceso [MJ/ADt]	Energía eléctrica [kWh/ADt]
Fábrica de pasta		
Caldera de recuperación, vapor de proceso	+13.800	
Caldera generadora, vapor de proceso (sólo corteza propia)	+2.300	
Generador de turbina	-2.100	+512
Suministro externo (incl. horno de cal)	+1.300	+36
Consumo	-10.400	-535
Tratamiento de efluentes	0	-13
Exceso de energía de la fábrica de pasta	+4.900	0
Fábrica de papel		
Consumo	-7.100	-670
Suministro externo	+2.200	+670
Total suministro externo	3.500	706

Tabla 2.29: Balance de energía para una fábrica integrada de pasta kraft con 250.000 t/a papel fino sin estucar con tratamiento superficial.

Según se muestra en las tablas anteriores, las plantas de pasta química son instalaciones con un uso intensivo de energía que consumen grandes cantidades de energía, pero al mismo tiempo producen vapor y energía eléctrica in situ mediante el uso de combustibles regenerativos. Así, las modernas fábricas no integradas de pasta Kraft son energéticamente autosuficientes debido principalmente a una recuperación eficaz de la energía quemando el 50% de la madera entrante en la caldera de recuperación (licor negro concentrado) y el uso de la corteza como combustible de la caldera auxiliar. Además, la energía secundaria de diversos pasos de proceso puede recuperarse como agua templada y caliente (40-80°C). Los combustibles fósiles se utilizan principalmente como combustible de apoyo (ej: fuel en el horno de cal).

La configuración convencional de la planta eléctrica en una fábrica no integrada de pasta kraft es una caldera de recuperación y una caldera de corteza que alimenta una turbina de contrapresión con demanda intermedia de vapor y, posiblemente, condensación. La caldera de recuperación actúa como planta de generación donde se quema el licor negro concentrado, y el calor generado se utiliza para la producción de vapor sobrecalentado a alta presión. Parte del contenido en energía del vapor a alta presión se utiliza para generar energía en una turbina de contrapresión. El vapor a presión media extraído de la turbina y el vapor a baja presión de salida se utilizan para cubrir la demanda de energía térmica en el proceso de pasta kraft. La relación rendimiento eléctrico /rendimiento térmico es, generalmente, 0,2 – 0,3 [Finnish BAT report, 1997].

Los gases malolientes se recogen y se queman, principalmente por razones de protección del medio ambiente, pues la producción de energía neta es nula o escasa.

En una fábrica integrada de pasta y papel, el exceso de calor producido por la fábrica de pasta no es en absoluto suficiente para cubrir el consumo de energía de la producción de papel. La demanda adicional de calor debe producirse en calderas de madera/corteza y calderas auxiliares. El combustible fósil se utiliza como combustible de apoyo en calderas de corteza y lodo, y también como combustible principal en calderas auxiliares.

Los picos en el consumo de energía se satisfacen a menudo usando una caldera pequeña de combustible fósil. Las plantas de cogeneración termoeléctrica (CHP), basadas en una turbina a gas en combinación con una caldera de vapor y una turbina de vapor, son muy eficaces, y se han realizado algunas instalaciones en Europa. Las plantas CHP se utilizan cuando la necesidad de energía eléctrica en una fábrica de papel es alta, ya que la relación rendimiento/ rendimiento térmico es generalmente 0,8 – 0,9 [Finnish BAT report, 1997].

A continuación se recopilan algunas cifras adicionales de consumo de energía de diversas etapas de proceso de fábricas de pasta:

- La descongelación consume unos 30 MJ de calor en forma de agua caliente o vapor por m³ de madera procesada.
- El consumo total de energía en el descortezado es 7-10 kWh/m³ de madera [Finnish report].
- La energía para el secado de la pasta (pasta de mercado solamente) puede ser del orden de 3 GJ/tonelada de pasta, aproximadamente un 25% de los requisitos totales de calor para una fábrica de pasta kraft y un 15-20% de la energía eléctrica.
- En la Tabla 2.30 se presenta el consumo medio de energía eléctrica en la fabricación de agentes químicos de blanqueo.
- El tratamiento externo de las aguas residuales consume normalmente energía [las cifras siguientes han sido compiladas del Finnish report, 1997]. El tratamiento anaerobio es una excepción si se recupera mediante combustión el contenido energético del biogás generado. El consumo de energía eléctrica en el tratamiento de lodo activado es del orden de 1,2-2 kWh/kg de DBO reducida (aireación y bombeo), que equivale a 1-1,5 kWh/ m³. La energía consumida en la filtración depende de la pérdida de carga a través del medio. Por ejemplo, la ultrafiltración de las aguas residuales de estucado consume 3-5 kWh/ m³. La evaporación a baja presión con recompresión mecanizada de vapor consume 5 - 15 kWh/ m³. El valor típico reportado del consumo específico de energía por tonelada de pasta kraft es de 3 kWh/t

Agente químico y (etapa de blanqueo)	Consumo de energía eléctrica [kWh/kg agente químico]
Dióxido de cloro (D)	10
Oxígeno (O)	0,4
Ozono (Z)	10
Peróxido (P)	3,5
Alcali (E)	1,6

Tabla 2.30: Consumo medio de energía eléctrica en la fabricación de agentes químicos de blanqueo [Finnish report, 1997]

para el tratamiento mecánico y de 46 kWh/t para el tratamiento de lodo activado de los efluentes de fábricas.

2.2.2.7 Ruido (local)

La planta de descortezado genera ruido que puede controlarse aislando cuidadosamente la planta. Hay diversas otras fuentes de ruido como trituradoras, ventiladores, motores, chimeneas y venteos de vapor. Los camiones y otros vehículos usados en la planta pueden causar ruido en la vecindad de la fábrica. A partir de dos ejemplos de fábricas de pasta suecas puede suponerse que el nivel de ruido a unos 500 m del centro de la planta de preparación de la pasta puede ser de unos 50 dB (A) por la noche, y a unos 2 km puede ser de 45 dB (A). Las pautas para todas las industrias existentes en Suecia son de < 45 dB (A) por la noche en la casa más cercana en donde viva gente. Esto puede ser difícil de alcanzar si las casas están situadas muy cerca de la fábrica, como por ejemplo dentro de un radio de < 500 metros.

2.2.2.8 Emisiones al suelo y a las aguas subterráneas

Si se aplican medidas preventivas de control para el almacenaje y la manipulación de productos, la operación bien mantenida y controlada de las fábricas de pasta y papel no debe dar lugar generalmente a emisiones peligrosas al suelo y a las aguas subterráneas.

Una política general para la prevención, la preparación y la respuesta a los accidentes industriales se basa generalmente en el principio de la prevención (ej: ANEXO IV IPPC-D). Eso significa que la planta esté construida y funcionado de tal manera que se evite un descontrol del funcionamiento normal, y se reduzcan consecuencias de accidentes. Se aplican las mejores técnicas de seguridad.

Para prevenir emisiones peligrosas al suelo y a las aguas subterráneas del almacenaje y la manipulación de productos químicos, la seguridad de instalaciones industriales se debe asegurar por los medios siguientes:

- Diseño y operación de las instalaciones de modo que los contaminantes potenciales no puedan escapar.
- Posibilidad de detección rápida y fiable de fugas y vertidos en todas las partes de la instalación que entren en contacto con los contaminantes peligrosos.
- Los recipientes subterráneos con paredes simples no son suficientes para este fin.
- Detección rápida y fiable de fugas de sustancias y prevención de su escape, así como su correcto depósito. Si no tienen paredes dobles y disponen de un indicador de fugas, las instalaciones deberán, por norma general, estar equipadas con un cubeto de retención de diseño hermético y duradero. Por principio, los cubetos de retención no deben tener aberturas de evacuación.
- Es necesario disponer y respetar las normas de buen funcionamiento, incluyendo sistemas de monitorización, mantenimiento y plan de alarma.

Los aspectos técnicos y medioambientales del almacenaje y de la manipulación de productos químicos no están relacionados específicamente con la industria de la pasta y el papel y por lo tanto se tratan solamente de forma breve. Serán cubiertos por otro BREF horizontal sobre emisiones del almacenaje de productos químicos (sustancias peligrosas y materias a granel).

Con respecto al cese de actividades, y para evitar cualquier riesgo de contaminación y reanudar la operación de la instalación a un nivel satisfactorio, la protección del suelo es de la máxima importancia. Un enfoque integrado requiere cerciorarse de que por lo menos se hayan adoptado las medidas siguientes:

- Minimización de la cantidad de suelo que deba excavarse o reemplazarse debido a medidas de construcción.
- Minimización del aporte de sustancias adicionales al suelo durante la fase de funcionamiento de una instalación (ej: el aporte adicional debido a vertidos o a la deposición de sustancias transportadas por el aire no debe hacer que se rebasen los niveles de precaución en el suelo). Garantía de un cierre limpio al cerrar la instalación, por ejemplo, limpieza del suelo contaminado y de vertederos peligrosos.

2.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

En este apartado se detallan todas las técnicas relevantes disponibles comercialmente para la prevención o la reducción de emisiones / residuos y la reducción del consumo de energía y de materias primas, para las instalaciones nuevas y existentes. Esta lista de técnicas a considerar en la determinación de las MTD no es exhaustiva y puede verse ampliada al revisar este documento. Estas técnicas cubren medidas de proceso y también tecnología de final de línea (*end of pipe*), así como las posibilidades para conseguir una prevención y control integrados de la contaminación.

En la Tabla 2.38 se da una descripción de las técnicas para la reducción de emisiones del proceso kraft. En las filas se compilan las distintas técnicas disponibles. Se ha intentado dar los posibles efectos sobre otros medios de cada técnica en la misma tabla. Puede concluirse que no es una tarea fácil describir efectos sobre otros medios de una manera que no cause ninguna discusión. Hay muchas "áreas grises" en la evaluación de los efectos sobre otros medios. Además, pueden depender de otras técnicas, que pueden estar vinculadas a una medida dada, a la referencia con la que se compare una técnica y también al límite del sistema considerado. Por lo tanto, la evaluación cualitativa de los efectos sobre otros medios debe tomarse solamente como ayuda para los operarios o inspectores sobre los efectos secundarios que podría producir una medida y no es mucho más que un punto de partida al considerar posibles cambios de la contaminación. Los resultados de la evaluación no deben considerarse imperativos. Además, las medidas de prevención y control pueden evitar algunos de ellos. Entre otras cosas, el efecto sobre otros medios también dependerá de las condiciones específicas de cada fábrica. Por lo tanto, es difícil poder hacer una declaración general. Sin embargo, la tabla puede indicar a qué medios ambientales (agua, aire, residuos, y energía) se dirige una medida. Los párrafos correspondientes bajo la discusión detallada de cada técnica ofrecen más explicaciones.

En las columnas se indica la tendencia de los efectos causados por diversas técnicas en las emisiones, el consumo de materia prima y el comportamiento medioambiental de la fábrica de forma cualitativa usando flechas hacia arriba "↑" y abajo "↓". Las flechas hacia abajo "↓" indican ahorro de materias primas o de energía y reducción de las emisiones a los diversos medios, como agua, atmósfera y suelo. Las flechas hacia arriba "↑" indican un aumento de las emisiones, del consumo y de los impactos sobre el proceso de producción. Algunas de las medidas para la prevención y el control de la contaminación, presentadas en esta sección, se refieren a más de un medio ambiental (como el agua, la atmósfera o el suelo) a la vez. Algunas técnicas pueden tener un impacto positivo y/o negativo sobre otros medios o sobre la materia

prima y el consumo de energía (efectos sobre otros medios). Los efectos producidos se denotarán usando flechas. Una flecha entre paréntesis "(↑)" indica sólo un ligero - a menudo insignificante - aumento del consumo de energía, del uso de la materia prima o de las emisiones al medio ambiente al poner en práctica una cierta medida. Los aspectos económicos (inversiones, costes operativos) no se incluyen en la tabla, sino que se explican en el texto. Los datos sobre economía pueden dar sólo una idea orientativa e indican los niveles de costes. Variarán con el diseño de toda la planta y dependerán entre otros del tamaño de la fábrica y del grado en que una medida encaje con el resto de los equipos de la fábrica.

Cada técnica se proporciona con una marca de referencia, que ayuda a identificar la sección correspondiente en el texto donde se discute detalladamente cada técnica individual. A continuación se explica el uso de la Tabla 2.38 mediante una breve discusión de una técnica (ver Sección 2.3.1 "descortezado seco"):

En un cambio de descortezado húmedo a descortezado seco no hay efecto sobre el consumo de productos químicos. El consumo de energía en el descortezado aumenta debido al funcionamiento del tambor de descortezado en el modo de descortezado seco. Por otra parte, puede ganarse una cantidad sustancial de energía si la corteza se utiliza como combustible auxiliar con un contenido en agua más bajo. El descortezado seco da lugar a una disminución significativa de las emisiones al agua, esto es, una reducción del caudal del orden de 5-10 m³/t, una reducción del SST del orden de 2-10 kg/t, mientras que la carga total de DQO puede reducirse hasta un 10%. No hay efectos sobre emisiones a la atmósfera ni sobre la generación de residuos sólidos.

En este Capítulo se detallan las opciones técnicas principales con las mejores características medioambientales y económicas. Se ha intentado discutir las medidas que seguían una estructura uniforme para tener una presentación similar de todas las técnicas a considerar en la determinación de las MTD.

Para cada técnica se da una descripción, discusión de la aplicabilidad, principales objetivos medioambientales que se consiguen, monitorización de las emisiones, efectos sobre otros medios, experiencias de aplicación, datos económicos, motivo principal de aplicación de esta técnica en ejecución, instalaciones de referencia y bibliografía. La mayoría de las técnicas pueden encontrarse en numerosas plantas en Europa, mientras que algunas de ellas solamente se aplican en algunas fábricas de pasta.

Una combinación correcta de esta lista de técnicas ofrece la oportunidad a las fábricas de alcanzar una buena actuación ambiental y económica al mismo tiempo. Sin embargo, cada fábrica debe decidir cuáles de las posibles técnicas aplica para alcanzar los niveles de consumos y emisiones indicados en el capítulo siguiente "Mejores Técnicas Disponibles". La descripción de cada técnica incluye un detalle de ventajas, desventajas y consecuencias de la puesta en práctica de una determinada técnica.

Las fábricas de pasta y papel se caracterizan por un grado relativamente alto de integración, de modo que la mayoría de las oportunidades para la mejora son medidas integradas en el proceso. Sin embargo, también se consideran algunas técnicas de final de línea (end of pipe) consideradas como MTD. Debe tenerse en cuenta que hay una cierta superposición entre las soluciones internas de proceso y las medidas de control externas.

Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	Efectos sobre el nivel de consumos y emisiones (efectos sobre otros medios)					Impacto sobre el proceso de producción
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía	Emisiones al agua	Emisiones a la atmósfera	Residuos sólidos	
3.3.1 Descortezado seco	s.e.	↑ en descortezado	↓ DQO, ↓ SST, ↓ flow	s.e.	s.e.	↑ producción de energía en calderas de corteza
3.3.2 Cocción modificada extendida hasta un bajo índice kappa Continúa (c) o discontinua (b)	↑ en cocción ↑ demanda de cal ↓ en blanqueo	(↑) cocción (c), ↓ cocción (b) (↑) evaporación, (↑) horno de cal	↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	s.e.	↑ producción de energía, (↑/↓) rendimiento final de la pasta
3.3.3 Tamizado cerrado	s.e.	s.e.	↓	s.e.	s.e.	s.e.
3.3.4 Deslignificación con oxígeno	↑ en etapa de O ₂ ↓ en blanqueo	↑ etapa de O ₂ , ↑ oxidación licor blanco, ↑ caustificación y horno de cal	↓	s.e.	(↑) sedimentos	(↑) producción de energía
3.3.5 Blanqueo con ozono	↑ en etapa de O ₃ ↓ en blanqueo	↑ etapa de O ₃ , ↑ producción O ₃ , ↓ en blanqueo	↓	s.e.	s.e.	s.e.
3.3.6 Técnica de blanqueo ECF (frente a TCF) ¹⁾ (con el mismo índice kappa bajo a la entrada)	(↑/↓)	(↑/↓)	↑ AOX, ↑ ClO ₂ ⁻	↑ Cl ₂	s.e.	s.e.
3.3.7 Técnica de blanqueo TCF (frente a ECF) ¹⁾ (con el mismo índice kappa bajo a la entrada)	(↑/↓)	(↑/↓)	(↓ DQO), ↓ AOX, ↑ N agente quelante)	s.e.	s.e.	s.e.
3.3.8. Cierre parcial de la planta de blanqueo + aumento de la evaporación	↑ blanqueo	↑ evaporación	↓	(↑)	(↑) sedimentos)	(↓) consumo de agua)
3.3.9 Recogida de casi todos los vertidos	s.e.	(↑) evaporación)	↓	s.e.	s.e.	s.e.
3.3.10 Lavado eficaz y control de proceso	↓ blanqueo ↓ cocción	↑ lavado (electr.)	↓	s.e.	s.e.	
3.3.11 Stripping y reutilización de condensados	↓ en blanqueo	↑ vapor	↓ DQO, N	↓ olor	s.e.	s.e.
3.3.12 Tanques de homogeneización para líquidos concentrados	s.e.	s.e.	↓	s.e.	s.e.	s.e.
3.3.13 Tratamiento biológico de aguas residuales	↑	↑	↓	(↑)olor)	↑	Combustión de lodo ?
3.3.14 Tratamiento terciario (precipitación)	↑	↑	↓	s.e.	↑	Combustión de lodo ?
3.3.15 Aumento de la MS del licor negro	s.e.	↑ evaporación	s.e.	↓ SO ₂ , (↑ NOx)	s.e.	↑ capac. evaporac. requerida ↑ generación de energía en la caldera de recuperación, ↑ capacidad producción
3.3.16 Instalación de "scrubbers" en la caldera de recuperación	s.e.	(↑)	s.e.	↓	s.e.	(↑/↓)balance de energía
3.3.17 Incineración de gases olorosos en la caldera de recuperación	↓ S demandas de aporte / ↑ S exceso	↑ sistema de manipulación	s.e.	↓ TRS	s.e.	↑ producción de energía (combustión con recuperación de calor)
3.3.18 Incineración de gases olorosos en el horno de cal	↓ S demandas de aporte / ↑ S exceso	↑ sistema de manipulación	s.e.	↓ TRS	s.e.	(↑)producción de energía)
3.3.19 Incineración de gases olorosos en un horno separado + "scrubber"	↓ S demandas de aporte/ ↑ S exceso	↑ sistema de manipulación	s.e.	↓ TRS, (↑ NOx)	s.e.	↑ producción de energía (combustión con recuperación de calor)
3.3.20 Calderas auxiliares bajas en NOx Quemadores bajos en NOx en el horno de cal	s.e.	s.e.	s.e.	↓NOx	s.e.	s.e.
3.3.21 SNCR en las calderas de corteza	↑ urea/NH ₃	↑ sistema de manipulación	s.e.	↓NOx (↑ NH ₃)	s.e.	s.e.
3.3.22 Caldera de recuperación baja en NOx usando la técnica de Aire Sobrecalentado (OFA)	s.e.	s.e.	s.e.	↓NOx	s.e.	s.e.
3.3.23 Mejor lavado del lodo calizo	s.e.	s.e.	s.e.	↓TRS	s.e.	s.e.
3.3.24 PE en caldera de corteza y horno de cal	s.e.	↑ electricidad	s.e.	↓ polvo	s.e.	s.e.
Notes: ↑ = aumento; ↓ = reducción; s.e. = sin efecto (o insignificante). (↑/↓) = puede o no tener efecto / escaso impacto según las condiciones; ¹⁾ suponiendo que haya un tratamiento eficaz de aguas residuales						

Tabla 2.31: Resumen de las técnicas disponibles en la preparación de pasta kraft y su impacto sobre el medio ambiente y la fábrica respectivamente

2.3.1 Descortezado seco

Descripción de la técnica: En la manipulación de la madera, las descargas de compuestos orgánicos y de sólidos en suspensión pueden ser reducidas con descortezado seco. Las descortezadoras húmedas hacen girar los troncos en una balsa de agua y quitan la corteza golpeando el tronco contra los lados de un tambor usando grandes volúmenes de agua. El agua usada en este proceso se recicla, pero una cierta cantidad se pierde como rebose para llevarse la corteza quitada. En el descortezado húmedo se evacúan de 3 a 10 m³ de agua por tonelada de pasta. Hay lixiviación de compuestos orgánicos como ácidos resinosos, ácidos grasos etc. y materiales altamente coloreados, de la corteza a esta corriente de aguas residuales.

En los últimos años, en muchas fábricas se ha instalado el descortezado seco. El agua de proceso se utiliza solamente para el lavado y la descongelación de los troncos (en climas fríos se utiliza agua o vapor para descongelar la madera) y se recircula con eficacia con la generación mínima de efluentes y de contaminantes en aguas. El descortezado seco crea corteza con un menor contenido de agua, lo que da lugar a un mejor balance energético para la fábrica. Se necesita menos agua para descortezar y se reduce la cantidad de sustancias orgánicas disueltas.

Los efluentes brutos de una planta de descortezado son tóxicos para la vida acuática. El tratamiento biológico ha demostrado ser muy eficaz en la eliminación de la toxicidad.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica integrada de proceso. El descortezado seco con descargas bajas de aguas residuales puede aplicarse en fábricas nuevas y existentes. Las descortezadoras secas dominan ya la industria, y los sistemas húmedos están en el proceso de eliminación progresiva. Las fábricas nuevas casi en su totalidad, y un número creciente de fábricas existentes, están utilizando descortezado seco.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: con el descortezado seco, el volumen de aguas residuales de la manipulación de la madera es generalmente del orden de 0,5-2,5 m³/ADt. La disminución de la cantidad de aguas residuales se consigue gracias a una mayor circulación interna del agua. Cambiando de descortezado húmedo a seco, la cantidad de aguas residuales disminuye a menudo en 5-10 m³/ADt. Con el descortezado seco, la carga total de DQO puede reducirse hasta un 10 %. Las descargas típicas del descortezado seco son las siguientes:

Técnica de descortezado	Volumen de efluente [m ³ /t de pasta]	DBO ₅ [kg/t de pasta]	DQO [kg/t de pasta]	tot-P [g/t de pasta]
Descortezado húmedo y prensa de corteza	3 - 10	5 - 15	20 - 30	25 -35
Descortezado seco y prensa de corteza	0,5 - 2,5	0,5 - 2,5	1 - 10	10 20

Tabla 2.32: Carga de contaminación de los efluentes del descortezado húmedo y seco antes del tratamiento biológico [Finnish Report, 1997]; DBO₇ se ha convertido a DBO₅ mediante la fórmula DBO₇ /1,16 = DBO₅ propuesta en el mismo informe; kg contaminantes/m³ de madera se ha convertido a kg de contaminantes/t de pasta suponiendo un consumo típico de madera para pasta de 5 m³ de madera/t de pasta.

La mayor sequedad de la corteza en la alimentación de la caldera mejora el rendimiento energético, lo que significa que las emisiones por cantidad de energía producida se reducirán.

Efectos sobre otros medios: el consumo de energía del descortezado puede aumentar debido al funcionamiento del tambor de descortezado en el modo de descortezado seco. Por otra parte, puede ganarse una cantidad sustancial de energía, si la corteza se utiliza como combustible auxiliar con un contenido en agua más bajo.

Experiencias operativas: en el descortezado húmedo, se ha aplicado con éxito la mejora de la recirculación del agua, en combinación con sistemas de eliminación de tierra y de los sólidos del agua. El descortezado seco requiere generalmente madera fresca para obtener buenos resultados.

Aspectos económicos: los costes de las descortezadoras secas de tambor no deben ser muy distintos de los de un sistema húmedo. El coste de inversión típico de un sistema de descortezado seco totalmente nuevo es de cerca de 15 MEuros para una capacidad de pasta de 1500 ADt/d.

La conversión de un sistema de descortezado húmedo existente a un sistema de descortezado seco cuesta 4-6 MEuros. Estos costes incluyen el equipo y la instalación. La posible necesidad específica de naves nuevas, los costes especiales de reducción del ruido o similares no se incluyen, sino que pueden aumentar los costes. Los costes operativos son de 250000 – 350000 Euros/año, pero en ambos casos puede implicar inversiones considerables.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el descortezado seco disminuye la carga de SST, DBO y DQO, así como la lixiviación de compuestos orgánicos como ácidos resinosos o ácidos grasos de la corteza a esta corriente de aguas residuales. Algunas de estas sustancias se consideran tóxicas para la vida acuática. La medida también aumenta la producción de energía.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa y Norteamérica.

Bibliografía

[J. Pöyry, 1997a], [SEPA-Report 4712-4, 1997], [Finnish BAT Report, 1997]

2.3.2 Cocción modificada extendida (discontinua o continua) a un índice kappa bajo

Descripción de la técnica: la deslignificación antes de la planta de blanqueo se hace en digestores y, en muchas fábricas de pasta, también por medio de deslignificación con oxígeno. Por lo tanto, las medidas 2.3.2. "cocción modificada extendida" y la 2.3.4 "deslignificación con oxígeno" deben considerarse como una unidad, ya que lo que es esencial desde un punto de vista medioambiental es el grado total de deslignificación alcanzado como resultado de la deslignificación en las etapas antes de que la pasta entre en la planta del blanqueo. Debe haber un equilibrio entre la reducción del índice kappa en la cocción y en la deslignificación con oxígeno, puesto que la selectividad es mucho más alta en el último sistema (ver 2.3.4). Para la fábrica es importante controlar los diversos procesos de modo que las características de rendimiento y de resistencia sean óptimas para un contenido dado de lignina.

Para disminuir el contenido de lignina (índices kappa más bajos) en la pasta que entra en la planta de blanqueo de modo que se reduzca el uso de costosos productos químicos de blanqueo, a finales de los años 70 y principios de los 80 se introdujo la deslignificación extendida (o cocción kraft modificada). La reducción en el contenido de lignina reducirá la cantidad de agentes contaminantes descargados, al tiempo que aumenta la cantidad de sustancias orgánicas que van a la caldera de recuperación. Se han desarrollado y aplicado comercialmente diversos procesos kraft modificados en sistemas continuos y discontinuos.

Cocción continua

En el sistema continuo, la Cocción Continua Modificada (MCC), la Cocción Continua Modificada Extendida (EMCC) y la Cocción Isotérmica (ITC) representan las tres alternativas. En el proceso del MCC, la zona de cocción en el digestor se divide en dos zonas, a saber una zona inicial a cocrriente y una zona subsiguiente a contracorriente. La carga del licor blanco se

divide entre las dos zonas. El propósito de la modificación ha sido disminuir la concentración inicial de álcali, mantener una concentración uniforme de álcali durante el proceso de cocción y una concentración baja de la lignina disuelta en la parte final de la cocción. El proceso de EMCC fue desarrollado sobre la base del proceso de MCC. La diferencia está en que, en el proceso de EMCC, el licor blanco también se carga en la zona de lavado para ampliar más la deslignificación en el digestor.

El más reciente desarrollo dentro de la tecnología de cocción La Cocción Isotérmica (ITC), que es otra mejora de la MCC. En la ITC, todo el recipiente del digestor se utiliza para la deslignificación, lo que significa que se consiguen condiciones más suaves (temperatura de cocción más baja) y por lo tanto se mantiene la resistencia de la pasta. Según el índice kappa que se desee conseguir, la carga de productos químicos de cocción se mantendrá sin cambios o será ligeramente superior. Dado que la ITC significa una temperatura de cocción más baja, no hay aumento en el uso de vapor y el impacto en el rendimiento es limitado.

Cocción discontinua

En el sistema discontinuo, hay tres procesos que se aplican comercialmente: El proceso Beloit's (Calentamiento con Desplazamiento Rápido o RDH), SuperBatch y EnerBatch. En los procesos RDH y Superbatch, se realiza un tratamiento previo (impregnación) con licor para reducir el consumo de calor y al mismo tiempo aumentar la concentración inicial de sulfuro y disminuir la carga efectiva de álcali. En el proceso Enerbatch, se realiza un tratamiento previo con licor blanco seguido por un pretratamiento con licor negro. Todos estos procesos de cocción con desplazamiento muestran un ahorro sustancial de la energía y una mejora en la calidad de la pasta.

El contenido de lignina se mide generalmente como índice kappa con un método estandarizado. La cocción convencional tiene sus límites, respecto a como conseguir un índice kappa suficientemente bajo sin deterioro de la calidad de la pasta (este índice kappa es de alrededor de 30-32 para fibra larga y de 18-20 para fibra corta). Por medio de diversas modificaciones de la cocción, el índice kappa de la cocción de fibra larga puede reducirse a un nivel de 18-22 para fibra larga y de 14-16 para fibra corta, mientras que las características de rendimiento en pasta y resistencia se siguen manteniendo. La reducción del índice kappa depende entre otras cosas de la tecnología de cocción modificada aplicada, y de si se utiliza una instalación modernizada o nueva. A modo de ejemplo, en la Figura 2.8 se muestran tendencias de índices kappa en fábricas finlandesas de pasta kraft.

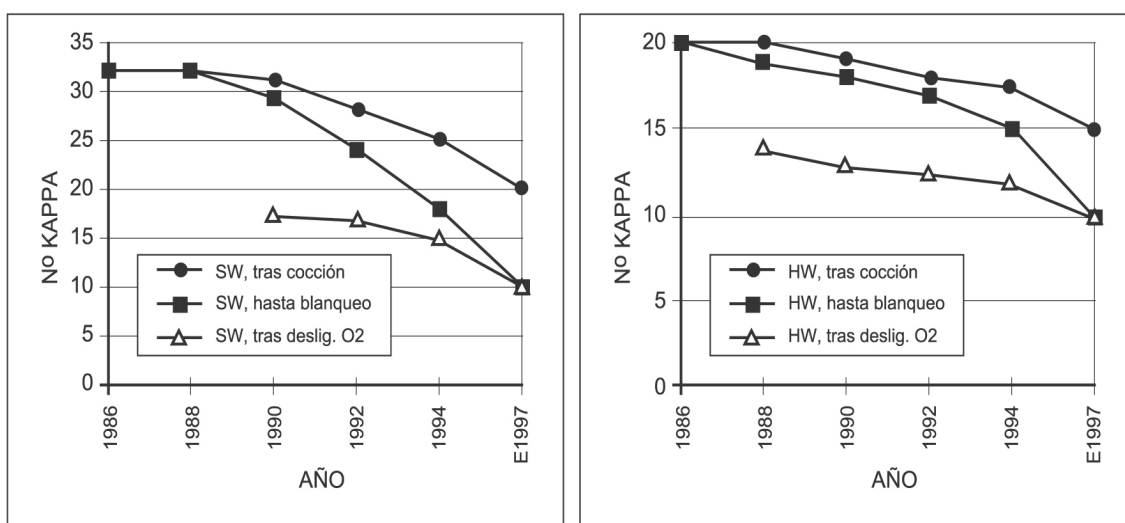


Figura 2.8: Tendencias de índices kappa en fábricas de pasta kraft en Finlandia [Finnish BAT Report, 1997]

Aplicabilidad y características de la medida: técnica integrada de proceso. Esta medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y, en un grado limitado, en fábricas existentes.

Una serie de digestores continuos han sido modernizados a ITC sin tener que sacrificar la producción. Sin embargo, esta posibilidad tiene que ser evaluada en cada caso individual (esto tiene que ver con las dimensiones del recipiente a presión en relación con su capacidad). Otros digestores continuos han sido remodelados al sistema de MCC. Para ello, se bombea licor blanco al interior del digestor en varios puntos. Con las técnicas de MCC e ITC es posible cocer la pasta para reducir el índice kappa, sin pérdidas en la calidad (índice kappa 20 - 24 para fibras largas y de 14-18 para fibras cortas). En sistemas de cocción continuos, la capacidad de la planta disminuiría con una cocción extendida e implicaría un mayor coste para la fábrica de pasta.

En la cocción discontinua, la deslignificación extendida se realiza por medio de técnicas de desplazamiento y reciclaje del licor negro. Es posible instalar el proceso como modificación en plantas convencionales, si la capacidad del digestor es bastante grande. En una nueva instalación el índice kappa de cocción puede mantenerse en 15-16 para fibra larga y aproximadamente 12 para fibra corta. En la práctica, es posible realizar modificaciones de un sistema de cocción discontinua existente con digestores discontinuos adicionales y costes de inversión adicionales sin perder la capacidad de la planta de cocción.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: un contenido más bajo de lignina significa menos descargas de la planta de blanqueo, no sólo de sustancias orgánicas sino también de nutrientes (por ejemplo). Una unidad kappa corresponde aproximadamente a un 0,15 % de lignina en la pasta. Si el índice kappa de la pasta de la cocción o deslignificación con oxígeno (ver 2.1.6) puede reducirse en una unidad, la DQO evacuada por la planta de blanqueo se reduciría en aproximadamente 2 kg/ADt (la DQO del blanqueo TCF puede ser de hasta unos 3 kg DQO/índice kappa). Sin embargo, para conseguir una cifra de la descarga total de la planta de blanqueo, hay que agregar la cantidad de agentes contaminantes que no se ha eliminado en la parte cerrada del proceso (ver 2.3.10).

Efectos sobre otros medios: la cocción extendida afecta distintos elementos en el proceso kraft:

- El consumo de álcali activo ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) puede aumentar ligeramente.
- La cantidad de sustancias disueltas que van al sistema de recuperación aumenta.
- La generación de vapor en la caldera de recuperación aumenta.
- La demanda de productos químicos de blanqueo aumenta.
- Hay una menor carga de contaminantes en las aguas residuales del blanqueo.
- En la cocción discontinua modificada, el consumo de energía y la disminución de la cantidad de vapor inyectado en la cocción se reducen, pero el consumo de vapor en la evaporación del licor negro puede aumentar.

El impacto de la cocción extendida en la producción es muy específica de cada instalación.

Experiencias operativas: se han conseguido reducciones del índice kappa de 6-7 unidades para fibra larga y de 4 - 5 unidades para fibra corta sin pérdida de propiedades de resistencia.

Economía: los costes de inversión para la modificación de un sistema de cocción convencional existente para deslignificación extendida son de 4-5 MEuros en una fábrica con una producción de 1500 ADT/d. Para obtener una reducción de la DBO y la DQO, la eficacia de lavado debe aumentar también. Esto costaría 2-4 MEuros más. Sin embargo, con la ITC no hay necesidad de agregar más equipo de lavado si la modificación se hace a capacidad constante. Con un digestor continuo o cuando la caldera de recuperación ya está funcionando a plena capacidad, la pérdida

de producción puede ser de un 4-8%. En tales casos hay que encontrar maneras de adaptarse al aumento en la carga de sólidos, como etapas de evaporación adicionales, para aumentar la concentración de materia seca en el licor negro, adición de antraquinona en la pasta o adición de capacidad suplementaria de la caldera.

Generalmente, el impacto de la cocción extendida en la producción es muy específico de la instalación. Si el sistema de recuperación de sustancias químicas es un cuello de botella en una fábrica de pasta, la introducción de la deslignificación extendida conlleva el riesgo de una pérdida en la producción debido a la mayor demanda de esa parte del sistema (véase arriba).

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de emisiones al agua es el motivo principal de la aplicación de esta técnica. Un efecto beneficioso es también una reducción del consumo de costosos productos químicos de blanqueo. Esta reducción debe compararse con la posible pérdida de rendimiento y el mayor consumo de madera, para determinar la posibilidad de obtener un ahorro neto de costes en cada caso particular.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [Bowen, 1990].

2.3.3 Depuración cerrada

Descripción de la técnica: el sistema de agua en la planta de depuración de pasta cruda puede ser totalmente cerrado, como lo es de hecho en la mayoría de las fábricas europeas. Con los modernos sistemas de manipulación de madera y cocción, en la pasta quedan menos de un 0,5 % de nudos y astillas después de la cocción. El cierre contribuye a la reducción de compuestos orgánicos en los efluentes, que luego se recuperan e incineran en la caldera de recuperación. La idea es llevar el depurado a contracorriente en la línea de fibra, lo que aumenta gradualmente el contenido de materia seca del licor.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica integrada en el proceso. La medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes.

El cierre del lavado y de la depuración puede requerir la modificación o sustitución del equipo existente con nuevas unidades para alcanzar un menor consumo de agua de lavado y tener mejores materiales para resistir la corrosión. En algunas fábricas existentes, la capacidad de la planta de evaporación o de la caldera de recuperación puede tener que aumentarse para adaptarse a la mejora del cierre de las secciones de lavado y de depuración.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el cierre contribuye a la reducción significativa de compuestos orgánicos en los efluentes. Posteriormente se recuperan y se incineran en la caldera de recuperación. Así, la planta de depuración no tiene descargas al agua.

Efectos sobre otros medios: el consumo de energía aumenta debido a la necesidad creciente de evaporación.

Experiencias operativas: la medida se ha aplicado desde los años 80 con buenas experiencias. Por ejemplo, en Finlandia, la depuración cerrada y el lavado de la pasta cruda es una realidad en casi todas las fábricas.

Economía: los costes de inversión para el cierre de la depuración son normalmente 4-6 MEuros en fábricas nuevas y 6-8 MEuros en fábricas existentes. Los costes operativos son 0,3-0,5 MEuros/año para una capacidad de 1500 ADT/d.

Un paso importante en el desarrollo de la depuración es que hoy es posible depurar a consistencias más altas de pasta que antes. Las consecuencias son una reducción de los costes de inversión y del consumo de energía eléctrica.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de emisiones al agua es el motivo principal de la aplicación de la técnica.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía

[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SSVL 1974]

2.3.4 Deslignificación con oxígeno

Descripción de la técnica: después de la cocción, las fibras contienen todavía un poco de lignina que debe eliminarse antes del blanqueo final. Para preservar la resistencia de la pasta, la lignina debe eliminarse de una manera selectiva con un daño mínimo a la parte celulósica de las fibras y con una mínima pérdida de rendimiento en pasta. Alrededor de la mitad de la lignina restante en la pasta cruda puede ser separada y recuperada agregando oxígeno a una suspensión alcalina de fibra. En la deslignificación con oxígeno, se mezclan oxígeno, licor blanco oxidado y sulfato de magnesio con la pasta a una consistencia alta (25-30 %) o media (10-15 %) en un reactor. La etapa de deslignificación con oxígeno también se ha denominado blanqueo con oxígeno (las etapas de oxígeno también se utilizan hoy en día en la planta de blanqueo, y en este informe la deslignificación con oxígeno se utiliza para el proceso de la pasta sin blanquear). Para mantener el balance de sodio de la fábrica, la etapa del oxígeno utiliza normalmente el licor de cocción oxidado, donde el hidróxido sódico es el principal producto químico alcalino y el sulfuro sódico se ha oxidado a tiosulfato. Se presuriza el reactor de deslignificación y la temperatura se eleva a alrededor de 100°C.

La deslignificación con oxígeno se realiza en una o dos etapas después de la cocción y antes del blanqueo, y puede alcanzar una eficacia de deslignificación del 40 al 60%. Una eficacia de más del 40% requiere normalmente instalaciones de dos etapas. El licor residual se envía contracorriente al sistema de recuperación de productos químicos. En la Figura 2.9 y 2.10 se dan ejemplos de esquemas de proceso moderno de deslignificación en una y en dos etapas.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas kraft nuevas y existentes, aunque no de la misma manera y con los mismos costes.

La instalación de la fase de deslignificación con oxígeno en una fábrica de pasta Kraft existente puede disminuir la producción de la línea de fibra, si no hay bastante capacidad de reserva en todo el sistema de recuperación.

Los requisitos adicionales de vapor del evaporador son de un 0 - 4 % para un sistema de alta consistencia, y de un 4 - 10 % para un sistema de consistencia media. La carga adicional total de sólidos es de unos 70 kg/t para fibra larga y de 45 kg/t para fibra corta. La generación de vapor del exceso de sólidos es un 1,5–2,5 % menos que el aumento de la carga de sólidos, debido al menor valor calorífico del licor negro de la etapa de oxígeno.

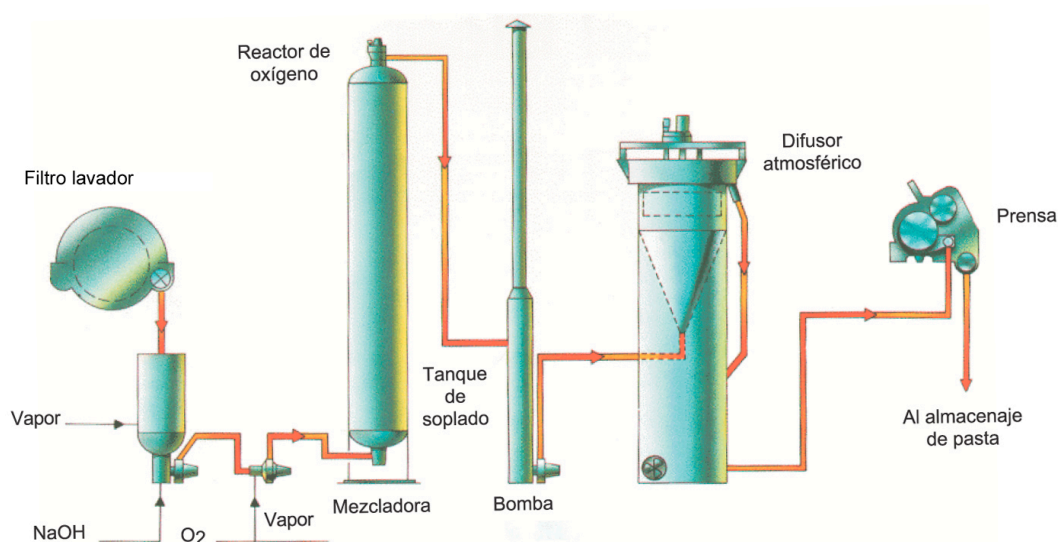


Figura 2.9: Deslignificación con oxígeno en una etapa

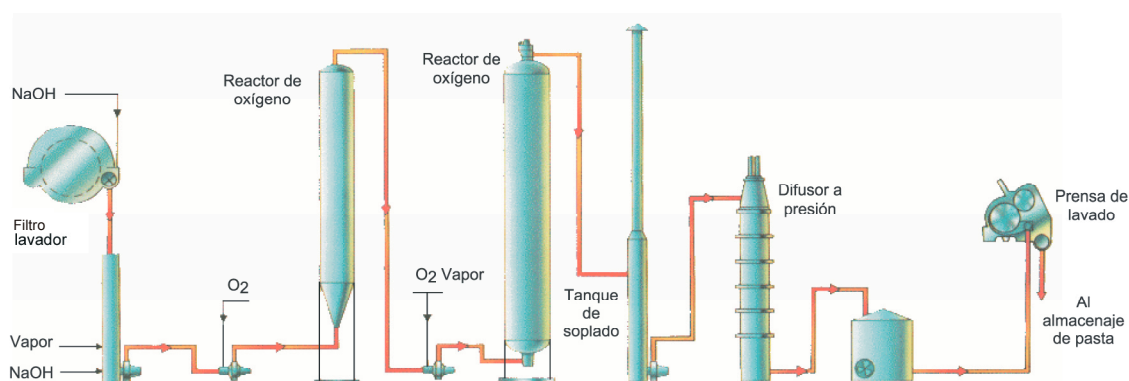


Figura 2.10: Deslignificación con oxígeno en dos etapas

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las ventajas principales de la deslignificación con oxígeno son la reducción de la cantidad de productos químicos en el blanqueo final y de los costes totales de productos químicos de blanqueo, así como la reducción de la carga de contaminación de la planta de blanqueo (DQO y compuestos orgánicos clorados del blanqueo final en el caso de blanqueo ECF). Las fábricas modernas se diseñan siempre con una combinación de cocción modificada y deslignificación con oxígeno y, para un mejor efecto sobre el medio ambiente (descargas de DQO y de AOX), ambas técnicas deben ser consideradas juntas.

La Tabla 2.33 resume los índices kappa alcanzados actualmente con diversas tecnologías de deslignificación y da una comparación general de las cargas de efluentes que cabe esperar con y sin deslignificación extendida.

Tecnologías de deslignificación	Kappa para fibra corta	Kappa para fibra larga	Carga de DQO calculada [kg/t] de la planta de blanqueo	
			Fibra corta	Fibra larga
Cocción convencional	14 -22	30 - 35	28 - 44	60 - 70
Cocción convencional + deslignificación con oxígeno	13 - 15	18 - 20	26 - 30	36 - 40
Cocción extendida/modificada	14 -16	18 - 22	28 - 32	36 - 44
Cocción extendida + deslignificación con oxígeno	8 -10	8 -12	16 - 20	16 - 24

Tabla 2.33: índices kappa alcanzados actualmente con distintas tecnologías de deslignificación y comparación entre las DQO calculadas en los efluentes sin considerar las pérdidas por lavado

Las reducciones del índice kappa, de las sustancias orgánicas y del consumo de productos químicos en la deslignificación con oxígeno están fuertemente relacionadas con la eficacia del lavado entre etapas. El comportamiento medioambiental indicado no se alcanza sin un lavado eficaz (ver 2.3.10).

Efectos sobre otros medios: en el consumo de energía, la medida significa un leve aumento en la recuperación de energía de las sustancias orgánicas disueltas, aunque también un menor valor calorífico del licor negro de los compuestos inorgánicos.

Una mayor recuperación podría contribuir un aumento de las emisiones de NOx de la caldera de recuperación.

Experiencias operativas: las características de resistencia de la pasta blanqueada con oxígeno y blanqueada convencionalmente son muy similares, aunque la pasta blanqueada con oxígeno tiene una menor viscosidad media. No se observan diferencias significativas en el índice de estallido y de desgarro a una longitud de rotura dada.

De acuerdo con las experiencias de algunas fábricas, una etapa de oxígeno antes de la secuencia de blanqueo de fibra larga produce más partículas y astillas.

Economía: el coste de inversión para un sistema de deslignificación con oxígeno es típicamente de 35 - 40 MEuros para una producción de pasta blanqueada de 1500 ADt/d. Sus gastos operativos son de 2,5-3,0 MEuro/año. Sin embargo, la deslignificación con oxígeno reduce el consumo de agentes químicos de blanqueo. El efecto neto es un ahorro de costes que depende de la especie de madera. En las fábricas existentes, se ha reportado un aumento de las cargas adicionales de materia seca a la caldera de recuperación de hasta un 10 %, y el valor más general es de al menos un 4-6 %, y se requiere un aumento de capacidad del 4-6 % en el recausticado y el horno de cal. Si esta capacidad no está fácilmente disponible, normalmente produce una pérdida de capacidad de producción de toda la fábrica.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones al agua (planta de tratamiento de efluentes y medio receptor) es el motivo principal de aplicación del método.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa y en América.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [Bowen, 1990]

2.3.5 Blanqueo con ozono

Descripción de la técnica: el blanqueo con ozono está relacionado con la producción de pastas ECF y TCF. El propósito principal de usar ozono es disponer de un mayor poder de deslignificación. El ozono activa las fibras antes de la etapa de peróxido y esto produce una blancura más alta y un menor consumo de peróxido.

El ozono se genera por medio de descargas eléctricas silenciosas en una corriente de oxígeno gas. El blanqueo con ozono (O_3) comporta costes de inversión muy altos debido a los altos costes de los generadores de ozono y del equipo auxiliar para la generación de ozono. Puesto que la concentración del ozono será sólo de cerca de un 14-16 % de la de oxígeno, se requieren volúmenes bastante grandes de oxígeno. Así, los gastos de explotación son algo elevados debido al coste relativamente alto de oxígeno (necesario para la generación del ozono) así como al elevado consumo de energía. Un moderno generador de ozono puede consumir 10-15 kWh/kg de ozono alimentándolo con oxígeno.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. La medida puede adoptarse en fábricas kraft nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: en el blanqueo ECF, el uso de ozono en lugar del dióxido de cloro reduce las descargas de AOX (ECF ligero). En el blanqueo TCF, el ozono es una etapa de blanqueo común. En fábricas de pasta TCF, el uso de ozono y otros productos químicos de blanqueo libres de cloro hace menos complicado cerrar las corrientes de filtrados de las etapas de lavado (ver 2.3.8). Una etapa de peróxido (PO) presurizada al final de la secuencia de blanqueo es otra opción para reducir la carga de dióxido de cloro. En fábricas con pasta TCF, una etapa de PO es relativamente frecuente.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes sobre otros medios.

Experiencias operativas: el uso de ozono en una planta de blanqueo ECF produce normalmente pasta con las mismas propiedades para la fabricación de papel.

Economía: los costes de inversión para un sistema de blanqueo con ozono de 1500 Adt/d son de 12-15 MEuros. Los costes operativos correspondientes son de 1,8-2,1 MEuros/a.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de emisiones al agua (AOX) es el principal motivo de aplicación de este método.

Plantas de referencia: unas 16 plantas desde 1992, de las cuales 13 son en fábricas de pasta kraft.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [Fuhrmann, 1998]

2.3.6 Técnica de blanqueo

Descripción de la técnica: el blanqueo ECF (sin cloro elemental) es una secuencia de blanqueo que no utiliza cloro elemental (cloro gas, Cl_2). En el blanqueo ECF, el dióxido de cloro es generalmente el agente de blanqueo principal. La eliminación de lignina por blanqueo se realiza en varias etapas, las primeras dos etapas liberan y extraen básicamente la lignina, mientras que las etapas subsiguientes sirven para eliminar los residuos de lignina y acabar el producto. Una

planta del blanqueo consiste en una secuencia de etapas separadas que blanquean agregando diversos productos químicos o una combinación de productos químicos.

El cloro elemental puede sustituirse por dióxido de cloro en la primera etapa de blanqueo, ya que el dióxido de cloro, por átomo de cloro, tiene un poder de oxidación cinco veces mayor en comparación con el cloro y tiene prácticamente las mismas características selectivas de eliminación de la lignina. El refuerzo de las etapas alcalinas de extracción en el blanqueo con oxígeno y/o peróxido de hidrógeno produce un efecto de blanqueo oxidante realzado, que reduce el contenido residual de lignina de la pasta antes de las etapas de blanqueo finales con dióxido de cloro.

El aumento del grado de sustitución del dióxido de cloro disminuye la formación de sustancias orgánicas cloradas y elimina la formación de dioxinas, que se considera que tienen efectos medioambientales adversos en las aguas receptoras.

La mayor sustitución del cloro por dióxido de cloro requiere generalmente modificaciones en el procedimiento de blanqueo y también la ampliación de la planta de producción de dióxido de cloro in situ.

Se han probado diversas soluciones técnicas, y algunas de ellas han demostrado ser más apropiadas a escala productiva. El blanqueo ECF es diferente para madera de coníferas (fibra larga) y madera de frondosas (fibra corta), y en las fábricas existentes el posible concepto ECF está ligado al procedimiento blanqueador actual. Generalmente, para alcanzar un cierto objetivo de blancura, la fibra corta requiere menos productos químicos que la fibra larga, lo que generalmente significa que el número de etapas de blanqueo puede ser más corto. La Tabla 2.34 enumera una serie de opciones de entre la gran cantidad de posibles variaciones. Los ejemplos para las secuencias de blanqueo ECF ligero son (DZ)(EOP)D, (DQ)(PO), D(EOP)D(PO), y pueden aplicarse tanto para fibra corta como larga según el objetivo de blancura.

El dióxido de cloro tiene la mayor selectividad entre los agentes químicos técnicos de blanqueo. El blanqueo sólo con dióxido de cloro en la primera etapa de blanqueo significa que la carga

ECF / Fibra larga	ECF / Fibra corta
D(EP)D	D(EOP)D(EP)D
DPDP	D(EO)D(EP)D
D(EOP)DD	D(EOP)DD
D(EO)DD	D(EO)DD
D(EO)D(EP)D	QDPZP
DQ(PO)	
D(EOP)DED	
D(EO)D(OP)	
D(EOP)D(OP)	
(OP)DQ(PO)	
Notas: D = Etapa de blanqueo con dióxido de cloro usando una solución de dióxido de cloro (ClO ₂) en agua. E = Etapa de extracción alcalina con NaOH; EO = Etapa de extracción alcalina con NaOH y adición subsiguiente de oxígeno gas como agente de refuerzo; EP = Etapa de extracción alcalina con NaOH con adición subsiguiente de solución de H ₂ O ₂ como agente de refuerzo; P = Etapa alcalina con H ₂ O líquido; EOP = Etapa de blanqueo con extracción alcalina con hidróxido sódico y adición subsiguiente de oxígeno y solución de peróxido de hidrógeno como agente de refuerzo; Q = Etapa ácida con uso del agente quelante EDTA o DTPA para la eliminación de metales; Z = Blanqueo con ozono con O ₃ gas; PO = Blanqueo con peróxido a presión.	

Tabla 2.34: Secuencias de blanqueo ECF en procesos kraft para fibra larga y fibra corta

total de cloro eficaz debe aumentarse, y que el oxígeno y el peróxido de hidrógeno se utilizan más intensamente en las etapas de extracción en comparación con una etapa convencional C o C/D.

Ejemplo de las características de la etapa con dióxido de cloro (D):

Consistencia de la pasta: 10 %; Tiempo de reacción: 30 min; Temperatura: 60°C; pH final: 3,5.

Ejemplo de las características de la etapa de extracción alcalina reforzada con oxígeno y peróxido (EOP): Consistencia de la pasta: 12 %; Tiempo de reacción: 60 min; Temperatura: 60 - 70°C; Carga de álcali: 10 - 20 kg/ADt; Carga de oxígeno: 3 - 6 kg/ADt; Carga de peróxido de hidrógeno: 2 - 4 kg/ADt.

El peróxido puede aplicarse en varias posiciones o en diversas formas:

- Refuerzo de una etapa inicial ligera de oxígeno (carga baja o moderada).
- Refuerzo de etapas de extracción alcalina (carga baja).
- Ajuste final de blanquura en torres de almacenamiento de alta densidad (carga baja).
- Etapa separada de deslignificación/blanqueo (carga alta).
- Etapa separada de deslignificación/blanqueo a presión (carga alta, PO). El impacto positivo de que haya una etapa de PO al final de la planta de blanqueo es que puede producirse pasta ECF en una fábrica existente sin tener que invertir en capacidad adicional de dióxido de cloro.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas kraft nuevas y existentes. La conversión de una fábrica existente a fábrica ECF es posible pero requiere modificaciones a menudo considerables en la línea de fibra y en la producción de dióxido de cloro: los generadores de dióxido de cloro tienen que aumentar su capacidad para atender la demanda creciente de este producto químico de blanqueo. Las plantas de blanqueo existentes deben incorporar diversos sistemas de mezcla de productos químicos etc. El coste de productos químicos de blanqueo aumentará.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: elimina 2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF a niveles no detectables. Sin embargo, la eliminación completa de dioxinas en los efluentes de blanqueo ECF es una cuestión del índice kappa y de la pureza de ClO_2 . Con un kappa alto y ClO_2 impuro (es decir alta concentración de Cl_2), la probabilidad de que se formen dioxinas aumenta. Elimina los clorofenoles prioritarios propuestos por la agencia de protección del medio ambiente de EE.UU. (EPA) para regulación a niveles no detectables. Disminuye la formación de cloroformo. Reduce la formación de compuestos orgánicos clorados (AOX) a un nivel de 0,2-1,0 kg/ADt antes del tratamiento externo de efluentes. Generalmente pueden conseguirse fácilmente niveles de $\text{AOX} < 0,3 \text{ kg AOX/ADt}$ con blanqueo ECF.

Efectos sobre otros medios: la puesta en práctica del blanqueo ECF ha requerido que la industria de la pasta y el papel aumente el uso productos químicos de blanqueo sustitutivos, lo que requiere cantidades considerables de energía en la fabricación de dióxido de cloro, oxígeno y peróxido de hidrógeno.

Experiencias operativas: la producción con blanqueo ECF ha sido probada y puesta en práctica en líneas de pasta a escala productiva durante varios años.

Economía: los costes de inversión para un sistema de blanqueo ECF de 1500 ADt/d ECF son de 8-10 MEuros en fábricas nuevas y de 3-5 MEuros en fábricas existentes. Los gastos operativos son de 10-12 MEuros/a. Estos costes se basan en la suposición de que puede utilizarse una planta de blanqueo existente, y los costes de inversión incluyen entonces el

aumento necesario en la producción de dióxido de cloro. Así pues, los gastos de explotación también contienen el coste adicional del dióxido de cloro que se usa en vez del cloro elemental para el blanqueo.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones de AOX al agua (planta de tratamiento de efluentes y medio receptor) es el motivo principal para aplicar el método.

Plantas de referencia: varias plantas en Europa, Norte y Sudamérica y Sudáfrica.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [ECF, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.7 Técnica de blanqueo TCF

Descripción de la técnica: el blanqueo sin cloro (TCF) es un procedimiento de blanqueo realizado sin ningún producto químico que contenga cloro. El blanqueo TCF se ha desarrollado rápidamente, pese a que su uso requiere generalmente diversas modificaciones en el proceso de cocción. En el blanqueo TCF, el peróxido de hidrógeno, junto con el ozono (Z) o el ácido peracético (PA) son los productos químicos más comúnmente utilizados. A condición de que la pasta tenga un índice del kappa lo bastante bajo después de la cocción extendida y la deslignificación con oxígeno y se hayan eliminado los metales de transición (ej: Mn^{2+}) en las etapas quelantes necesarias (etapas Q), es posible conseguir una blancura comercial completa con el peróxido como único producto químico de blanqueo. Sin embargo, la curva de dosis-respuesta para la blancura frente al consumo de peróxido es bastante plana para la máxima blancura, lo que significa que incluso pequeñas variaciones en el índice kappa entrante pueden causar costes de blanqueo bastante elevados, así como una degradación de la pasta debido a una blancura baja.

Los perácidos se hallan disponibles comercialmente en la actualidad en forma por ejemplo de ácido peracético (PA). Este producto químico de blanqueo es un complemento valioso en una etapa anterior al peróxido de hidrógeno, donde puede ser sustituto del ozono. Permite alcanzar una blancura completa incluso cuando la pasta sin blanquear tenga un índice kappa ligeramente por encima del mínimo. La desventaja del ácido peracético es su coste más bien elevado.

En la Tabla 2.35 se detallan ejemplos de distintas secuencias de blanqueo TCF.

TCF/FIBRA LARGA	TCF/FIBRA CORTA
Q(EP)(EP)(EP)	QPZP
Q(OP)(ZQ)(PO)	Q(OP)(ZQ)(PO)
Q(EOP)Q(PO)	Q(EOP)Q(PO)
Q(OP)ZQ(PO)	Q(OP)ZQ(PO)
Notas: Q = Etapa ácida en la que se ha utilizado el agente quelante EDTA o DTPA para la eliminación de metales; EP = Etapa de extracción usando NaOH con adición subsiguiente de solución de H_2O_2 como agente de refuerzo; EOP = Etapa de blanqueo con extracción alcalina utilizando hidróxido sódico con adición subsiguiente de solución de peróxido de hidrógeno y oxígeno como agente de refuerzo; EO = Etapa de extracción con NaOH con adición subsiguiente de oxígeno gas como agente de refuerzo; P = Etapa alcalina con H_2O_2 líquido; Z = Blanqueo con ozono utilizando O_3 gas; PO = Blanqueo con peróxido a presión.	

Tabla 2.35: Secuencias de blanqueo TCF para pasta kraft de fibra larga y fibra corta

Ejemplo de características de la etapa Q:

EDTA: 1-2 kg/ADt; pH: 5.7 - 6.2; Consistencia pasta: 10 %; Tiempo de reacción: 60 min; Temperatura: 90°C;

Ejemplo de características de la etapa E (extracción alcalina) reforzada con oxígeno y peróxido (EOP):

NaOH: 10 - 20 kg/ADt; Oxígeno: 3 - 6 kg/ADt; H₂O₂: 2 - 4 kg/ADt; pH: 11; Tiempo de reacción: 60 min; Temperatura: 60 - 70°C;

Ejemplo de características de la etapa P:

H₂O₂: 20-40 kg/ADt; pH: 11 - 11.5; Tiempo de retención: 4 h; Temperatura: 90°C.

La primera secuencia de blanqueo TCF estaba basada en peróxido en condiciones alcalinas, y el uso amplio del peróxido de hidrógeno sigue siendo la característica principal de todas las secuencias de blanqueo TCF. La descomposición del peróxido es catalizada por ciertos iones metálicos que deben ser eliminados en una etapa ácida antes de la etapa de peróxido.

El peróxido puede aplicarse en varias posiciones o diversas maneras:

- Refuerzo de una etapa inicial suave de oxígeno (carga baja o moderada): OP.
- Refuerzo de etapas de extracción alcalina (carga baja): EP.
- Ajuste final de la blancura en torres de almacenaje de alta densidad (carga baja): P.
- Etapa separada de deslignificación / blanqueo (carga alta): P.
- Etapa separada de deslignificación / blanqueo a presión (carga alta): PO.

El tratamiento previo de la pasta con un agente electrófilo adecuado antes del blanqueo con peróxido puede "activar" las fibras y mejorar su respuesta al peróxido. El ozono puede promover este tipo de efectos.

El ozono se ha convertido en el complemento más común al peróxido en secuencias de blanqueo TCF. El propósito principal del uso de ozono es proporcionar más capacidad de deslignificación. El ozono activa las fibras para el peróxido de hidrógeno y esto produce una blancura más alta y un consumo algo más bajo de peróxido de hidrógeno. Por otra parte, la selectividad del ozono es baja. Una aplicación excesiva, una temperatura demasiado alta u otro tratamiento inadecuado pueden conducir a una grave degradación de la celulosa. El ozono debe aplicarse preferiblemente en condiciones ácidas (pH ≈2-3). Una temperatura demasiado alta (>70°C) deteriora la selectividad. Una alta presión aumenta la solubilidad del ozono en la fase acuosa durante el blanqueo (el ozono disuelto se considera que es menos agresivo para los carbohidratos que el ozono en fase gas). La consistencia de la pasta es un parámetro importante en el blanqueo con ozono. Las instalaciones de blanqueo con ozono funcionan en condiciones de consistencia media (8-15 %) o de consistencia alta (>30 %).

Si se aplica el ozono, es necesaria una nueva unidad de producción química in situ, debido a la rápida descomposición del ozono en el transporte o el almacenaje. Los gastos operativos de la pasta TCF son generalmente algo más altos que los de la pasta ECF.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas kraft nuevas y existentes.

En fábricas existentes, normalmente es necesario el uso de una etapa quelante, una nueva etapa de oxígeno y una lavadora para convertir la secuencia de blanqueo ECF a TCF. Si se utilizan las etapas de peróxido de hidrógeno o de ozono, se utilizan dos torres de blanqueo nuevas y

reconstrucción de los filtros de blanqueo. El blanqueo con ozono requiere generadores de ozono y un reactor. Para el ácido peracético se requiere una torre de blanqueo.

En fábricas “greenfield” se requieren menos modificaciones y costes de inversión, pero los costes operativos suelen ser del mismo orden de magnitud.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: en el blanqueo TCF, la formación de AOX es cero.

Efectos sobre otros medios: actualmente no hay diferencias significativas en el consumo de productos químicos y energía si se comparan las alternativas de blanqueo ECF y TCF.

Experiencias operativas: el blanqueo TCF es ahora una tecnología establecida. Muchas fábricas en Europa han desarrollado la posibilidad de producir pasta TCF en campañas en vez de pasta ECF, según la demanda del mercado. Algunas fábricas están fabricando solamente pasta TCF. No obstante, los costes de producción ligeramente más altos y la ausencia de mejora en la calidad del producto han limitado la demanda, y la cuota de pasta TCF no ha aumentado en los dos últimos años.

Economía: los costes de inversión para blanqueo con peróxido en fábricas nuevas, con una productividad de 1500 ADt/d, son de 7-8 MEuros en fábricas de pasta existentes, según los materiales del equipo de blanqueo existente. Si los materiales toleran el peróxido de hidrógeno, los costes son de 2-3 MEuros. Los gastos operativos para blanquear al peróxido son considerablemente más altos, 18-21 MEuros/a, que en el blanqueo ECF, debido a los mayores costes de productos químicos.

Si se aplica blanqueo con ozono y peróxido, los costes de inversión son más altos (ver también sección 2.3.5, blanqueo con ozono).

Motivo principal de aplicación de esta técnica: en el blanqueo TCF, las emisiones de AOX al agua se reducen y no se forman compuestos orgánicos clorados.

Plantas de referencia: muchas plantas en Europa y algunas plantas en otras partes del mundo.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [ECF, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.8 Cierre parcial de la planta de blanqueo

Descripción de la técnica: hay descargas limitadas de contaminantes al agua antes de la etapa de blanqueo. Si la etapa de blanqueo puede cerrarse totalmente o en parte, esto daría lugar a ulteriores reducciones sustanciales de las descargas al agua de sustancias orgánicas, nutrientes y metales.

El principal requisito previo al cerrar la planta de blanqueo, lo cual aquí significa el reciclaje de los filtrados al sistema de recuperación química, es reducir el flujo volumétrico que atraviesa la planta de blanqueo. Esto puede conseguirse pasando los líquidos a contracorriente desde la última etapa de blanqueo a través de la secuencia, pasando por el aparato de lavado de la etapa de oxígeno hasta la lavadora de pasta cruda, como se muestra en el ejemplo de la Figura 2.11. [Alfthan, 1996].

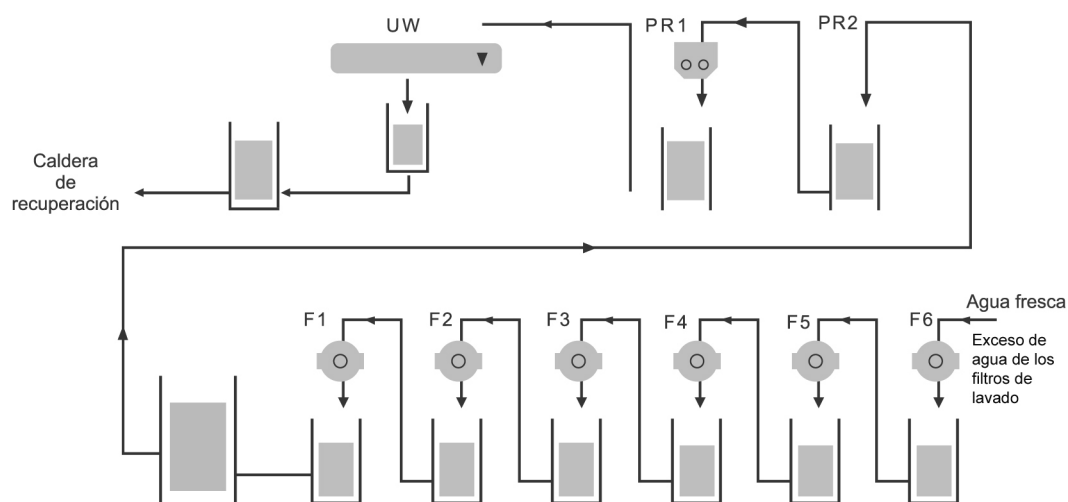


Figura 2.11: Principio de un posible sistema de agua en plantas de blanqueo cerradas. F1 - F6 = Filtros de lavado en la planta de blanqueo; PR1 + PR2 = Prensas de lavado en deslignificación con oxígeno; UW = Lavadora horizontal como última etapa de lavado de pasta cruda; los tanques proporcionan la capacidad de almacenamiento requerida para las aguas internas. El sistema de agua presentado en esta figura sólo se ha utilizado durante un periodo de unos pocos meses. Hoy ha sido parcialmente reabierto.

Como se muestra en la Figura 2.11, para aumentar el cierre de la planta de blanqueo es necesario disponer de capacidad de almacenamiento adicional para las aguas internas y una remodelación del sistema de distribución de agua.

Es inevitable que las sustancias disueltas y los productos de reacción se acumulen en el filtrado que circula por las etapas de peróxido. La acumulación de sólidos disueltos causa un aumento adicional considerable en el consumo de productos químicos de blanqueo. Puede que incluso sea difícil alcanzar la blancura completa. Otra complicación del lavado a contracorriente es que los ajustes de pH con ácido sulfúrico y sosa cáustica serán costosos debido a la considerable capacidad de tampón de la pasta. Por lo tanto, el balance de sodio-azufre de la fábrica puede verse afectado. La conclusión es que una planta de blanqueo totalmente cerrada no es una técnica disponible por el momento. Sin embargo, es posible llevar los filtrados a contracorriente en dos corrientes, una ácida y una alcalina. El agua alcalina puede utilizarse para lavar la pasta en la parte sin blanqueo del proceso. Esto dará lugar a una reducción significativa de caudales y descargas de la planta del blanqueo en comparación con los sistemas convencionales.

Debe tenerse en cuenta que hay calcio presente en la pasta y que durante todo blanqueo oxidativo se forma una cantidad sustancial de ácido oxálico. Si se utiliza un filtrado alcalino como agua de lavado en una pasta que viene de una etapa ácida, o se mezcla con un filtrado ácido donde hay calcio disuelto, hay riesgo de que precipite oxalato cálcico sólido. La tendencia de que el oxalato cálcico precipite es más fuerte cuanto más altas son las concentraciones de calcio y oxalato. En otras palabras: cuanto más cerrado es el sistema o más se reciclan los filtrados, más alto es el riesgo de precipitación o de incrustación. Este problema todavía espera solución. Es casi imposible reducir las descargas de la planta del blanqueo por debajo de $5 \text{ m}^3/\text{t}$, el valor más bajo alcanzado actualmente. Por lo tanto, es necesario realizar más investigación para encontrar "riñones" (es decir, intercambio o precipitación de iones) que purguen el sistema de calcio u oxalato, o a ser posible de ambos. Estos "riñones" también se necesitan para evitar la acumulación de otras especies indeseadas (es decir, elementos ajenos al proceso) que pueden deteriorar el procedimiento de blanqueo, el equipo técnico o el producto.

Por último, el aumento del contenido de cloruros puede causar corrosión en el equipo de proceso si las aguas residuales de la planta de blanqueo se reciclan al sistema cerrado. Por lo tanto, es preferible que las fábricas TCF o ECF que utilicen cantidades modestas de dióxido de cloro intenten aumentar el grado de cierre de la planta de blanqueo.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: generalmente, la reducción del consumo de agua fresca en la planta del blanqueo puede aplicarse en fábricas existentes o nuevas. Sin embargo, para las fábricas existentes, las inversiones para el almacenaje de agua blanca, el sistema de conducciones y la puesta en práctica de un sistema de control para la gestión del agua son relativamente mayores. Las fábricas más nuevas tienen generalmente menos agua que gestionar debido a la mayor eficacia del equipo. Un requisito previo para estas medidas es una capacidad suficiente de los evaporadores y la caldera de recuperación. Cabe destacar que la evaporación de los efluentes de la planta del blanqueo es más fácil de aplicar en caso de blanqueo TCF. Por razones de seguridad, en el blanqueo ECF hay un riesgo elevado de corrosión por cloruro de la caldera de recuperación de acuerdo con los conocimientos de que se dispone hoy.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: esta medida preventiva de la contaminación produce una reducción de las cargas de DQO y también de los caudales. Las cifras típicas de cantidades de aguas residuales de una planta de blanqueo son 20 - 40 m³ de agua/ADt. 20 - 25 m³/ADt son suficientes en una moderna unidad de blanqueo con filtro. Se ha reportado que el cierre de la unidad de blanqueo puede producir una reducción del volumen hasta 10 m³/ADt y una descarga correspondiente de DQO de cerca de 6 kg/ADt. Una fábrica reportó una reducción del caudal de la planta de blanqueo de tan sólo 5 m³/t y una reducción correspondiente de la DQO desde 30 kg DQO/t hasta 14 kg DQO/t, consiguiendo al mismo tiempo una reducción de la toxicidad en los efluentes.

Efectos sobre otros medios: las etapas de blanqueo P y D y también la etapa de extracción alcalina se benefician de temperaturas más altas en el sistema de agua. Las sustancias orgánicas disueltas de los efluentes de la planta de blanqueo son llevadas, a través de la planta de evaporación, a la caldera de recuperación. Esto requiere capacidad adicional y consumo de energía en la planta de evaporación. Por otra parte, puede ahorrarse energía y espacio para tratamiento externo y generarse un menor exceso de lodo.

Experiencias operativas: las pruebas para el cierre de los sistemas de agua de una línea de abedul en una fábrica kraft sueca comenzaron ya en 1993. Desde hace algunos meses han estado funcionando instalaciones que permiten una producción regular a escala productiva sin efluente de la planta de blanqueo. A consecuencia de los problemas de incrustaciones y obstrucciones (precipitación de oxalato cálcico), el sistema de agua ha sido reabierto parcialmente en la primera etapa ácida para eliminar el filtrado con la concentración más elevada de calcio. Tras el ajuste de las condiciones de proceso, la fábrica está ahora utilizando una planta de blanqueo parcialmente cerrada. Otras fábricas en Europa y Norteamérica han cerrado parcialmente la planta de blanqueo.

Economía: hay que realizar considerables inversiones: es necesaria una remodelación total del sistema de distribución del agua en la planta de blanqueo, incluido almacenamiento adicional para aguas internas. Debe desarrollarse y ponerse en práctica una estrategia de control para la gestión del agua en la planta. No había disponibles datos fiables sobre costes.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: reducción de las descargas de DBO y DQO. Las fábricas de pasta sin tratamiento biológico externo fueron los pioneros en reducir los efluentes de la planta de blanqueo mediante medidas internas de proceso.

Plantas de referencia: algunas fábricas en Suecia, Finlandia y Norteamérica.

Bibliografía:

[Annergren, 1996], [Alfthan, 1996], [Höök, 1997]

2.3.9 Recogida de casi todos los vertidos

Descripción de la técnica: las fábricas de pasta química necesitan aplicar medidas en planta para reducir al mínimo las descargas de efluentes de proceso. El tratamiento externo de efluentes, especialmente si incluye tratamiento biológico, puede verse seriamente afectado debido a los vertidos accidentales de la fabricación de pasta química.

El licor de proceso se pierde en las juntas de las lavadoras de pasta cruda, bombas y válvulas de suministro del licor, de los clasificadores y tamices de pasta, soluciones del evaporador que se vierten a la conducción de vertido y otros vertidos intencionales durante mantenimiento, arranques y paradas de producción.

El licor también se pierde en vertidos derivados de perturbaciones en el proceso, desbordamientos de tanques, averías mecánicas, errores de operarios y actividades de construcción.

Las fábricas de pasta química deben diseñarse alrededor de los conceptos siguientes:

- Recogida del licor desviado o derramado con la mayor concentración posible de sólidos en el licor.
- Devolución del licor y de las fibras recogidas al proceso en los puntos apropiados.
- Contención de las áreas de proceso críticas (incluido tall-oil y trementina) para evitar que las corrientes concentradas o nocivas entren en el tratamiento de efluentes externo o que contaminen las alcantarillas de agua limpia.
- Monitorización de la conductividad o del pH en puntos estratégicos para detectar pérdidas y vertidos (sistema de control de vertidos que posibilita la prevención de vertidos y su monitorización).

De los licores de proceso, tanto el licor diluido procedente del lavado de la pasta sin blanquear como el licor concentrado producido a partir del mismo en la planta de evaporación tienen especial importancia para una recogida eficaz. Estos licores causan una carga innecesaria y ocasionalmente trastornos en el tratamiento de efluentes externo.

El concepto general para una recuperación eficaz también requiere disponer las conducciones de vertidos de efluentes contaminados de manera que la mayoría de vertidos, aguas de circuitos cerrados contaminadas o aguas de lavado de suelos en áreas clave – cocción, lavado y tamizado de pasta, almacenamiento y evaporación de licor usado, preparación del licor de cocción – se recojan en sumideros y se bombeen directamente o a través de un tanque intermedio a un tanque apropiado de almacenamiento del licor. La necesidad de esta recuperación debe limitarse, normalmente debido a motivos económicos, a las áreas donde la concentración de los vertidos mixtos sea de al menos un 2-3 % de materia seca disuelta. El agua del lavado de suelos y de los circuitos cerrados diluye la corriente recuperable, por lo que debe tenerse cuidado en no diluir en exceso los licores de proceso.

Los condensados calientes de la cocción de la pasta y de la evaporación del licor deben también almacenarse antes de su reutilización en la producción de pasta. Estos condensados se dividen según su limpieza en fracción limpia, semicontaminada y contaminada. Esta última en particular suele encontrar pocas aplicaciones y aunque se disponga de suficiente volumen de almacenaje se vierte a la cloaca, causando una cierta carga orgánica y un aumento en la temperatura total de

los efluentes. La exudación de condensados contaminados y semicontaminados se reduce simplemente mediante un uso mejorado, sustituyéndolos por agua fresca. Una forma para ello, también por motivos medioambientales, es alimentarlos a través de una extracción de vapor para eliminar el azufre reducido y los compuestos orgánicos volátiles y convertirlos en agua caliente suficientemente limpia para una amplia variedad de aplicaciones de proceso.

Dentro de las áreas de producto, como planta de tall-oil y de recuperación de trementina, debe tenerse cuidado para evitar los vertidos que van a parar al tratamiento externo. El jabón y la trementina contienen sustancias que pueden causar efectos tóxicos en el tratamiento biológico.

Una fábrica de pasta kraft de una sola línea necesitaría hasta cinco sumideros de recogida equipados con bombas de recuperación accionadas por conductividad. Las fábricas moderadamente complejas requerirían hasta 9 colectores, y las fábricas complejas hasta 12. Además de los aspectos técnicos cubiertos anteriormente, la formación del personal puede ser un modo muy eficaz de reducir las descargas de sustancias nocivas.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. Aplicable en fábricas nuevas y existentes. Sin embargo, un sistema eficaz de control de vertido es más fácil de instalar al diseñar y construir una nueva instalación que adaptarlo a fábricas antiguas. En fábricas existentes la solución para una contención eficaz de las corrientes del proceso se basa también en el equipo clave de proceso. Así, la construcción de elementos de contención de vertidos debe hacerse en conexión con la evaluación de otras mejoras rentables, especialmente en el lavado y el tamizado de la pasta, la evaporación y el filtrado del licor.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: esta medida central de prevención de la contaminación está conectada con la MTD "uso de tanques intermedios suficientemente grandes etc.". El comportamiento medioambiental alcanzado requiere una combinación de ambas MTDS.

Un análisis general indica que con la buena gestión de proceso y un correcto diseño de la contención de vertidos correctamente diseñada, recuperación y un 5-10 % de capacidad adicional en la planta de evaporación, puede alcanzarse una reducción en la carga del efluente de 3-8 kg DQO/ADt en comparación con las fábricas sin recuperación de vertidos o con un sistema ineficaz y una mala estabilidad del proceso. En total, los vertidos pueden ser inferiores a 2 kg DQO/ADt.

Además, el riesgo de perturbaciones en una planta de tratamiento externa se reduce si pueden evitarse las descargas accidentales con una elevada carga orgánica, toxicidad o pH continuamente alto o bajo de la corriente entrante.

Efectos sobre otros medios: para manejar los vertidos recogidos, se necesitaría un 5-10% más de capacidad de evaporación. Esto también consumiría un 5-10% más de vapor y energía. No obstante, la recogida de vertidos significa la recuperación de energía y productos químicos mediante combustión en la caldera de recuperación.

Experiencias operativas: la contención de vertidos del licor y de desbordamientos en el proceso, y el establecimiento de una política de gestión relevante en la producción de productos químicos, se ha determinado que es beneficioso y necesario tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. Este aspecto se ha solucionado de forma eficaz en muchas fábricas con métodos bastante simples. Las limitaciones a la puesta en práctica eficaz de estas medidas vienen de cuellos de botella en procesos específicos de las fábricas, como el lavado y tamizado de la pasta, o la evaporación.

Economía: el coste de inversión para los sistemas de gestión de vertidos de licor en una fábrica de pasta kraft que produce 1500 ADt/d de pasta es de 0,8-1,5 MEuros. Si la planta de evaporación debe ser ampliada con 0,8 m³/ADt, se requerirá un coste adicional de 4-6 MEuros. Los costes operativos del sistema se estiman en 100000 - 400000 Euros, pero pueden variar considerablemente entre las fábricas existentes y nuevas. En las fábricas nuevas hay generalmente más exceso de calor y los costes operativos están en la parte inferior de la gama.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: reducción de las descargas de DBO y DQO.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en todo el mundo.

Bibliografía:

[Tappi Proceedings, 1996], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.10 Lavado eficaz y control de proceso

Descripción de la técnica: el objetivo del lavado de la pasta cruda es separar todo lo posible las fibras de la pasta de los productos químicos orgánicos e inorgánicos disueltos antes de que la pasta salga del departamento de cocción, de modo que se recupere el máximo posible de los productos químicos de cocción y sustancias orgánicas disueltas.

La etapa de lavado consiste en una combinación de sucesivas diluciones y espesamientos o desplazamientos. En la práctica, cada combinación de equipos de lavado utiliza estos métodos en distintas proporciones. Hay gran variedad de equipos de lavado de pasta, los más típicos consisten en filtros de tambor al vacío o presurizados, lavadoras de Fourdrinier, lavadoras de difusor atmosféricas y presurizadas y prensas de lavado. De éstos, la prensa de lavado y las lavadoras presurizadas de tambor o de difusor ofrecen los mejores resultados. Con la mayor consistencia de la pasta, la cantidad de agua contaminada que acompaña la pasta se reduce.

Dado que el lavado nunca es el 100% eficaz, con la pasta se transporta una cierta cantidad de productos químicos y de contaminantes (arrastre) a la planta de blanqueo, donde consume productos químicos de blanqueo, y generalmente se vierte a la conducción de descarga.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes.

En la práctica, en las fábricas existentes puede ser más apropiado por motivos prácticos la instalación de un conjunto de equipo de lavado totalmente nuevo que efectuar modificaciones en un sistema de lavado existente.

Un sistema de lavado cerrado aumenta la importancia de la recogida de los vertidos temporales. El licor de lavado saliente contiene sustancias orgánicas e inorgánicas. Las aguas de lavado retiradas del proceso se desechan a través del tratamiento externo.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la pérdida por lavado después de un sistema de lavado de tambor convencional podría ser de unos 5-8 kilogramos DQO/ADt, en comparación con 2-4 kilogramos DQO/ADt obtenidos en un sistema de lavado moderno con una prensa de lavado. Las sustancias restantes se fijan por adsorción o se incluyen en fibras. En este último sistema, la consistencia de la pasta saliente aumenta desde un 10-15% a un 25-35%, y el contenido de agua disminuye desde 6-10 m³/ADt a 2-3 m³/ADt. Las etapas de lavado en serie pueden alcanzar hasta un 96-98% de eficacia de recuperación del licor negro.

Si el lavado eficaz tiene lugar antes de una etapa de deslignificación con oxígeno, habrá reducción en el consumo de oxígeno. Si hay un sistema de lavado eficiente antes de la primera etapa de blanqueo, el arrastre de compuestos orgánicos al blanqueo disminuirá, produciendo una reducción en el vertido de AOX, DBO₅ y DQO de la fábrica.

Monitorización: existen métodos normalizados para medir este arrastre, que a menudo se denomina "pérdida de lavado". Las pérdidas de lavado se medían originalmente como el contenido de sulfato sódico en la pasta. Dado que esta pérdida de producto químico de aporte ha disminuido en importancia, la pérdida de lavado se mide hoy en día normalmente como DQO.

Efectos sobre otros medios: los productos inorgánicos que permanecen en la pasta producen un mayor requisito de productos químicos de confección.

Experiencias operativas: el concepto básico data de varios años. La tecnología de lavado se ha desarrollado a lo largo de los años y las soluciones han sido ensayadas y probadas en la práctica.

Economía: los costes de inversión típicos son de 4-6 MEuros en fábricas nuevas y de unos 2-4 MEuros para fábricas existentes. No hay costes operativos adicionales.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones al agua es el motivo principal de aplicación del método.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [Tappi Environmental Conference, 1992].

2.3.11 Separación de los condensados contaminados más concentrados y reutilización en el proceso

Descripción de la técnica: la finalidad de separar los condensados concentrados contaminados es reducir el consumo de agua fresca de la fábrica, reducir la carga de contaminación orgánica a la planta de tratamiento de aguas residuales y reducir las emisiones de TRS. La separación y reutilización de condensados puede reducir la carga de DQO a la planta de tratamiento de efluentes de forma perceptible.

Los condensados pueden clasificarse como:

- condensados primarios: condensados del vapor activo que son normalmente bastante limpios para ser reutilizados como agua de alimentación de la caldera (después de limpiarlos).
- condensados secundarios: condensados de vapor contaminado que se vaporizan del licor negro, de suspensiones de la pasta, etc.

Los condensados proceden de los vapores de proceso de los digestores y de la planta de evaporación. En total se forman unos 8 - 10 m³/ADt de condensados totales con una carga de DQO de unos 20 - 30 kg/t y 7-10 kg/ADt de DBO₅. Normalmente, alrededor de 1 m³/ADt está fuertemente contaminado, unos 4 m³/ADt tienen una contaminación media y unos 4 m³/ADt baja.

La DQO es principalmente metanol (5-10 kg/ADt) con un poco de etanol y una serie de compuestos sulfúricos orgánicos (1-2 kg/ADt TRS), 1-2 kg de trementina y compuestos nitrogenados inorgánicos. El condensado sucio contiene además cetonas, terpenos, fenoles, resina y ácidos grasos y varios gases. Una gran proporción del nitrógeno descargado de una fábrica de pasta kraft está contenida en los condensados.

Alrededor de 1 m³ de condensado por tonelada de pasta tiene una concentración de DQO de 10 - 20 kg DQO/m³. El nivel es más alto en condensados de pasta de fibra corta que de fibra larga. Estos condensados concentrados se tratan normalmente en un separador, donde la eficacia de eliminación para la mayoría de los compuestos es superior al 90% según el pH. Los sistemas de separación normalmente eliminan los gases malolientes (TRS) y las sustancias que contribuyen a la DQO al mismo tiempo. Los condensados desprendidos después del tratamiento pueden tener 1 - 1,5 kg DQO/m³ de condensado. Los gases desprendidos se incineran en quemador al efecto con lavado subsiguiente del SO₂ o combustión en el horno de cal. Esta última opción puede causar problemas, derivados de la capacidad de absorber compuestos sulfurosos del horno de cal.

Se forman unos 7 - 9 m³ de condensados más diluidos (de contaminación media y baja) con una DQO que se sitúa entre 0,5 y 2 kg DQO/m³, conteniendo un total de unos 8 - 12 kilogramos de DQO/t de pasta.

Alternativamente, los condensados moderadamente contaminados pueden separarse en un sistema ligado a la planta de evaporación, de tal modo que se efectúe el tratamiento sin ningún consumo adicional substancial de energía. De esta manera la carga total de DQO antes de cualquier reutilización se reduce a unos 5 kg/t, una reducción de alrededor del 50% en comparación con tratar solamente los condensados más contaminados.

La torre de separación puede ser un equipo independiente o puede ser parte integral de la planta de evaporación. Los condensados se alimentan a la parte superior de la torre de separación. El vapor o condensado vaporizado sube desde el fondo de la torre a contracorriente del condensado sucio. El vapor superior de la torre de separación se envía a un condensador de reflujo donde se condensa parcialmente. El propósito del condensador de reflujo es condensar algo del agua en los gases y aumentar la concentración del material volátil en los gases que salen del condensador. Los gases no condensables del condensador contienen la mayoría de los compuestos volátiles que se separan en la torre de separación. Se conducen a la incineración, donde los compuestos orgánicos y de TRS son destruidos por oxidación térmica.

Los condensados limpios están libres de metales y por lo tanto son particularmente útiles para lavar en la planta de blanqueo cuando se intenta cerrar esta parte del proceso. También pueden ser reutilizados en el lavado de la pasta cruda, en la zona de caustificación (lavado y dilución del lodo, duchas del filtro de lodo), como licor de lavado de TRS para los hornos de cal o como agua de aporte del licor blanco. Esto significa que algunos condensados se utilizarán en las partes cerradas del proceso y no serán descargados a las aguas residuales. Otros condensados se utilizan en partes abiertas, como la planta de blanqueo, y terminan en el efluente junto con los condensados que no se reutilizan sino que se descargan directamente a las aguas residuales.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la separación del vapor es un método viable de tratamiento en planta para reducir la DQO y el olor de los condensados sucios de las fábricas de pasta kraft. El proceso puede aplicarse en fábricas de pasta kraft existentes y nuevas. La torre de separación de condensados puede ser independiente o puede estar integrada en la planta de la evaporación. En el primer caso, se necesitaría vapor vivo, mientras que en el segundo caso puede usarse el vapor secundario del evaporador. No obstante, se requiere la oxidación térmica de los vapores del sistema de separación. Para ello pueden usarse hornos de cal, calderas de generación de energía e incineradores separados de TRS.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el mejor lugar para reutilizar los condensados es el lavado de la pasta, en la última lavadora o en la apiladora en una fábrica con sistema de agua cerrado en la zona de tamizado. La demanda típica de agua de lavado es 10 - 13 m³/ADt. El condensado de la zona del evaporador y de la zona del digestor disponible para reutilización puede ser de a 6 - 9 m³/ADt, que es la cantidad de ahorro potencial del agua. En total, la separación sólo de los condensados fuertemente contaminados daría lugar a unos 4-6 kilogramos DQO/ADt, mientras que con la separación de los condensados medianamente contaminados pueden alcanzarse 3-5 kilogramos DQO/ADt. Sin embargo, los condensados descargados al tratamiento de efluentes son en su mayoría fácilmente biodegradables. La eliminación de TRS es de alrededor del 97% del condensado, y la de metanol de un 92%.

Efectos sobre otros medios: cuando tiene lugar la separación del vapor, los gases no condensables (GNC) tienen que ser incinerados por separado para evitar la emisión de gases de TRS concentrados a la atmósfera. Esto se ha discutido más detalladamente en las secciones 2.3.18 y 2.3.19.

Cuando se aplica la separación de condensados contaminados concentrados, la carga a la planta de aguas residuales se reduce, y si hay dificultades para obtener permisos, pueden evitarse nuevas inversiones en la planta de tratamiento de efluentes. Esto significa también que se requiere menos energía para aireación y menos energía y productos químicos en el tratamiento del lodo.

Al combinar la recuperación de condensados limpios y de condensados separados, el consumo de agua fresca puede disminuir hasta 6 m³/ADt. Dado que los condensados están calientes, parte de la energía utilizada en la torre de separación puede ahorrarse.

Las emisiones fugitivas de TRS de la planta de tratamiento de aguas residuales pueden reducirse mediante la separación mediante vapor de los condensados, que elimina los compuestos de TRS de los condensados sucios.

Dado que los gases de escape del separador contienen 8-12 kg/ADt de metanol, hay potencial para ahorrar fuel o gas natural, a condición de que el gas del separador pueda sustituir el combustible.

La separación de condensados reduce las emisiones de nivel bajo de compuestos de TRS de los condensados sucios. Entre los compuestos de TRS se incluyen sulfuro de hidrógeno, metilmercaptano, sulfuro de dimetilo y disulfuro de dimetilo. Estas emisiones son parcialmente responsables de los malos olores de una fábrica de pasta kraft.

Experiencias operativas: la separación del condensado contaminado se ha utilizado muchos años en las fábricas modernas. Cuando el sistema de separación se utiliza para lograr un alto grado de eliminación de metanol, los condensados de la torre de separación están relativamente limpios y pueden reutilizarse en la fábrica de pasta para aplicaciones como el lavado de pasta cruda.

La base para el diseño debe ser la minimización del caudal al sistema de separación, segregando los condensados, para que las inversiones sean reducidas. En la planta de evaporación, el primer condensado del vapor del licor puede separarse en dos fracciones. El condensador de superficie puede dividirse en dos unidades o dos pasos de condensación. El vapor de inyección de un digestor discontinuo puede condensarse en dos pasos. El vapor secundario puede utilizarse como fuente principal de vapor a la torre de separación.

Economía: los costes de inversión para el sistema de separación en una fábrica de pasta kraft de 1500 ADt/d son de unos 2,0 – 2,5 MEuros. Pueden ser necesarias inversiones adicionales para

aumentar la capacidad de la planta de evaporación de la fábrica, pero esto depende mucho de la configuración de la planta de evaporación existente. Los costes de remodelación pueden variar entre 1-4 MEuros.

Los gastos operativos de la separación de condensado consisten principalmente en el coste de vapor usado en la separación y mantenimiento. Si el separador se utiliza independientemente de la planta de evaporación, los gastos de explotación son sensiblemente más altos debido a la demanda de vapor fresco. Los costes son de unos 0,6 – 0,7 MEuros/a. Si el separador está conectado entre las etapas de evaporación, los gastos operativos son más bajos. Los gastos operativos en este último caso son de 0,3-0,4 MEuros/a.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: las fábricas de pasta kraft pueden enfrentarse a problemas de descarga de DQO. Pueden tener un sistema de tratamiento de aguas residuales con dimensionamiento o funcionamiento inadecuado, tener nuevos límites más estrictos, o una ampliación o modificaciones del proceso que aumente la carga de DQO a la planta de tratamiento de aguas residuales. Entonces hay necesidad de reutilizar el condensado en los procesos de la fábrica de pasta. La reutilización de condensados sucios sin tratamiento tiene efectos negativos en la calidad de la pasta.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa.

Bibliografía:

[Sebbas, 1988], [Zunich, 1993].

2.3.12 Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de líquidos concentrados o calientes del proceso

Descripción de la técnica: las fábricas de pasta química necesitan aplicar medidas cuidadosas dentro de la planta para reducir al mínimo la descarga de corrientes de proceso concentradas o calientes como efluentes. En primer lugar, el tratamiento externo de efluentes, especialmente si incluye tratamiento biológico, puede verse seriamente alterado por vertidos accidentales de la preparación de la pasta química. En segundo lugar, algunas corrientes de licor de proceso tienen importancia económica, debido a su valor como combustible o a los productos químicos que contienen.

Esta medida de control de la contaminación está conectada con la MTD 2.3.9 "Recogida de casi todos los vertidos". Para el sistema de control de vertidos debe hacerse referencia a ese apartado. Para la prevención de una carga innecesaria y ocasionalmente perturbaciones en el proceso de tratamiento externo de efluentes, los licores de cocción y recuperación del proceso, así como los condensados sucios, deben tener una capacidad de almacenamiento que supere los volúmenes operativos normales en al menos un 30 %. Las corrientes limpias se desvían de las áreas potenciales de vertidos para evitar la dilución de los licores de proceso recuperados.

Los volúmenes disponibles para controlar estos licores diluidos y concentrados de la producción de sulfato o de sulfito, especialmente en condiciones de arranque, de parada o cuando haya perturbaciones, son cruciales. Una demanda básica de volúmenes de almacenaje viene motivada por la concentración del licor, medida como contenido de materia seca. El ejemplo, en una fábrica de pasta kraft vieja, el licor negro diluido puede estar en un 8 % y el licor concentrado en un 60 % de concentración en comparación con un 16 % y un 75 % de una fábrica moderna. Esto significa que, proporcionalmente, los volúmenes de almacenaje deben ser considerablemente

mayores en fábricas con lavado de baja eficacia de pasta sin blanquear o en una planta de evaporación estándar sin unidades de concentración de licor.

El volumen de reserva requerido sobre el estado normal debe poder contener los caudales de proceso máximos durante algunas horas por imprevistos operativos. El volumen de reserva debe poder garantizar además que pueda almacenarse suficiente licor diluido para que la planta de evaporación pueda funcionar normalmente a pesar de una parada corta en la cocción y el lavado, o que una parte de una planta de evaporación multilínea o de una sola línea pueda cerrarse para un mantenimiento breve. El volumen de almacenaje debe también ser bastante grande para almacenar bastante licor concentrado, de modo que puedan solucionarse problemas o paradas de breve duración en la caldera de recuperación sin disminuir la productividad de la evaporación, o que la planta de evaporación pueda cerrarse para un mantenimiento breve.

Las fábricas existentes que consideren la puesta en práctica de deslignificación con oxígeno deben determinar su capacidad de almacenaje de licor diluido y concentrado y de la planta de evaporación, ya que este paso de proceso es probable que aumente la cantidad de agua que pasa por la evaporación.

Los licores regenerados a licor de cocción, después de la caldera de recuperación y con pasos de proceso adicionales, están libres de compuestos químicos orgánicos pero tienen valor de pH muy alto. Estos depósitos de licor necesitan igualmente una capacidad de reserva para caudales máximos de corta duración o por ejemplo paradas en unidades de proceso conectadas, tales como filtros de licor. Estos licores, si son evacuados a la planta de tratamiento de efluentes, causan impactos en el pH que, si están mal controlados antes del tratamiento biológico, dan lugar a perturbaciones.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. La optimización de la capacidad necesaria de almacenaje de reserva para corrientes calientes o concentradas es aplicable en fábricas existentes y nuevas, y es por distintos motivos una necesidad. Estas medidas ayudan no sólo a mantener los productos químicos de proceso valiosos en la producción y a mejorar economía de proceso, sino que afectan considerablemente el comportamiento medioambiental de la fábrica.

En fábricas existentes la solución para la contención eficaz de las corrientes de proceso radica también en el mismo equipo de proceso clave. Así, la construcción de sistemas de almacenaje de reserva y de contención de vertidos debe hacerse en conjunción con la evaluación de otras mejoras rentables, especialmente en el lavado y el tamizado de la pasta, la evaporación y la filtración del licor.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: esta medida de control de la contaminación está conectada con la MTD 2.3.9 "Recogida de casi todos los vertidos". El comportamiento medioambiental alcanzado requiere una combinación de ambas MTDs.

El riesgo de perturbaciones en una planta de tratamiento externa se reduce cuando pueden evitarse las descargas accidentales con elevada carga orgánica y en ocasiones tóxica o un pH continuamente alto o bajo de la corriente entrante. El efecto sobre la carga hidráulica no es tan pronunciado, excepto en fábricas donde el sistema de agua de lavado y tamizado es abierto.

Monitorización: las sondas de conductividad son adecuadas para la detección y evaluación de los vertidos de licor de la fábrica, dado que en muchos casos puede establecerse una correlación entre la conductividad y la concentración del licor para cada corriente específica. En corrientes de baja concentración con pH variable, una sonda de pH en línea es algo estándar.

Las corrientes calientes que requieren monitorización específica en las arquetas pueden supervisarse fácilmente con sondas de temperatura en línea.

Efectos sobre otros medios: los cambios en los depósitos de licor y de líquidos calientes, así como en el control, requieren a menudo cambios o mejoras en otros equipos, especialmente en el lavado de pasta o la evaporación. La manipulación de líquidos calientes requiere un 5-10 % más de energía en la planta de evaporación.

Experiencias operativas: hay muchas maneras de solucionar los vertidos de licor y la contención de reboses en el proceso, así como de establecer una política de gestión relevante de los productos químicos. Las limitaciones para una puesta en práctica eficiente de estas medidas vienen de los cuellos de botella de proceso específicos de la fábrica, normalmente en el lavado y tamizado de la pasta o la evaporación.

Economía: los costes de inversión para una producción de pasta de 1500 ADt/d son de unos 0,8 – 1,0 MEuros para dos tanques de almacenaje de 3000 m³, incluidos los conductos, aislamientos y bombas necesarios, así como la electrificación y el control de proceso.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: estas medidas se promueven por motivos medioambientales y de seguridad del proceso.

Plantas de referencia: numerosas fábricas modernas en todo el mundo.

2.3.13 Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios

Descripción de la técnica: el tratamiento secundario o biológico se realiza para la eliminación de la materia orgánica (sustancias orgánicas), mediante degradación biológica. Antes del tratamiento secundario hay normalmente un sistema de etapas de tratamiento primario que incluye eliminación de sólidos, neutralización, enfriamiento y homogeneización. Estas etapas primarias tienen como objetivo la protección del tratamiento secundario contra cargas e impactos excesivos y, de forma global, que la purificación de efluentes sea más rentable. En la mayoría de los casos, los efluentes de las fábricas de pasta y las fábricas de papel se tratan con métodos aerobios. Los métodos de tratamiento aerobio más comunes usados en la industria de la pasta y el papel son las lagunas aireadas y el proceso de lodo activado. El primero alcanza una menor reducción de agentes contaminantes pero es más barato.

Laguna aireada:

Una laguna aireada tiene un gran volumen, con tiempos de residencia para el efluente de 3-20 días. Los microorganismos crecen en suspensión en la masa de líquido, alcanzándose en la laguna una concentración relativamente baja de sólidos, de 100-300 mg/l. El crecimiento de microbios requiere oxígeno, que es proporcionado casi exclusivamente por el equipo de aireación mecánica. Los aireadores superficiales de turbina son las unidades más comunes de aireación, pero en las lagunas profundas también se utilizan aireadores en el fondo con alimentación autoinducida o por aire comprimido.

El equipo de aireación proporciona también la mezcla requerida para mantener los sólidos en suspensión y potenciar la acción microbiana.

Las lagunas aireadas son, debido a la gran superficie y volumen que requieren, balsas en la tierra, y pueden construirse con o sin zona de sedimentación. En el primer caso, el extremo de la laguna se deja sin aireación y mezcla, permitiendo así que los sólidos sedimenten. En este último caso, esta sedimentación se realiza en un estanque separado. El proceso biológico no implica la recirculación de la biomasa desde el extremo al principio de la balsa.

El lodo sedimentado se quita raramente, una vez cada 1-10 años.

El uso de lagunas aireadas se ha hecho recientemente menos común por muchas razones, una de las más importantes es su menor eficacia de eliminación de contaminantes de los efluentes en comparación con el proceso de lodo activado.

Proceso de lodo activado

La planta de lodo activado consiste en dos unidades principales, la balsa de aireación y el clarificador secundario (balsa de sedimentación). En la primera etapa, la balsa de aireación, el efluente se trata con un cultivo de microorganismos (lodo activado) que está presente en una elevada concentración. Las plantas de lodo activado en las fábricas de pasta kraft tienen un tiempo de retención de unas 15-48 h, con los valores más altos en instalaciones recientes.

El lodo se separa del agua en el clarificador. La parte principal del lodo se recicla a la balsa de aireación, lo cual es necesario para mantener la elevada concentración del lodo. Una pequeña parte del lodo, que corresponde al crecimiento neto, se elimina del sistema como exceso de lodo.

El oxígeno y la mezcla se suministran a la balsa de aireación mediante equipo de aireación mecánica. Se utilizan distintos tipos de aireadores, tales como aireadores superficiales, aireadores de turbina sumergidos, aireadores de burbujas finas y aireadores de chorro. Los tres últimos tipos mencionados requieren aire comprimido de soplantes o de compresores.

Existe una gran cantidad de diseños de procesos y de plantas para el proceso de lodo activado. Estas alternativas pueden ser distintas respecto al diseño de la balsa de aireación, del clarificador, del equipo de aireación, así como del reciclaje del lodo. Un diseño de proceso especial es el lodo activado con oxígeno puro, en el que se utiliza oxígeno puro o aire enriquecido con oxígeno en vez de aire normal.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica de final de línea (end of pipe).

Laguna aireada

La laguna aireada puede aplicarse en las fábricas existentes y nuevas de pasta kraft. Sin embargo, su uso está en declive, principalmente debido a su eliminación baja a moderada de contaminantes de los efluentes, la gran superficie de terreno y el elevado volumen de balsa que requiere, el gran consumo energético y el bajo rendimiento energético en la aireación y mezcla. Además, en ocasiones se registran problemas de espuma y olor de los efluentes. La retirada y el desecho del lodo sedimentado pueden también generar problemas. Es dudoso que todavía pueda ser considerada como MTD.

Proceso de lodo activado

El proceso puede aplicarse tanto en fábricas existentes como nuevas de pasta kraft. En las fábricas existentes debe realizarse preferiblemente algún tipo de medida de reducción del consumo de agua para reducir los costes de inversión. El proceso de lodo activado se utiliza a menudo cuando se requieren eficacias de tratamiento altas o muy altas. En este último caso, sin embargo, un proceso biológico de dos etapas es una posibilidad opcional.

Las plantas de lodo activado se utilizan extensamente en la industria de la pasta y el papel. Como estimación aproximada, el proceso de lodo activado se utiliza en un 60-75% de todas las plantas de tratamiento biológico de efluentes de la industria de la pasta y el papel. Este es también el proceso más comúnmente utilizado en plantas de reciente construcción.

Las ventajas del proceso de lodo activado son: el potencial de eficacias altas o muy altas de tratamiento, las posibilidades de controlar el proceso (particularmente el consumo de oxígeno), y la demanda relativamente baja de espacio.

Las desventajas son la vulnerabilidad relativamente alta a perturbaciones y por lo tanto a un riesgo de inestabilidad operativa sin medidas protectoras tales como una balsa de homogeneización, la elevada producción de lodo biológico residual y los elevados costes operativos.

Existen alternativas a los sistemas de lodo activado que son más compactas y menos caras. La experiencia de estas instalaciones es más limitada, pero se considera que tienen niveles de reducciones similares a los sistemas de lodo activado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Laguna aireada

Las eficacias de tratamiento varían ampliamente dependiendo del tipo de efluente, del diseño de la planta de tratamiento y de las condiciones de funcionamiento. Las eficacias típicas de eliminación son del 40-85% para DBO₅, del 30-60 % para DQO y del 20 - 45 % para AOX, estando en el extremo más alto de la gama después de un largo tiempo de residencia en las lagunas, de 15-30 días, y cuando la temperatura del efluente o los contaminantes no inhiben el crecimiento. No hay eliminación de nitrógeno y hay una menor eliminación de fósforo, que es del orden de un 0 - 15 %.

La eliminación de sólidos es muy específica de cada caso, y en algunos casos el efluente de salida contiene más sólidos que la corriente de entrada. Los sólidos entrantes se eliminan adecuadamente en una laguna con una zona de sedimentación, pero el crecimiento microbiano produce biosólidos con malas características de sedimentación. La descarga de sólidos es más baja en las lagunas y zonas de sedimentación con elevado tiempo de residencia.

En comparación con el proceso de lodo activado, puede haber también efectos nocivos, tales como una niebla densa ocasional en tiempo húmedo y frío, así como olor de las zonas con balsas anaerobias o anóxicas.

Proceso de lodo activado

Las eficacias de tratamiento varían y dependen del tipo de efluente, del diseño de la planta y de las condiciones de funcionamiento. Los valores típicos están dentro de las gamas de 85-98% de eliminación de DBO₅ y de un 60-85% de eliminación de DQO.

La reducción de AOX es del orden de 40-65 %, el fósforo y el nitrógeno se reducen en un 40-85% y un 20-50% respectivamente. La eficacia total de eliminación de SST del tratamiento primario y secundario es del orden de 85-90 %.

En la Tabla 2.36 se indican las concentraciones típicas después del tratamiento con lodo activado. En las plantas bien diseñadas y gestionadas, la parte fácilmente degradable de las sustancias orgánicas, medida como DBO₅, puede reducirse hasta unos 20 - 40 mg/l, y la cantidad de sólidos en suspensión totales (SST) a un nivel casi igual. Las concentraciones de fósforo y nitrógeno están en gran medida correlacionadas con los SST, mientras que la cantidad de nutrientes disueltos puede reducirse a niveles muy bajos gestionando la planta adecuadamente. Para la DQO, que es una medida de la carga total de sustancias orgánicas, la concentración después del tratamiento depende del contenido de materia fuertemente degradable.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	Total-P	Total-N
Concentración	20-40	300 - 500	20 - 40	0.2 - 0.4	2 - 4

Tabla 2.36: Concentraciones típicas de efluentes en mg/l de fábricas de pasta kraft después de tratamiento biológico (planta de lodo activado), suponiendo instalaciones bien diseñadas y gestionadas.

Efectos sobre otros medios:

Laguna aireada

El proceso de la laguna aireada requiere grandes extensiones de terreno, que no siempre están disponibles dentro de la fábrica. El tratamiento en laguna produce menos lodo que el proceso de lodo activado, pero el lodo es difícil de desecar de forma eficaz. Así, el desecho del lodo por combustión requiere normalmente más productos químicos desecantes y combustible de apoyo por peso seco que el lodo generado por el proceso de lodo activado.

Proceso de lodo activado

La planta de tratamiento de efluentes produce lodo que, después de su desecación, puede ser quemado, proporcionando en algunos casos un valor calorífico neto positivo. Las aguas residuales tratadas están bastante limpias para su reutilización en algunos puntos del proceso de producción. El problema es que la planta de tratamiento de aguas residuales está situada generalmente tan lejos de la fábrica que el reciclaje no es económico.

Experiencias operativas:

Laguna aireada

Las lagunas aireadas se han utilizado durante mucho tiempo en muchas fábricas de pasta y de papel para alcanzar una eliminación media de los contaminantes de los efluentes. Sin embargo, actualmente muchas de las lagunas existentes en la industria han sido cerradas o remodeladas a un proceso de lodo activado de alta eficacia o a balsas suplementarias de tratamiento de efluentes.

Proceso de lodo activado

Las plantas de lodo activado se han usado durante años en todo tipo de fábricas de pasta kraft con buenos resultados.

Laguna aireada

El coste de este proceso depende mucho de dónde y cómo puede construirse la laguna aireada. Si puede construirse aprovechando un remanso en las aguas de recepción y cerrando el lado abierto con dique de tierra, el coste es sensiblemente más bajo que cuando la laguna debe construirse en tierra seca. Así los costes de inversión varían mucho, siendo del orden de 16- 20 MEuros para una fábrica de pasta kraft de 1500 ADt/d. Este coste cubre también el tratamiento primario y la desecación del lodo. Los costes operativos correspondientes son de 1,3-1,7 MEuros/año, abarcando sobre todo el coste de la energía eléctrica requerida para la aireación y la mezcla en la laguna.

Proceso de lodo activado

Los costes de inversión para una planta de tratamiento con lodo activado totalmente nueva son aproximadamente 19-24 MEuros para una fábrica de pasta kraft con una producción de 1500 ADt/d, estando en el extremo inferior de la gama de costes para una fábrica de pasta kraft sin blanquear. Estos costes incluyen también el tratamiento primario necesario y la manipulación del lodo. Los costes operativos correspondientes son de 2,0-2,6 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la laguna aireada puede utilizarse, y es suficiente, cuando el efluente contiene un nivel bajo o medio de sustancias orgánicas. El proceso de lodo activado se utiliza preferiblemente cuando se requieren eficacias de tratamiento altas o muy altas.

Plantas de referencia: numerosas plantas en todo el mundo para todo tipo de efluentes.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.14 Tratamiento terciario de aguas residuales con precipitación química

Descripción de la técnica: en algunos casos es necesario extender el tratamiento de efluentes con un tratamiento terciario. En la mayoría de los casos, el tratamiento terciario es simplemente una precipitación química. Las sustancias orgánicas disueltas se separan por precipitación y posterior filtración o clarificación.

Los productos químicos utilizados para precipitación son normalmente los siguientes:

- sales de aluminio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$
- sales férricas (Fe(III)) - FeCl_3 y $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- sales ferrosas (Fe(II)) - FeSO_4
- cal

Para optimizar la floculación, se utilizan polielectrolitos en la fase de mezcla.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: aplicable a fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el tratamiento terciario con precipitación química se aplica principalmente para reducir los nutrientes, especialmente el fósforo. Los resultados de estudios suecos en plantas piloto sobre tratamiento biológico en combinación con precipitación química han mostrado que pueden alcanzarse los siguientes índices de reducción: Fósforo 80-90%, Nitrógeno 30-60%, DQO 80-90%, AOX 80-90 % [PARCOM, 1994].

Efectos sobre otros medios: la precipitación del material orgánico del efluente con productos químicos produce una gran cantidad de un lodo fangoso, muy difícil de desecar y de desechar en vertedero. El coste químico es considerable y la purificación es selectiva; las sustancias neutras no pueden capturarse de forma tan eficaz como los iones disociados.

Experiencias operativas: no se conocen problemas específicos ligados al uso a esta técnica.

Economía: los costes de inversión ascienden a 2,6 MEuros para una fábrica de pasta kraft con una capacidad de 250.000t/a y a 3,8 MEuros para una fábrica con capacidad de 500.000 t/a. Los costes de inversión para la precipitación química incluyen el tanque de homogeneización, el equipo de disolución química, el equipo de dosificación química, precipitación y floculación, así como un clarificador terciario. Los costes operativos ascienden a unos 50.000 Euros, siendo algo más bajos para fábricas con menos capacidad.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: normalmente, el tratamiento terciario de las aguas residuales sólo se considera necesario cuando deben reducirse las concentraciones de

nutrientes en el efluente, es decir, en las descargas de fábricas a medios receptores muy sensibles.

Plantas de referencia: el tratamiento biológico más la precipitación química de las aguas residuales de la fabricación de pasta kraft blanqueada se utiliza a escala comercial, por ejemplo en Suecia (Skoghall), fábrica integrada de pasta kraft y CTMP.

Bibliografía:

[PARCOM, 1994], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.15 Aumento del contenido de materia seca del licor negro

Descripción de la técnica: en la caldera de recuperación, las sustancias inorgánicas se reducen y se separan las sustancias inorgánicas como un fundido (principalmente Na_2S y Na_2CO_3) en el fondo, y las sustancias orgánicas se oxidan, generando con ello calor. En una caldera de recuperación convencional hay una zona oxidante en la parte superior y una parte reductora en la parte inferior. El licor negro concentrado se introduce a través de uno o varios inyectores de licor en la zona reductora (ver Figura 2.3). El aire de combustión es suministrado generalmente a tres niveles distintos, como aire primario, secundario y terciario (desde el fondo hacia arriba).

Las emisiones de la caldera de recuperación consisten principalmente en partículas, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre. Los niveles de emisión se mantienen tan bajos como sea posible optimizando parámetros de combustión tales como temperatura, suministro de aire, contenido de materia seca del licor negro y equilibrio químico.

La finalidad de la evaporación mejorada es alcanzar un contenido de materia seca (MS) lo más alto posible en el licor negro concentrado. Después de una evaporación convencional, el contenido de MS en el licor negro concentrado es de alrededor del 65%. Instalando un superconcentrador, puede alcanzarse un contenido de MS de hasta un 80%. Sin embargo, el contenido de MS alcanzable depende de la especie de madera. Un objetivo de contenido óptimo de materia seca del licor espeso en una fábrica equilibrada podría ser del 72-73% después de la evaporación, aunque medido antes del mezclador de la caldera de recuperación.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica integrada en el proceso. El proceso puede aplicarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes. En las plantas de evaporación existentes puede aplicarse también un superconcentrador como fase separada. No obstante, el contenido máximo de MS está limitado por el aumento de viscosidad y la tendencia a la incrustación del licor negro concentrado. Esto depende de la especie de la madera y de la temperatura. En la práctica, con eucalipto y alguna otra especie de fibra corta es difícil alcanzar un contenido de MS por encima del 70 %.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la emisión de azufre de la caldera de recuperación se reduce a 5-50 mg S/Nm³ o 0,1-0,3 kg S/ADt de pasta, o a veces casi hasta cero, ya que se vaporiza más sodio, que reacciona con el azufre.

Efectos sobre otros medios: la reducción de las emisiones de azufre mediante un alto contenido de MS aumenta las emisiones de partículas antes de la limpieza de los gases de combustión. Para compensar esto, debe instalarse un precipitador electrostático más eficiente y costoso.

A un elevado contenido de materia seca (80% MS), hay una emisión considerable de compuestos de azufre de la última etapa del evaporador, que deben ser recogidos e incinerados.

El aumento del contenido de materia seca del licor negro tiene tendencia a aumentar las emisiones de NO_x de la caldera de recuperación si no se toman medidas correctivas (ver 2.3.22).

Experiencias operativas: esta medida se ha probado en varias fábricas de pasta del norte de Europa. Está en funcionamiento a plena escala productiva en el norte y el sur de Europa.

Economía: en fábricas existentes, el coste de la evaporación mejorada y de la mayor concentración del licor negro concentrado va ligado a la concentración objetivo. En fábricas existentes una producción de pasta kraft de 1500 ADt/d Kraft, los costes de inversión para el aumento en la concentración del licor negro a partir del 63 % son los siguientes:

Concentración del 63 % al 70 %, 1,7-2,0 MEuros

Concentración del 63 % al 75 %, 3,5-4,0 MEuros

Concentración del 63 % al 80 %, 8,0-9,0 MEuros

Los costes operativos de las mejoras no son significativos debido al aumento en el ahorro de energía (que es de 1-7 %) y el aumento en capacidad de la caldera de recuperación. El aumento de materia seca en la caldera de la recuperación puede incluso dar lugar a algunos ahorros netos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: las fábricas de pasta kraft pueden hacer frente a problemas de emisión de dióxido de azufre, y estas emisiones de la caldera de recuperación pueden reducirse aumentando el contenido de materia seca del licor negro. Otro resultado alcanzable caso por caso es el aumento de la capacidad de la caldera de recuperación (4-7 %).

Alternativamente, pueden instalarse lavadores de los gases de combustión con el mismo fin (ver 2.3.16).

Plantas de referencia: numerosas plantas en Escandinavia y al menos una en España.

Bibliografía

[Finnish BAT Report, 1997]

2.3.16 Instalación de lavadores de gases en la caldera de recuperación

Esta medida puede aplicarse alternativamente a la MTD de la sección 2.3.15.

Descripción de la técnica: con el fin de reducir las emisiones de dióxido de azufre de la caldera de recuperación, ésta puede equiparse con un lavador de gases de combustión. Un lavador para caldera de recuperación kraft puede incluir tres etapas de proceso (de abajo a arriba, ver figura 2.12).

El cloruro es absorbido por agua fría introducida en la entrada del gas de combustión. La eficacia del cloruro es normalmente de un 60-70%. En la zona de lavado, se eliminan el SO₂ y las partículas. El lavado se produce a un pH de 6-7. El valor del pH se controla con la adición de hidróxido sódico, de licor diluido o de licor blanco oxidado. El SO₂ reacciona con el licor de lavado y se forma Na₂SO₃ y también un poco de Na₂SO₄. Puede eliminarse TRS en forma de H₂S junto con el SO₂. Sin embargo, para eliminar el sulfuro de hidrógeno de los gases de combustión, se requeriría un alto pH del licor de lavado. A un pH tan alto, también se absorbería dióxido de carbono, lo que es poco realista debido a las cantidades relativamente grandes de dióxido de carbono que se forman en la combustión. El exceso de licor del lavador se recicla al proceso, normalmente a la preparación del licor blanco.

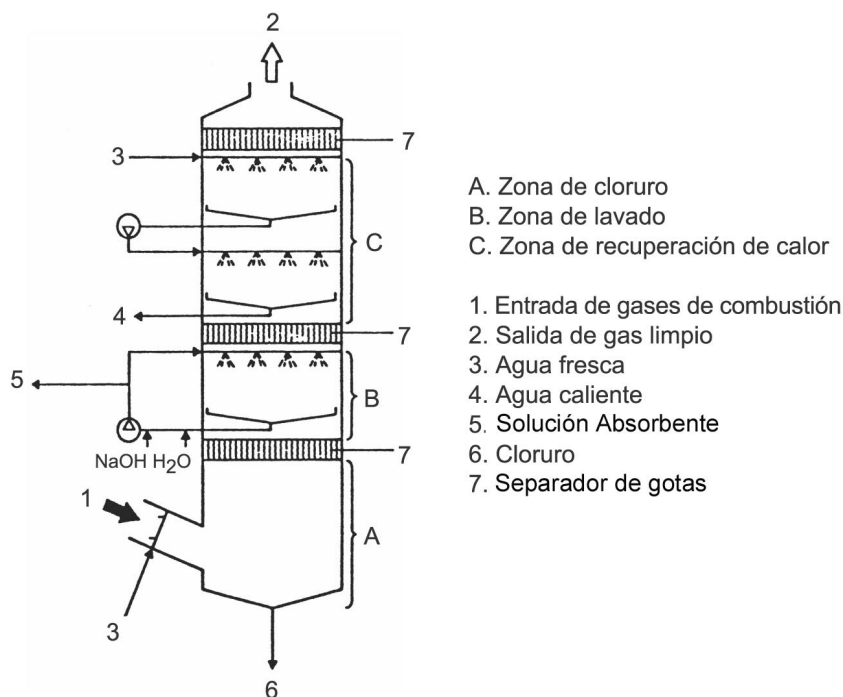


Figura 2.12: Lavador de gases de combustión para calderas de recuperación
[SEPA-Report 4008, 1992]

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la instalación de un lavador se hace preferiblemente al mismo tiempo que se instala una caldera nueva, aunque con un coste mucho más alto también las calderas existentes pueden equiparse con lavadores. Las calderas de recuperación que queman licor negro con elevado contenido en materia seca producen normalmente una baja emisión de azufre, lo que hace que la instalación de un lavador sea menos interesante.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la eficacia de eliminación de SO_2 es normalmente del 90%. Un lavador en la caldera de recuperación puede reducir las emisiones de azufre desde 0,5-2 kg/ADt hasta 0,1 – 0,3 kg S/ADt o concentraciones desde 50-200 mg/Nm³ hasta 10 - 50 mg/Nm³.

Monitorización de emisiones: se requiere la medición continua de SO_2 antes y después del lavador para controlar el funcionamiento del lavador.

Efectos sobre otros medios: mediante la introducción de agua fresca en la parte superior del lavador, puede producirse agua caliente (si hay necesidad). El agua está normalmente bastante limpia para ser utilizada como agua de lavado en la planta de blanqueo. El lavador necesita álcali en forma de licor blanco oxidado, de licor diluido o hidróxido sódico, que puede aumentar las demandas de capacidad en el departamento de recuperación.

Experiencias operativas: no hay problemas para el funcionamiento de lavadores en calderas de recuperación.

Economía: el equipo es suministrado generalmente como un paquete por el proveedor. Los costes de inversión para una fábrica de pasta kraft blanqueada con una capacidad de producción de 250.000 y 500.000 t/a ascienden a 7,2 MEuros y a 10,4 MEuros respectivamente. Se incluyen el lavador, las bombas de licor del lavador, las bombas de circulación, la

electrificación y la instrumentación. Los costes operativos ascienden a 580.000 Euros y 920.000 Euros respectivamente.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: reducción de las emisiones de SO₂. Recuperación de calor. Un alto contenido de materia seca permite también reducir sustancialmente las emisiones primarias de SO₂, por lo que para las plantas que lo aplican la motivación es baja para implementar esta técnica. La situación energética interna de la fábrica puede o no motivar la producción de agua caliente en el lavador. En una caldera de recuperación moderna, especialmente si funciona con un elevado porcentaje de materia seca, el H₂S no supone normalmente un problema cuya solución requiera un lavador.

Plantas de referencia: se han instalado lavadores en numerosas calderas de recuperación en las últimas décadas.

Bibliografía:

[SEPA-Report 4713-2, 1997], [SEPA-Report 4008, 1992]

2.3.17 Recogida de gases diluidos para su incineración en la caldera de recuperación

Descripción de la técnica: el control de las emisiones de TRS puede dividirse en tratamiento de gases no condensables (GNC) malolientes concentrados, que contienen unos 4 kg TRS/t (medidos como S) y gases malolientes diluidos o pobres, que contienen unos 0,5 kg TRS/t (medido como S). El tratamiento los GNC concentrados se realiza generalmente mediante la recogida de los GNC de los departamentos de cocción y de evaporación (ver 2.3.11) y su desecho por incineración. Hay diversas opciones disponibles.

La incineración de gases malolientes concentrados en la caldera de recuperación es una posible opción, hay algunas fábricas en Europa y unas 4 fábricas en el mundo que queman gases malolientes concentrados en la caldera de recuperación.

Los gases de alto volumen y baja concentración se forman en la manipulación del licor negro y blanco, el lavado de la pasta y en canales de recogida de efluentes con presencia de licor negro o blanco. La composición real varía enormemente en cada caso.

La captura de estos gases se realiza con tuberías de gas y soplantes para el transporte del gas. Los gases malolientes pobres recogidos pueden incinerarse como aire secundario o terciario de la caldera de recuperación. Según el volumen de GNC diluidos y la configuración de la fábrica de pasta puede haber diversos sistemas de destrucción de TRS para los diversos departamentos. Una alternativa para la incineración es un lavador alcalino u oxidante. La caldera de recuperación puede destruir los gases malolientes diluidos. No obstante, la caldera de recuperación es sólo una alternativa para la incineración de gases diluidos.

La cantidad normal de GNC diluidos en una fábrica de 1000 toneladas/d es de 50.000 – 100.000 m³/h. La cantidad de gases depende de la concepción de la fábrica; con cocción continua y lavado con difusor, los volúmenes son más bajos que con la cocción discontinua y lavado a presión.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes.

En las fábricas de pasta existentes, puede ser muy difícil adaptar un sistema de recogida y tratamiento de GNC. Esto es debido a las limitaciones de la configuración y a las largas distancias entre las fuentes de gases malolientes y la caldera de recuperación.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones de TRS de los gases de gran volumen (baja concentración) pueden reducirse casi por completo mediante su recogida y combustión.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos sobre otros medios.

Experiencias operativas: los métodos se han utilizado durante varios años en fábricas de referencia sin problemas.

El caudal de aire terciario a una caldera de recuperación es limitado, por lo que es posible que se requieran también otras alternativas de combustión.

Economía: los costes de inversión de la recogida de gases malolientes y su desecho en la caldera de recuperación son de 3,6-4,5 MEuros para una fábrica de pasta kraft con una producción de 1500 ADt/d. No obstante, dado que gran parte de los costes son de conducciones, los costes pueden ser considerablemente mayores en las fábricas que se extienden en superficies grandes. Los costes operativos del sistema son de 0,3-0,5 MEuro/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción más eficaz de las emisiones de TRS de la fábrica de pasta kraft es el motivo principal de aplicación de esta técnica.

Plantas de referencia: numerosas fábricas de pasta.

Bibliografía:

[TAPPI, Proceedings, 1997], [TAPPI, Proceedings, 1994], [J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SEPA-Report 4713-2]

2.3.18 Recogida e incineración de gases olorosos (concentrados y diluidos) en el horno de cal

Descripción de la técnica: el control de los gases malolientes causados sobre todo por las emisiones de Compuestos de Azufre Reducido (TRS) puede dividirse en tratamiento de los gases no condensables (GNC) concentrados y de los gases malolientes diluidos o pobres. El tratamiento de GNC concentrados se realiza generalmente mediante la recogida e incineración de GNC de los departamentos de cocción y evaporación.

La incineración de GNC concentrados puede realizarse en el horno de cal o en un incinerador de GNC separado equipado con un lavador de SO₂. Los GNC concentrados contienen más de un 90 % de todos los compuestos de TRS generados en la cocción de la pasta.

Los gases de alta concentración y bajo volumen se forman en el sistema de recuperación de trementina, condensadores de vapor de los digestores continuos, tanques de almacenaje de condensados sucios, descompresión de gases no condensables del evaporador y cisternas, y en sistemas de recuperación del calor por soplado de cocción discontinua, en lugar de los condensados de vapor del digestor continuo. La composición varía mucho de un caso a otro.

Las fuentes principales de gases malolientes pobres son el equipo de lavado y tamizado de pasta sin blanquear, diversos tanques de pasta y el licor de lavado en el lavado y el tamizado, tanques de

almacenaje de licor negro en la planta de evaporación y los tanques de almacenaje de licor blanco en la planta de recaustificación.

La recogida se realiza con tuberías, eyectores y soplantes para el transporte del gas. Los gases malolientes diluidos recogidos pueden incinerarse como aire secundario del horno de cal o en un incinerador separado de GNC, en una caldera de corteza u otra caldera auxiliar, o como aire secundario o terciario de la caldera de recuperación. Según volumen de GNC diluidos y de la configuración de la fábrica de pasta, puede haber diversos sistemas de destrucción de TRS para los distintos departamentos.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: las medidas pueden adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes. En las fábricas de pasta existentes puede ser difícil adaptar un sistema de recogida y tratamiento de GNC diluidos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones de TRS de la fábrica de pasta kraft pueden reducirse en más de un 90 % con sólo recoger y quemar los compuestos de TRS concentrados.

Efectos sobre otros medios: la ventaja de quemar los gases malolientes en el horno de cal es que no se requiere un horno adicional. Además, el azufre en el gas puede ser absorbido en la cal, lo que disminuye la emisión de dióxido de azufre. No obstante, en el horno de cal, sólo una cantidad limitada de azufre puede ser absorbida por el sodio gaseoso formando sulfato sódico. El principal compuesto absorbente de azufre es pues el carbonato sódico (Na_2CO_3) del lodo calizo. Cuando se agota esta capacidad, se emite SO_2 . Este efecto se acentúa cuando los gases no condensables malolientes se incineran en un horno. Por lo tanto, las emisiones de SO_2 son generalmente una función clara del caudal de gas maloliente. Para minimizar la formación de SO_2 puede reducirse el contenido de azufre en el combustible o, si se van a quemar los gases no condensables (GNC) malolientes en el horno de cal, pueden eliminarse los compuestos de azufre de estos gases en un lavador antes de su combustión en el horno de cal.

El control de TRS puede reducir también los componentes malolientes emitidos en el tratamiento de aguas residuales.

Una media de un 10-15 % del combustible usado en un horno de cal puede ser sustituido por el valor calorífico de los gases malolientes concentrados. Sin embargo, la variación de la cantidad de energía del gas puede hacer difícil mantener una cal de calidad buena y uniforme. La condensación del metanol después de la torre de separación puede reducir al mínimo el problema con una calidad del gas variable, pero requiere costes de inversión adicionales.

Experiencias operativas: la medida se utiliza extensamente. Han surgido algunos problemas en hornos de cal modernos debido al uso de un nivel bajo de exceso de oxígeno.

Economía: los costes de inversión típicos de la recogida e incineración de gases concentrados y diluidos son de 4-5 MEuros en fábricas nuevas y de 5-8 MEuros en fábricas existentes con una capacidad de 1500 ADt/d. No hay aumento importante en los costes operativos si puede utilizarse el valor calorífico del metanol recuperado. Si no, hay que prever un aumento de 0,3-0,5 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones de TRS de las fábricas kraft es el motivo principal de aplicación de esta técnica.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa y Norteamérica.

Bibliografía: [TAPPI, Proceedings, 1997]

2.3.19 Recogida e incineración de gases olorosos (gases concentrados y diluidos) mediante el uso de un horno separado equipado con lavadores de SO₂

Descripción de la técnica: la incineración de gases olorosos (ver 2.3.17 y 2.3.18) puede también realizarse en un incinerador de GNC separado equipado con un lavador de SO₂. Un horno separado puede aprovechar el valor calorífico a través de una caldera.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes.

En las fábricas de pasta existentes puede ser difícil adaptar un sistema de recogida y tratamiento de GNC diluidos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones de TRS de la fábrica de pasta kraft pueden reducirse más de un 90% con sólo recoger y quemar los GNC concentrados.

Efectos sobre otros medios: la incineración de los gases olorosos en un horno separado tiene tendencia a aumentar las emisiones de NQ si no se toma ninguna medida correctiva.

Experiencias operativas: la tecnología se utiliza desde hace años en muchas plantas sin problemas.

Economía: los costes de inversión son normalmente de 7-8 MEuros en fábricas nuevas, y de 8-11 MEuros en fábricas existentes con una capacidad de producción de 1500 ADt/d. Los costes operativos normalmente aumentan en 0,3-0,5 MEuros/año, ya que el valor calorífico del metanol recuperado no puede aprovecharse.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones de TRS de las fábricas kraft es el principal motivo de aplicación de esta técnica.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[TAPPI, Proceedings 1997]

2.3.20 Instalación de tecnología de baja emisión de NO_x en calderas auxiliares (corteza, fuel, carbón) y en el horno de cal

Descripción de la técnica: en fábricas de pasta química, puede utilizarse una gran variedad de combustibles regenerativos o fósiles - corteza, carbón, lignito, fuel o gas natural - para la producción suplementaria de vapor, normalmente en combinación con turbinas para la producción de energía eléctrica. Al quemar estos combustibles deben utilizarse técnicas de incineración ecológicas para reducir al mínimo las partículas, el SO₂ y también las emisiones de NO_x.

La tecnología de baja emisión de NO_x aplicada a la combustión de combustibles sólidos y residuos de la fábrica de pasta y papel con calderas de lecho fluidizado, se discute en 6.3.12. El carbón y el lignito son adecuados para ser quemados como combustible principal o de apoyo en sistemas de lecho fluidizado, lo que, mediante un control cuidadoso del funcionamiento, promueve la formación de un bajo nivel de NO_x.

En calderas convencionales a fuel o gas natural, en los quemadores que alimentan la mezcla de fuel y aire deben aplicarse diseños que mantengan condiciones de combustión bajas en NOx. A menudo también se quema carbón o turba, en forma de polvo completamente molido, en calderas convencionales, alimentado a través de quemadores que, con diseños apropiados, tienen un bajo nivel de NOx.

El aire de combustión primario entra a través del quemador en la mezcla de combustible y aire. El aire secundario y terciario se introduce por separado para mantener un balance apropiado de aire primario: secundario: terciario en la zona de la llama, con el fin de mantener la combustión baja en NOx. Todavía puede agregarse algo de aire, en caso necesario, sobre la zona principal de la llama, para completar la combustión del combustible.

El propósito de la alimentación multifásica del aire es quemar el combustible sin exceso de aire e incluso en condiciones reductoras, lo que significa que:

- No hay bastante oxígeno para promover una fuerte formación de NOx.
- La temperatura de la llama es menor que en quemadores convencionales, lo que reduce aún más la formación de NOx.

Parte del NOx formado se volverá a reducir a nitrógeno elemental, por ejemplo cuando se queme una cantidad residual de combustible en la zona exterior de la llama o fuera de la misma.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: los quemadores bajos en NOx pueden utilizarse en calderas nuevas y existentes.

Cuando se utilizan combustibles sólidos pulverizados, tales como carbón o turba, es importante que, si tienen una elevada humedad, sean secados previamente para facilitar una combustión rápida y eficaz. Se requiere además que el aire de combustión sea precalentado para asegurar una rápida ignición y una combustión completa.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: generalmente, las emisiones varían con el combustible. En la comparación con los quemadores convencionales con emisiones de NOx de 250-500, los quemadores bajos en NOx pueden alcanzar niveles de 120-140 mg/MJ en las emisiones en chimenea.

Monitorización de emisiones: la monitorización de emisiones puede realizarse con medidores en línea de NOx. También los medidores de oxígeno pueden ayudar a determinar que se mantienen las condiciones de combustión baja en NOx. Para medidas precisas se requiere muestreo in situ y análisis en laboratorio.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes.

Experiencias operativas: los quemadores con emisiones bajas de NOx han sido aplicados con éxito en la remodelación de calderas existentes y en la construcción de calderas nuevas.

Economía: los costes de inversión son normalmente de 0,5 – 0,8 MEuros. No es de prever un aumento importante de los costes operativos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: los quemadores bajos en NOx se utilizan principalmente para reducir las emisiones de NOx de las calderas auxiliares.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa del Norte y Europa Occidental.

Bibliografía: [Rentz, 1996], [J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [Ministry of Education, 1994]

2.3.21 SNCR en calderas de corteza

Descripción de la técnica: debido a la baja temperatura de la combustión, las calderas de corteza tienen emisiones relativamente bajas de NOx. Las emisiones son típicamente de 70-100 mg NOx/MJ cuando sólo se quema corteza. Ocasionalmente, cuando se utiliza fuel en la caldera de la corteza, puede darse un aumento de NOx hasta unos 100 - 150 mg NOx/MJ. El exceso del oxígeno afecta la formación de NOx y debe por lo tanto evitarse. Un exceso demasiado bajo de oxígeno aumenta sin embargo el riesgo de emisiones de CO y de COV.

El NO primario se forma en los hornos por la reacción con nitrógeno del aire (NO térmico) o por la oxidación del nitrógeno del combustible (NO de combustible). La formación de NO térmico aumenta con la temperatura de la llama. Una parte del NO se oxida a NO₂.

En el proceso de SNCR, el NO es reducido por la urea a nitrógeno, dióxido de carbono y agua según la reacción:

$$2 \text{NO} + (\text{NH}_2)_2\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}.$$

La reacción tiene lugar a unos 1000°C.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: el equipo para inyectar urea (o amoníaco) puede instalarse en calderas existentes y nuevas. Las condiciones óptimas de reacción pueden ser difíciles de obtener en calderas existentes, reduciendo así el potencial de reducción de NOx a un 40 %.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la reducción total de NOx alcanzable en una caldera de corteza es un 30-50%, realizando cambios en las técnicas de combustión (ver 2.3.20) y/o aplicando un proceso de SNCR. Las emisiones de NOx ascenderían entonces a 40-60 mg/MJ, lo que equivale a unos 100-200 mg/Nm³. Las emisiones de azufre gaseoso son bajas, de unos 10-20 mg/MJ al quemar corteza.

Monitorización de emisiones: puede instalarse una medición continua de NOx, y la experiencia muestra que los resultados son fiables.

Efectos sobre otros medios: según la estequiometría de la urea, puede determinarse un ligero aumento de amoníaco (desprendimiento).

Experiencias operativas: instalaciones de esta técnica han estado en funcionamiento desde principios de 1990. Normalmente se reporta una buena disponibilidad, pero se han producido una serie de incidentes en los que la inyección de solución de urea ha causado daños en el interior de la caldera. Dado que esto implica un riesgo para la seguridad y un mayor coste, las instalaciones deben hacerse con cubierta protectora, y su funcionamiento debe supervisarse correctamente.

La técnica de SNCR es difícil de controlar debido a que pueden ocurrir cambios relativamente rápidos de la carga en calderas de corteza. Esto da lugar a variaciones en las reducciones de NOx alcanzadas por estas técnicas.

El proceso puede ser una fuente potencial de emisión de N₂O o NH₃, pero las medidas demuestran que el riesgo es marginal. Al menos en Suecia, la SNCR en caldera de corteza es una técnica establecida.

Economía: los costes de inversión para agregar SNCR a la caldera de corteza para una fábrica de pasta kraft blanqueada con una capacidad de producción de 250.000 y 500.000 t/a ascienden a 690.000 Euros y 1.15 MEuros respectivamente. Los costes de inversión incluyen el equipo de inyección, las conducciones, las bombas, los tanques y la reconstrucción o adaptación de la

caldera. Los gastos de explotación son principalmente de urea. Se requieren 1-2 kilogramos de urea por kg NOx.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el NOx tiene un potencial de acidificación y puede aumentar la eutrofización. En algunas zonas sensibles con lagos en Europa, una ulterior reducción de las emisiones de NOx mediante medidas secundarias como la técnica de SNCR se considera por lo tanto necesaria. La tasa sobre las emisiones de NOx aplicada en Suecia puede también dar un incentivo para la reducción adicional de NOx.

Plantas de referencia: algunas fábricas en Suecia.

Bibliografía:

[SEPA-Report 4008], [SEPA-Report 4713-2, 1997], [Información personal de una fábrica sueca]

2.3.22 Técnica de distribución de aire por encima del hogar (OFA) en calderas de recuperación

Descripción de la técnica: la caldera de recuperación de kraft funciona con una atmósfera reductora en el fondo. La formación de NOx en la caldera de recuperación es por consiguiente más baja que en otros hornos. No obstante, las modificaciones en el sistema de alimentación de aire han demostrado tener éxito con respecto a las reducciones de NOx. El NOx térmico por la fijación de nitrógeno en el aire de combustión puede reducirse limitando la cantidad de aire en la zona de combustión. En sistemas diseñados al efecto, las tomas de inyección de aire están instaladas a nivel cuaternario. Puede conseguirse una reducción de la formación de NOx en una caldera de recuperación kraft con la modificación del sistema de alimentación de aire, como por ejemplo introduciendo una cuarta entrada de aire en la parte superior de la caldera. La reducción de las emisiones de NOx atribuibles al uso de esta técnica es variable, dependiente del tipo de la caldera y del diseño y el método de uso de la técnica OFA, y normalmente es de un 10-25%.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: aplicable a fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la reducción de NOx alcanzada parece ser diferente en cada caldera de recuperación. En algunas fábricas de pasta kraft suecas se han reportado las siguientes experiencias:

Caso 1: Instalación y uso de la técnica de OFA en una caldera de recuperación existente en funcionamiento desde 1990: Se ha alcanzado una reducción de NOx del 30%.

Caso 2: Instalación de la técnica de OFA en una caldera de recuperación existente. El nuevo sistema de alimentación de aire ya no se utiliza debido al aumento de temperatura en el sobrecalentador.

Caso 3: Instalación de la técnica de OFA en una caldera de recuperación existente en 1995: Se ha alcanzado una reducción de NOx del 20% y está en funcionamiento desde principios de 1997.

Caso 4: Primera caldera de recuperación nueva con técnica de OFA en 1996: La reducción de las emisiones de NOx de la misma se resumen en la tabla 2.37.

Efectos sobre otros medios: no se producen efectos sobre otros medios.

Experiencias operativas: la reducción de las emisiones de NOx atribuible al uso de esta técnica es variable, según el tipo de la caldera y el diseño y el método de uso de la técnica de OFA. Debe ser adaptada a las condiciones específicas de las calderas de recuperación. El uso de

Distribución del aire de combustión en la caldera de recuperación	Funcionamiento normal	Técnica de distribución de aire por encima del hogar (OFA)	
		Fase de ensayo en mayo 98	
Aire primario [%]	45	35	40
Aire secundario [%]	45	45	40
Aire terciario [%]	10	10	5-15
Aire cuaternario [%] ⇒ OFA	0	10	5-15
Efectos observados en			
NO _x [mg/m ³ ndg]	135	80	90
SO ₂ [mg/m ³ ndg]	20	35	< 20

Tabla 2.37: Reducción de las emisiones de NO_x mediante el uso de la técnica de distribución de aire por encima del hogar en una caldera de recuperación nueva

esta técnica - que se utiliza ampliamente en otros procesos de combustión - puede producir aumentos de las emisiones de monóxido de carbono y carbono sin quemar si no se controla bien.

Economía: los costes de inversión para modificar la introducción de aire a la caldera de recuperación para una fábrica de pasta kraft blanqueada con una capacidad de producción de 250.000 y 500.000 t/a ascienden a 1,7 MEuros y 2,3 MEuros respectivamente. Los costes de inversión incluyen nuevas entradas de aire a la caldera de recuperación, instrumentación, conducciones y ventiladores de recuperación. No hay cambio en los costes operativos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el NO_x tiene un potencial de acidificación y puede aumentar la eutrofización. En algunas zonas sensibles con lagos en Europa, una ulterior reducción de las emisiones de NO_x mediante medidas secundarias se considera por lo tanto necesaria.

Plantas de referencia: algunas fábricas en Suecia.

Bibliografía:

[SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.23 Instalación de un mejor lavado del lodo calizo en la recaustificación

Descripción de la técnica: la cal (CaO) se utiliza para caustificar el licor verde (Na₂S + Na₂CO₃) a licor blanco (Na₂S + NaOH). Después de la caustificación, se forma lodo calizo (CaCO₃). El lodo calizo se recicla normalmente en un horno de cal, donde se quema lodo calizo y se crea cal viva. Antes de que la cal se envíe al horno, debe lavarse para quitar los residuos de hidróxido sódico, sulfuro sódico y otras sales sódicas, y luego desecarse.

El equipo usado para el lavado del lodo calizo es generalmente clarificadores o filtro de prensa. En el pasado, el filtrado de lodo de dos etapas era ampliamente utilizado, pero más recientemente el lavado de lodo en una sola etapa con una unidad de clarificación con almacenaje o en un filtro de presión se ha convertido en la técnica dominante.

La mejora en el lavado del lodo puede reducir el contenido residual de licor blanco desde 100 mg/dm³ a 0-30 mg/dm³ en filtros modernos. La sequedad del lodo calizo puede también aumentar desde el 50-60 % al 70-80 %. Un lavado más eficaz reduce la concentración de

sulfuro en el lodo calizo, reduciendo con ello la formación de sulfuro de hidrógeno en el horno de cal durante el proceso de calcinación.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: aplicable a fábricas de pasta nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la posible reducción del H_2S (TRS) en el horno de cal, que depende principalmente de la disponibilidad del sodio en la cal y del contenido de azufre de todos los combustibles alimentados al horno de cal. Al nivel más bajo de aporte de azufre puede conseguirse una reducción pequeña, pero con aportes más altos de azufre el efecto puede ser inexistente o perjudicial.

Efectos sobre otros medios: si se lavan a un contenido demasiado bajo de sodio, las emisiones de TRS y también las emisiones de partículas del horno de cal tienden a aumentar.

Experiencias operativas: el lavado mejorado del lodo calizo se ha practicado a lo largo de 10 años en fábricas pasta en Europa. Se requiere monitorización del sodio residual (NaOH) para evitar la obstrucción del horno de cal.

Economía: los costes de inversión son normalmente de 1–1,5 MEuros.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de H_2S (TRS) y de los olores de los gases de combustión del horno de cal.

Plantas de referencia: Numerosas plantas en Europa.

Bibliografía

[SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.24 Precipitador electrostático para la reducción de polvo en la caldera de corteza y el horno de cal

Descripción de la técnica:

Caldera de corteza

Los residuos de corteza y madera se queman en gran medida para la producción de vapor. El vapor de las calderas se utiliza a menudo para la generación de energía a través de turbinas de contrapresión. Esta generación de calor y energía es necesaria para reducir las emisiones de combustibles fósiles. Con la incineración, se producen menos residuos para desecho. Actualmente, una planta de incineración nueva requiere siempre un sistema sofisticado de incineración combinado con un sistema avanzado de limpieza de los gases de combustión.

La principal emisión de las calderas de residuos de corteza y madera la constituyen las partículas. Las partículas consisten en ceniza y un residuo de material sin quemar. Normalmente las calderas de corteza tienen ciclones para la eliminación del polvo (eficacia del 85%). Hoy en día también se utilizan cada vez más precipitadores electrostáticos con una eficacia de limpieza por encima del 95%.

Horno de cal

Un diseño apropiado del horno de cal reducirá al mínimo la formación del polvo. El mecanismo de la vaporización del sodio está relacionado con la cantidad de sodio en el horno y la elevada

temperatura de la sección de calcinación del horno. El grado de vaporización puede, hasta cierto nivel, controlarse mediante un ajuste apropiado de la forma y de la posición de la llama.

El uso de distintos combustibles también afecta a la emisión de polvo. Una llama de fuel en el extremo caliente del horno, debido a sus buenas características de radiación, proporciona un alto grado de vaporización del sodio de la cal produciendo sulfato sódico y dióxido de azufre. Para reducir al mínimo las partículas de CaO , Na_2SO_4 y Na_2CO_3 , puede instalarse un precipitador electrostático. El precipitador electrostático tiene mejores características de eliminación de polvo que un lavador. Si también hay instalaciones de lavado, el precipitador electrostático debe situarse antes del lavador. El precipitador electrostático requiere mantenimiento y supervisión regulares. La sobrecarga o la carga desigual pueden causar la obstrucción de los compartimientos del precipitador.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas de pasta kraft nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el principal beneficio medioambiental alcanzado en las calderas de corteza es la reducción de partículas desde un nivel de 250-500 mg/Nm^3 a un nivel de 100-150 mg/Nm^3 utilizando ciclones. Un precipitador electrostático, para el gas de combustión de la caldera de corteza, puede alcanzar una eficacia de la limpieza superior al 95%, que corresponde a unas emisiones de polvo de 20-40 mg/Nm^3 (a un 10% O_2 y gas seco).

Las emisiones del polvo del horno de cal serán de 20 - 100 mg/m^3 después del precipitador electrostático.

La mayor parte del polvo que sale del horno con el gas de combustión es CaO . Se escapa sobre todo del extremo de la alimentación del horno. La cantidad de polvo que viene del extremo caliente del horno es considerablemente inferior. Los componentes principales de las emisiones de polvo de la chimenea son partículas finas de Na_2SO_4 y Na_2CO_3 , ya que las de CaO son capturadas más eficazmente en el equipo de limpieza de los gases de combustión.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes.

Experiencias operativas: la medida ha sido aplicada en una serie de fábricas de pasta.

Economía: en una fábrica kraft de 1500 ADt/d, los costes de inversión para un precipitador electrostático en la caldera de corteza son de 3-4 Meuros, y en el horno de cal 5-6 MEuros. Los costes operativos se incrementan en menos de 0,3 MEuros/año en ambos casos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción de las emisiones de polvo a la atmósfera es el motivo principal de aplicación del método.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.4 Mejores Técnicas Disponibles

2.4.1 Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se sugiere al lector retroceder al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector; para las fábricas integradas de pasta y papel kraft, las principales preocupaciones son el consumo de agua, los vertidos de aguas residuales (DQO, DBO, sólidos en suspensión, N,P y AOX), el consumo de energía (vapor y electricidad), los residuos sólidos como rechazos, lodos y cenizas, las emisiones al aire procedentes de la generación de energía (SO₂, NO_x, CO₂, polvo), el ruido, el calor residual al agua y a veces el olor; los tres últimos son impactos de carácter local.
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico correspondiente ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse en el sentido de que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe entenderse en el sentido de que puede esperarse que el nivel se alcance durante un período de

tiempo substancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica con respecto a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar los factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTDs generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales del MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información de guía a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumo alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

La fabricación de pasta kraft no es un solo proceso sino una serie de procesos unitarios, a menudo ligados e interdependientes. Por lo tanto, es siempre una combinación adecuada de técnicas la que constituye MTD para las fábricas de pasta kraft y papel. El orden de prioridad y la selección de las técnicas, o las combinaciones de técnicas, depende de las circunstancias locales.

Las mejores técnicas disponibles abajo indicadas son, si no se indica lo contrario, aplicables a plantas nuevas y existentes. En las fábricas de pasta y papel, la aplicabilidad de una técnica está menos influenciada por el hecho de si una fábrica es nueva o existente. Las fábricas de pasta y papel se caracterizan por el hecho de que la maquinaria se remodela en lugar de ser sustituida por completo. La remodelación y el desarrollo modular de las plantas significa que cada instalación es un producto único de su localización e historia. Por otra parte, hay una serie de procesos unitarios que son comunes en todos los países.

Los criterios a considerar en la determinación de las MTD en casos concretos son fundamentalmente que los costes específicos para fábricas más pequeñas son relativamente más altos (economía de escala). Otros factores a considerar son las limitaciones de espacio, que algunas fábricas antiguas pueden afrontar, o la falta de adecuación del material o de la configuración de equipos antiguos que no son compatibles con un mayor grado de cierre de los circuitos de agua. Un mayor cierre del sistema del agua se combina en general con una mayor complejidad del sistema, que necesita ser monitorizado, controlado y comprendido. En ocasiones, las fábricas más pequeñas podrían no disponer del conocimiento necesario para gestionar y controlar soluciones de proceso más complejas con la máxima eficacia posible.

2.4.2 MTD para fábricas de pasta kraft y papel

A continuación se detallan las técnicas o la combinación de técnicas que se consideran como MTD para las fábricas integradas y no integradas de pasta kraft. La lista siguiente de MTD no se considera exhaustiva, y cualquier otra técnica o combinación de técnicas que alcancen el mismo (o mejor) funcionamiento pueden también ser consideradas; tales técnicas pueden estar en fase de desarrollo o ser técnicas emergentes o ya disponibles y no estar descritas en este documento. Para las fábricas integradas de pasta kraft y papel, se hace referencia a la Sección 6.4 donde se da más información sobre MTD para la fabricación de papel. Si no se indica lo contrario, los datos hacen referencia a valores medios anuales.

Medidas generales

1. Formación, educación y motivación del personal y operarios. Las fábricas de pasta y de papel son gestionadas por personas. Por consiguiente, la formación del personal puede ser una forma muy rentable de reducir las descargas de sustancias nocivas.
2. Optimización del control de procesos. Para poder reducir distintos contaminantes de forma simultánea y mantener bajas las emisiones, se requiere un control de proceso mejorado.
3. Para mantener la eficacia de las unidades técnicas de las fábricas de pasta y las técnicas de eliminación asociadas a un alto nivel, debe asegurarse un mantenimiento suficiente.
4. Un sistema de gestión medioambiental que defina claramente las responsabilidades de los aspectos medioambientalmente relevantes en una fábrica de pasta, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, listas de chequeo y otra documentación relevante.

Medidas para reducir las emisiones al agua

1. Descortezado seco de la madera.
2. Cocción modificada en sistema continuo o discontinuo.
3. Lavado de alta eficacia de la pasta cruda y tamizado en ciclo cerrado de la pasta cruda.
4. Deslignificación con oxígeno.
5. Blanqueo final ECF o TCF y reciclaje de parte del agua de proceso, principalmente alcalina.
6. Purificación y reutilización de condensados.
7. Monitorización eficaz de vertidos, sistema de contención y recuperación.
8. Suficiente capacidad de la planta de evaporación de licor negro y de la caldera de recuperación para poder absorber la carga adicional de licor y materia seca debida a recogida de vertidos, efluentes de la planta de blanqueo, etc.
9. Recogida y reutilización de aguas de refrigeración limpias.
10. Existencia de tanques de espera suficientemente grandes para el almacenaje de los licores de cocción y recuperación vertidos, así como de los condensados sucios, para evitar picos repentinos de carga y desajustes ocasionales en la planta externa de tratamiento de efluentes.
11. Tratamiento primario de las aguas residuales.
12. Tratamiento biológico externo de las aguas residuales.

La eficacia de cada una de estas medidas varía considerablemente con las operaciones de diseño y el funcionamiento en distintas fábricas de pasta. Para ser considerada como MTD, una medida debe también estar bien diseñada y funcionar bien. Una combinación de las técnicas de los puntos 1 a 10, incluidas las medidas generales, produce el rango de emisiones que se indica en la Tabla 2.38. Los ejemplos de fábricas de pasta son plantas con un buen funcionamiento en Europa que han puesto en práctica un número razonable de estas técnicas. Todas las fábricas de pasta tienen tratamiento primario, y la mayoría de ellos también tratamiento secundario de efluentes. No obstante, todos los valores de la Tabla 2.38 hacen referencia a descargas al agua después del tratamiento primario únicamente. El efecto del tratamiento biológico de los efluentes de la fábrica de pasta se discute con mayor detalle a continuación.

Fábricas	DQO [g/ADt]	DBO ₅ 0,7 [kg/ADt]	SST [kg/ADt]	LOX [g/AD]	Tot N [g/AD]	Tot P [g/AD]	Caudal n3/ADt]	Producción 97 [ADt/a]	Comentarios
ENCE, Huelva, España	28	n/d.	5,2	0,17	n/d.	n/d.	41,2	310.000	Pasta comercial ECF de fibra corta (eucalipto) blanqueada
Soedra Cell, Varö, Suecia	36	n/d.	n/d.	0	0,3	0,04	35	305.000	Pasta comercial TCF de fibra larga blanqueada
Soedra Cell, Mönsterås, Suecia ¹	31	14	n/d.	0	n/d.	n/d.	45	507.000	Pasta comercial TCF de fibra larga /dura
NSI, Tofte Industrier, Noruega	35		2,3	0,19	n/d.	0,07 -0,1	30	340.000	Pasta comercial ECF blanqueada
Pöls AG, Austria ⁶	38	13	n/d.	0,5	n/d.	n/d.	46 ⁷	280.000	Pasta comercial ECF de fibra larga blanqueada
Stora, Celbi Portugal	17,3	4,9	2,7	0,16	0,15	0,11	52	270.000	Pasta comercial ECF de fibra corta (eucalipto) blanqueada
Modo Alizay, Francia (todo el centro)	42,3	11	12,3	n/d.	n/d.	n/d.	61	244.500 pasta 220.000 papel	Fábrica integrada de pasta blanqueada ECF y papel
Enocell, Finlandia ⁴	54	17	n/d.	0,67	0,19	0,04	38	586.000	Pasta comercial ECF y TCF de fibra larga /dura (abedul)
Metsä-Rauma, Finlandia ²	28	11	n/d.	n/d.	n/d.	0,02 1	10	500.000	Pasta comercial TCF de fibra larga /dura blanqueada
Modo, Husum, Suecia ³	37	19	n/d.	0,30	0,19	0,06 0	77	677.000 pasta 485.000 papel	Fábrica integrada de pasta blanqueada ECF y papel
SCA, Östrand, Suecia ³	38	15	n/d.	-	0,40	0,06 0	39	n/d.	Pasta comercial TCF de fibra larga blanqueada
Soedra Cell, Mörrum, Suecia	41	17	n/d.	0,25	0,30	0,04 0	73	376.000	Pasta comercial TCF/ECF de fibra larga blanqueada
AssiDomän fábrica kraftliner, Suecia ⁵	13	6,4	n/d.	-	0,06	0,00 8	24	562.000	Kraft + kraftliner sin blanquear, 19% de fibras recicladas
SCA, Munksund, Suecia ⁵	16	7,9	3,3	-	0,07	0,01 2	41	338.000	Kraft + kraftliner sin blanquear, 33% de fibras recicladas
SCA, Obbola, Suecia ⁵	19	9	3,5	-	0,15	0,01 3	12	363.000	Kraft + kraftliner sin blanquear, 41% de fibras recicladas
Smurfit CdP Facture, Francia ⁵	17,3	7,7	1,6	-	0,25	0,00 9	28,4	350.000 400.000	Kraft + kraftliner sin blanquear, 20% de fibras recicladas, 10% de pasta comprada
Fábrica 5, Portugal ⁵	18	6	2,9	n/d.	n/d.	n/d.	25	270.000	Kraft + kraftliner sin blanquear
n/d. = datos no disponibles Notas: 1) Datos medios de la segunda mitad de 1998 después del tratamiento primario 2) Fábrica "greenfield" construido en 1996; datos de la "Quinta Conferencia Mundial sobre el Papel y el Medio Ambiente, Sesión 3, 1997" 3) Datos de DQO de 1998; el resto son de 1997 4) Datos de 1998 5) Por tonelada de kraftliner producida 6) Niveles antes del tratamiento secundario. La fábrica de pasta utiliza un tratamiento biológico 7) La cifra de caudal de agua no incluye la producción de papel. La contribución de una producción de papel pequeña es despreciable para los demás parámetros.									

Tabla 2.38: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados después de tratamiento primario únicamente en algunas fábricas de pasta en Europa (año de referencia 1997). La mayoría de estas fábricas disponen también de tratamiento secundario (ver Tabla 2.40). La lista de fábricas de pasta es una selección de plantas de las que se hallaban disponibles o se facilitaron datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. En la Tabla 2.40 siguiente se dan ulteriores ejemplos de fábricas de pasta después del tratamiento biológico. Los datos se derivan de informes medioambientales de las empresas, comunicaciones personales y el informe del SEPA 4294 "Emisiones de la Industria Forestal al agua y a la atmósfera, cantidades de residuos y consumo de energía, 1997" (sólo en sueco). El método de análisis es el utilizado en el país respectivo. En Suecia y Finlandia, los valores de DBO se indican como DBO₇

Según el tipo de madera usada para la pasta, las medidas integradas en el proceso específico aplicadas y el carácter técnico de la fábrica de pasta, generalmente pueden alcanzarse las siguientes emisiones al agua asociadas con el uso de MTD antes del tratamiento biológico:

Parámetros	Unidades	Pasta kraft blanqueada ¹	Pasta kraft sin blanquear integrada ³
DQO	kg/ADt	30 ² - 45	15 - 20
DBO	kg/ADt	13 ² - 19	6 - 9
SST	kg/ADt	2 - 4	2 - 4
AOX	kg/ADt	(-) - 0,4	*
Total P	kg/ADt	0,04 - 0,06 ⁴	0,01-0,02
Total N	kg/ADt	0,3 - 0,4	0,1 - 0,2
Aguas residuales de proceso	m ³ /ADt	30-50	1,5 - 2,5

Notas:

*Este parámetro no es relevante aquí. Pueden haber emisiones bajas de AOX del repulpaje o de la pasta blanqueada comprada

1) Niveles de emisiones para fábricas de pasta kraft no integradas e integradas por tonelada de pasta.

2) Pueden alcanzarse valores más bajos si sólo se utiliza fibra corta en la cocción

3) Los fábricas de pasta kraft sin blanquear son todos fábricas integradas. Producen kraftliner, calidades de cartón y papel kraft para sacos sin blanquear. Muchos de ellos utilizan fibras recicladas y pasta blanqueada comprada. Normalmente se registran niveles de emisiones mayores en las fábricas de pasta que utilizan más fibras recicladas como materia prima. Las cifras son por tonelada de kraftliner/papel/cartón producida.

4) Debido al alto contenido de fósforo en la pasta, las fábricas de pasta de madera de eucalipto no pueden alcanzar estos valores. Los datos actuales de fábricas de pasta de emisiones de P al agua son del orden de 0,037 - 0,23 kg P/ADt. La media de los datos reportados es de 0,11 kg P/ADt.

Tabla 2.39: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de las mejores técnicas disponibles, alcanzados tras el tratamiento primario.

Se indican valores para pasta kraft blanqueada y sin blanquear

Cuando se aplican combinaciones apropiadas de MTD, los niveles de emisiones alcanzables por fábricas de pasta kraft integradas y no integradas se considera que son del mismo orden por lo que respecta a la sección de preparación de la pasta. Para las fábricas de pasta integradas, a las medidas relacionadas con las fábricas de pasta (Capítulo 2) deben añadirse además las medidas descritas bajo el capítulo correspondiente en la fabricación de papel (Capítulo 6).

No obstante, hay algunas técnicas a considerar que hacen referencia solamente a las fábricas de pasta integradas, como por ejemplo:

- Separación eficaz de los sistemas de agua de la preparación de la pasta y de la fábrica de papel entre sí.
- Reciclaje del agua de dilución de la pasta entre la fábrica de pasta y la fábrica de papel.

La recirculación del agua de proceso de la máquina de papel a la fábrica de pasta no es posible cuando la planta vende parte de su producción de pasta al mercado abierto o tiene dos o más máquinas de papel que fabrican distintos tipos del papel cuyas aguas blancas son incompatibles, o cuando se fabrica papel coloreado.

Tratamiento biológico externo de aguas residuales

Además de las medidas integradas en el proceso y el tratamiento primario (puntos 1 a 10), el tratamiento biológico se considera MTD para las fábricas de pasta Kraft. Las plantas de lodo activado consistentes en una balsa de homogeneización, una balsa de aireación, un clarificador secundario y manipulación del lodo muestran un funcionamiento excelente para el tratamiento de los efluentes de las fábricas de pasta. Las plantas de lodo activado de baja carga con una carga de lodo por debajo de 0,15 kg DBO/(kg MLSS*d) y tiempos típicos de retención en la balsa de aireación de alrededor de un día (hasta 2 días) se consideran MTD. Pueden alcanzar altas eficacias de eliminación y un sistema de tratamiento estable.

Fábricas de pasta	Niveles de emisiones alcanzados reportados después del tratamiento biológico (medias anuales)							Tipo de tratamiento
	DQO [kg/Adt]	DBO ₅ or 7 [kg/Adt]	AOX [kg/Adt]	SST [kg/Adt]	Total P [kg/Adt]	Total N [kg/Adt]	Flow ³⁾ [m ³ /Adt]	Ej: carga normal/ baja
Soedra Cell, Mönsteras, Suecia ¹	13 (300)	0,9 (20)	(-)	1,7 (40)	0,03 (0,7)	0,31 (7)	45	Lodo activado con tiempo de retención largo (>2 d)
Pöls AG, Austria	17,6 (400)	0,64 (15)	0,30 (6,6)	1,45 (30)	0,07 (1,5)	0,06 (1,5)	45,8 ⁶	Lodo activado con tiempo de retención de 14 h
Modo Alizay, Francia (toda la instalación) ⁴	11,1 (180)	0,6 (10)	0,1 (1,6)	2,24 (37)	0,08 (1,3)	0,38 (6,2)	61	Lodo activado
Enocell, Finlandia	12 (300)	0,2 (5)	0,14 (5)	0,3 (8)	0,004 (0,1)	0,08 (2)	39	Lodo activado con tiempo de retención de 24 h + Estanque aireado
MB Kaskinen, Finlandia	14 (300)	0,3 (7)	0,07 (1,4)	1,0 (20)	0,02 (0,4)	0,15 (3)	49	Lodo activado
Sunila, Finlandia	22 (160)	1,4 (10)	0,14 (0,2)	2,1 (15)	0,026 (0,2)	0,21 (6)	70	Lodo activado
MB Äänekoski, Finlandia	24 (750)	0,6 (5)	0,38 (11,9)	1,9 (60)	0,012 (0,4)	0,17 (5)	32	Lodo activado
UPM Kymi, Finlandia, integrado ⁵	23 (360)	2,7 (40)	0,22 (3,5)	1,1 (20)	0,02 (0,3)	0,19 (3)	63	Lodo activado
Metsä-Rauma, construido en 1996, Finlandia ²⁾	4 (270)	0,4 (30)	(-)	0,7 (45)	0,015 (1)	0,14 (10)	15	Lodo activado
Alberta-Pacific, Alberta, Canadá	6,9 (130)	0,2 (4)	0,05 (0,8)	1,66 (30)	n/d.	n/d.	50 - 60	Lodo activado con tiempo de retención de 40 h
Bäckhammars, Suecia, papel y pasta kraft sin blanquear	7 (80)	1,5 (20)	-	0,9 (10)	0,007 (0,1)	0,47 (5)	85	Tratamiento biológico + precipitación química
n/d. = no hay datos disponibles Notas: 1) Datos medios para medios para la segunda mitad de 1998 2) Valores calculados por la fábrica. La fábrica de pasta se construyó como fábrica "greenfield" en 1996 y tiene un tratamiento común con una fábrica adyacente de pasta mecánica y papel. 3) El caudal de agua excluye el agua de refrigeración. 4) Las cifras son por tonelada de producto acabado. Las cifras por tonelada de pasta kraft blanqueada serían distintas, ej: DQO 13 kg/ADt, DBO 0,63 kg/ADt, SST 2,82 kg/ADt, caudal 64 m ³ /ADt; los datos se refieren a 1998 5) Las cifras son por tonelada de producto acabado (papel fino). Las cifras por tonelada de pasta kraft blanqueada serían: DQO: 28 kg/ADt; DBO ₇ : 0,5 kg/ADt; AOX: 0,33 kg/ADt; SST: 0,8 kg/ADt; tot-P: 0,02 kg/ADt; tot-N: 0,2 kg/ADt; caudal: 42 m ³ /ADt 6) El valor no incluye la producción de papel. La contribución de una producción de papel pequeña es despreciable para los otros parámetros.								

Tabla 2.40: Ejemplos de niveles de emisiones al agua alcanzados tras el tratamiento biológico en fábricas de pasta existentes en Europa (año de referencia: 1997). La lista de fábricas de pasta es una selección de fábricas de las que se hallaban disponibles o se facilitaron datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. Los datos se derivan de informes medioambientales de las empresas, de estadísticas del Instituto Medioambiental de Finlandia y de comunicaciones personales. El método de análisis es el utilizado en el país respectivo. En Suecia y Finlandia, los valores de DBO se indican como DBO₇

Debe destacarse que cualquier otro tratamiento con niveles comparables de emisiones y costes puede también considerarse MTD.

La Tabla 2.40 presenta los niveles de emisiones alcanzados en algunas fábricas de pasta en Europa que han puesto en práctica un conjunto de medidas MTD integradas en el proceso, aunque no necesariamente todas ni en su máximo grado, junto con el tratamiento biológico de

aguas residuales. Las cifras que se indican entre paréntesis en la Tabla 2.40 indican unidades de concentración [mg/l].

Suponiendo un adecuado diseño y capacidad de la planta de tratamiento de efluentes y un funcionamiento y control apropiado por operarios expertos, generalmente puede alcanzarse el siguiente nivel de descarga después del tratamiento biológico.

Las emisiones al agua no difieren mucho entre fábricas de pasta integradas y no integradas cuando se encuentran a estos niveles asociados con las MTD.

Parámetros	Unidad	Pasta kraft blanqueada ¹	Pasta kraft sin blanquear + kraftliner o papel para sacos ²
DQO	kg/ADt	8 – 23	5,0 – 10
DBO	kg/ADt	0,3 - 1,5	0,2 - 0,7
SST	kg/ADt	0,6 – 1,5	0,3 - 1,0
AOX	kg/ADt	(-) - 0,25	-
Total P	kg/ADt	0,01 - 0,03 ³	0,01 - 0,02
Total N	kg/ADt	0,1 - 0,25 ⁴	0,1 - 0,2
Agua residual de proceso ⁵	m ³ /ADt	30-50	15-25
Notas: 1) Niveles de emisiones para fábricas de pasta kraft blanqueada integradas y no integradas 2) Niveles de emisiones para fábricas integradas de pasta kraft sin blanquear y papel/liner 3) Debido al alto contenido de fósforo en la madera para pasta, algunas fábricas de pasta de eucalipto no pueden alcanzar estos niveles si el nivel de P supera las necesidades de la planta de tratamiento biológico. Las emisiones vendrán determinadas por el contenido de P de la madera. No es necesario agregar fósforo a la planta de tratamiento de aguas residuales. 4) Toda descarga de nitrógeno asociada con el uso de agentes complejantes deberá agregarse a la cifra de tot-N 5) El agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacúan separadamente y no se incluyen			

Tabla 2.41: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles después del tratamiento biológico

Se indican valores para fábricas de pasta kraft blanqueada y sin blanquear

La Tabla 2.41 debe leerse junto con las siguientes explicaciones adicionales:

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** el índice de reducción de DQO está relacionado con los tipos y cantidades de efluentes tratados (por ejemplo, los condensados son más degradables que los vertidos), la construcción y la hidráulica de la planta de tratamiento, y el ajuste apropiado de los parámetros de funcionamiento. Se consiguen índices de eliminación de DQO del 65 - 75 % en plantas con baja carga bien diseñadas y controladas. Sin embargo, los tiempos de retención largos implican grandes balsas de aireación, por lo que se requiere un mayor consumo de energía de bombeo y aireación. Para que el comportamiento de una planta pueda considerarse bueno, los índices de reducción de DQO en el tratamiento deben superar el 55%.

Por lo tanto, es posible conseguir niveles de emisión de 8 - 23 kg DQO/ADt en fábricas de pasta kraft blanqueada. La concentración medida en los efluentes de estas fábricas es del orden de 250 - 400 mg DQO/l.

Los motivos más comunes de que una planta de lodo activado tenga unos resultados peores son el diseño escogido y una carga demasiado elevada. Por otra parte, las mejores plantas, que alcanzan un índice de eliminación de DQO de alrededor del 75%, funcionan a un nivel en el que la reducción adicional de la materia orgánica (medida como DQO) por medio del tratamiento biológico es muy limitada.

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO₅ o ₇):** en plantas de tratamiento bien diseñadas, la DBO se elimina casi totalmente (un 95% + de eliminación) de las aguas residuales de las fábricas de pasta cuando la relación carbono-fósforo-nitrógeno es adecuada y el suministro

de oxígeno es suficiente y se mantiene bien controlado. En caso de alteraciones, o si algunos de los parámetros operativos se alejan del nivel objetivo, la concentración de DBO en los efluentes comenzará a aumentar. Esto requiere el ajuste de los parámetros operativos o el análisis de la biomasa. La concentración de DBO en el efluente está relacionada con el control del sistema y puede utilizarse como indicador de la salud de la biomasa activa.

Una concentración de DBO en los efluentes tratados entre 10 y 25 mg/l se asocia con MTD. Según el caudal de agua, esto corresponde a 0,3 kg DBO₅/ADt (a 10 mg/l y 30 m³ de caudal/ADt) y a 1,3 kg DBO₅/ADt respectivamente (a 25 mg/l y caudal de 50 m³).

- **Sólidos en suspensión totales (SST):** en condiciones de funcionamiento normales, el agua del clarificador secundario es bastante limpia, y el contenido de sólidos en suspensión es del orden 20 a 30 mg/l. Esto corresponde a descargas de 0,6 – 1,5 kg SST/ADt (a un caudal de agua de 30 - 50 m³/ADt). Los valores dependen de la carga en superficie del clarificador secundario y de las características de la biomasa.
- **Halógenos orgánicos absorbibles (AOX):** las descargas de compuestos orgánicos son normalmente del orden de 0–0,5 kg/ADt antes del tratamiento biológico, ya que el proceso de blanqueo ha sido modificado a ECF o TCF en la mayoría de fábricas de pasta europeas. El tratamiento con lodo activado produce una reducción de AOX entre el 40 y el 60%. Las fábricas de pasta ECF consiguen niveles de emisiones de < 0,25 kg/ADt. Las fábricas de pasta TCF no descargan prácticamente compuestos orgánicos clorados (ya que no se forman en el blanqueo).
- **Fósforo y nitrógeno (Tot-P y Tot-N):** generalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C: P: N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Por lo tanto, centrarse solamente en la concentración entrante o en los índices de reducción de N y P no logrará este propósito. Más bien es necesario encontrar y mantener un equilibrio entre los compuestos entrantes de N y P disponibles para biomasa y la cantidad de nutrientes agregados, si los hay, lo cual requiere un cierto ajuste fino de la alimentación de nutrientes. A menudo, las fábricas de pasta no agregan fósforo a sus aguas residuales, mientras que la adición de nitrógeno (generalmente como urea) es esencial para este tipo de plantas. Cuando el sistema está bien optimizado, se alcanzan descargas de fósforo de 0,2–0,5 mg tot-P/l y 2–5 mg tot-N/l. Las cargas correspondientes son 0,01–0,03 kg P/ADt y 0,1–0,25 kg N/ADt respectivamente (a un caudal de agua de 50 m³/ADt). El Tot-P de la pasta blanqueada es ligeramente más alto que el de la pasta sin blanquear, ya que el fósforo se disuelve en la planta del blanqueo.

Para asegurar una planta de tratamiento de aguas residuales que funcione bien de forma continua, puede ser beneficioso disponer de una balsa de emergencia que proteja la biomasa de licores concentrados tóxicos o calientes, así como una balsa de homogeneización para igualar la carga y los caudales.

Medidas para reducir las emisiones a la atmósfera

1. Recogida e incineración de gases malolientes concentrados de la línea de fibras, planta de cocción, planta de evaporación, separador de condensados, y control del SO₂ resultante. Los gases concentrados pueden quemarse en la caldera de recuperación, el horno de cal o un horno separado con bajo nivel de NO_x. Los gases de combustión de este último tienen una alta concentración de SO₂ que se recupera en un lavador.
2. Recogida e incineración de gases malolientes diluidos, por ejemplo de la línea de fibras, de las distintas fuentes como tanques, de los depósitos de astillas, de la disolución de materias fundidas, etc. Los gases malolientes débiles pueden quemarse por ejemplo en la caldera de

recuperación mezclados con aire de combustión o en una caldera auxiliar, según el volumen.

3. Mitigación de las emisiones de TRS de la caldera de recuperación mediante el control automatizado de la combustión y la medición del CO y, en el caso del horno de cal, controlando el exceso de oxígeno, utilizando un combustible bajo en S y controlando el sodio soluble residual del lodo calizo alimentado al horno.
4. Control de las emisiones de SO₂ de las calderas de recuperación mediante la combustión de licor negro con una alta concentración de materia seca en la caldera de recuperación para reducir la formación de SO₂ y/o utilizando un lavador de gases de combustión.
5. Control de las emisiones de NO_x de las calderas de recuperación y del horno de cal controlando las condiciones de combustión y asegurando una adecuada mezcla y división del aire en la caldera, y, para las instalaciones nuevas o remodeladas, también mediante un diseño apropiado.
6. Control de las emisiones de NO_x de calderas auxiliares controlando las condiciones de combustión y, para las instalaciones nuevas o remodeladas, también mediante un diseño apropiado.
7. Reducción de las emisiones de SO₂ de las calderas auxiliares utilizando corteza, gas, fuel y carbón bajo en azufre, o controlando las emisiones de S con un lavador.
8. Limpieza de las calderas de recuperación, de las calderas auxiliares (en las que se incineren otros biocombustibles y/o combustibles fósiles) y de los gases de combustión del horno de cal con precipitadores electrostáticos eficaces, para mitigar las emisiones de polvo.

Una combinación de estas técnicas da lugar a un rango de emisiones para las fuentes principales según se indica en la Tabla 2.42. Los ejemplos que se muestran son fábricas de pasta con un buen funcionamiento en Europa que han aplicado un conjunto razonable de estas técnicas. En todos los casos, las emisiones gaseosas se limpian con equipo moderno de limpieza de gases, como precipitadores electrostáticos y lavadores, según los requisitos prácticos. Las emisiones relacionadas con el proceso cubren calderas de recuperación, hornos de cal, emisiones fugitivas y otros hornos (ej: para la incineración de TRS) ligados al proceso, si los hay.

Hay que destacar que la comparación directa de los niveles de emisiones entre los países es difícil debido a la incertidumbre sobre la base de datos (falta de armonización en los métodos de análisis y cálculo de las emisiones).

Emisiones notificadas a la atmósfera de fábricas de pasta kraft (medias anuales)											
Emisión de azufre gaseoso (SO ₂ y TRS) en kg S/ADt de pasta							Emisión de NO _x en kg NO _x /ADt (expresado como NO ₂)				
Fábrica	Calder recup.	Horno de cal ¹	Horno separado si lo hay	Caldera auxiliar ²	Emisione fugitivas	Total del proceso	Caldera de recuper.	Horno de ca	Horno separado si lo hay	Caldera auxiliar	Total del proceso
Aspa, Suecia	0,36	0,10	-	n.a.	0,37	0,83	1,29	0,20	-	n.a.	1,49
Iggesund, Suecia	0,40	0,11	0,14	0,30	0,23	0,89	1,50	0,13	-	0,82	1,63
Husum, Suecia ⁴	0,30	0,01	0,16	0,16	0,33	0,79	1,21	0,11	0,07	0,39	1,50
Mönsterås, Suecia	0,11	0,05	-	0,10	0,50	0,66	0,95	0,21	-	0,12	1,16
Östrand, Suecia	0,06	0,40	-	0,07	0,47	0,93	1,36	0,08	-	0,47	1,44
Skutskär, Suecia	0,14	0,10	0,09	0,02	0,43	0,76	1,26	0,19	-	0,37	1,45
Skärblacka, Suecia ⁴	0,17	0,05	0,05	0,10	0,03	0,29	0,66	0,23	-	0,72	0,89
Skoghall, Suecia ⁴	0,17	<0,01	0,05	0,49	0,30	0,52	1,14	0,15	0,13	0,53	1,42
Vallvik, Suecia	0,07	0,29	-	0,19	0,12	0,48	1,44	0,22	-	0,28	1,65
Varö, Suecia	0,06	0,29	-	0,04	0,49	0,74	1,51	0,26	-	0,20	1,79
Dynäs, Sweden ⁴	0,04	<0,01	0,24	0,22	0,45	0,74	1,24	0,22	-	0,52	1,66
Frövi, Suecia ⁴	0,03	0,01	0,06	0,26	0,21	0,31	1,01	0,21	0,29	0,99	1,51
Obbola, Suecia ⁴	0,11	<0,01	0,03	0,05	≈ 0,3	0,4	1,02	0,18	-	0,31	1,20
Bäckhammar, Suecia ⁴	0,14	0,01	-	0,25	≈ 0,2	0,4	1,22	0,04	-	0,37	1,26
Huelva, España	0,41	0,67	-	0,17	n/d.	1,08	0,88	0,06	-	0,31	0,94
Pöls AG, Austria	0,04	<0,01	-	-	0,009 ⁶	0,04	1,6	0,45	-	-	2,05
Stora Celbi, Portugal	0,06	0,02	0,02	0,62	n/d.	0,10	1,02	0,17	0,19	0,37	1,38
Enocell, Finlandia ⁵	0,011	0,133	0,029	0,015	0,125	0,30	1,186	0,171	0,164	0,292	1,52
Oulu, Finlandia ⁴	0,046	0,006	0,292	-	0,050	0,39	0,810	0,270	-	-	1,08
Ääneskoski, Finlandia	0,380	0,059	-	-	0,095	0,53	1,748	0,101	-	-	1,85
Kaskinen, Finlandia	0,392	0,044	-	-	0,095	0,53	1,366	0,160	-	0,611	1,53
Sunila, Finlandia	0,433	0,061	0,012	0,313	0,298	0,80	1,029	0,275	0,042	0,404	1,35
Joutseno, Finlandia	0,036	0,012	-	-	0,719	0,77	1,013	0,168	-	0,261	1,18
Wisaforest, Finlandia	0,178	0,030	0,069	0,189	0,082	0,36	0,864	0,326	0,403	0,758	1,59
n/d. = no hay datos disponibles; "≈" significa que las cifras son estimativas, principalmente de informes anteriores; n.a. = la fábrica no tiene caldera auxiliar											
Notas explicativas:											
1. El azufre gaseoso es principalmente SO ₂ -S. Normalmente sólo se emiten cantidades muy pequeñas de H ₂ S (normalmente por debajo de 10 mg H ₂ S/Nm ³)											
2. Las emisiones de las calderas auxiliares no se incluyen en las cifras de "total del proceso"											
3. Las emisiones fugitivas son principalmente compuestos de azufre reducido (TRS). Esta emisión normalmente no es monitorizada regularmente por las fábricas de pasta química europeas (No obstante, en Finlandia, las emisiones de TRS se monitorizan regularmente en todas las fábricas de pasta kraft). Las cifras reportadas incluyen estimaciones de estas emisiones, basadas en las monitorizaciones realizadas más recientemente.											
4. Fábricas integradas de pasta y papel											
5. Emisiones en 1998											
6. Todas las emisiones difusas relevantes se recogen en gran medida y son por lo tanto despreciables. Sólo en caso de mantenimiento o averías se liberan ocasionalmente emisiones difusas. Las emisiones de TRS son las contribuciones de las calderas de recuperación y hornos de cal.											

Tabla 2.42: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados en algunas fábricas de pasta con buen funcionamiento existentes en Europa (año de referencia: 1997). La lista de fábricas es una selección de plantas de las que se hallaban disponibles o se facilitaron datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. Contiene más bien fábricas de pasta de distintos países europeos en los que se produce pasta. Los datos se derivan de informes medioambientales de las empresas para 1997, comunicaciones personales, el informe del SEPA 4294 "Emisiones de la Industria Forestal al agua y a la atmósfera, cantidades de residuos y consumo de energía, 1997" (sólo en sueco) y estadísticas del Instituto Finlandés del Medio Ambiente.

Debe tenerse en cuenta el equilibrio entre distintas emisiones gaseosas (SO_2 , TRS, NO_x) y el proceso de recuperación en sí, evaluándolo detenidamente al determinar los rangos de emisiones. Según el tipo de medidas específicas aplicadas e integradas en el proceso y el carácter técnico de la fábrica de pasta, generalmente pueden alcanzarse las siguientes emisiones del proceso a la atmósfera asociadas con el uso de las MTD:

Parámetros	Unidades	Fábricas de pasta kraft blanqueada y sin blanquear
TSP	kg/ADt	0.2-0.5
SO_2 como S	kgS/ADt	0.2-0.4
NO_x como NO_2	kg/ADt	1.0-1.5
TRS como S	kgS/ADt	0.1-0.2

Tabla 2.43: Niveles de emisiones del proceso de preparación de pasta asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles (no se incluyen las emisiones de las calderas auxiliares). Las emisiones relacionadas con el proceso incluyen calderas de recuperación, hornos de cal, emisiones fugitivas y hornos separados (ej: para incineración de TRS) relacionados con el proceso, si los hay. No se distinguen los valores para fábricas de pasta kraft blanqueada y sin blanquear, dado que no hay diferencias técnicas significativas a considerar.

La Tabla 2.43 debe leerse junto con las siguientes explicaciones adicionales. Las concentraciones de emisiones que se dan hacen referencia a medias diarias y a condiciones estándar de 273 K, 101,3 kPa y gas seco. El contenido en oxígeno de referencia es el 5% para hornos de cal y el 5% para las calderas de recuperación.

Emisiones de polvo: en fábricas de pasta kraft, las emisiones de partículas son controladas por los precipitadores electrostáticos y a veces también por lavadores de SO_2 . Las emisiones de TSP en calderas de recuperación entre 30 - 50 mg/ Nm^3 o 0,2 – 0,5 kg TSP/ADt (con un caudal de gas de 7000 - 9000 m^3 /ADt) se consideran como MTD. Generalmente, este nivel sólo puede alcanzarse con calderas de recuperación modernas utilizando precipitadores electrostáticos. Las calderas de recuperación antiguas alcanzan estos niveles cuando se aplican precipitadores electrostáticos y lavadores. Sin embargo, los lavadores se aplican principalmente para la eliminación del SO_2 . La cifra de 100-150 mg polvo/ m^3 es alcanzable en muchas fábricas existentes que no tienen lavador.

Con un lavador de SO_2 después del precipitador electrostático, pueden alcanzarse emisiones de unos 15 mg/ Nm^3 .

Para hornos de cal, en general pueden alcanzarse 30 - 50 mg/ Nm^3 o 0,03 – 0,05 kg/ADt (con un caudal de gas de 1000 m^3 /ADt) utilizando un precipitador electrostático.

Emisiones de SO_2 : si los cambios en el combustible o el funcionamiento no producen suficiente reducción de las emisiones de SO_2 , la eliminación de los óxidos de azufre de los gases de combustión mediante absorción en un líquido alcalino se considera MTD. La eficacia de eliminación de SO_2 está normalmente por encima del 90%.

- Con calderas de recuperación equipadas con un lavador se consiguen emisiones de SO_2 de 10 - 50 mg S/ Nm^3 o 0,1–0,4 kg S/ADt. Las calderas de recuperación que trabajan con un alto contenido de materia seca en el licor negro tienen emisiones muy bajas de SO_2 , normalmente por debajo de 0,1 kg S/ADt o de 5-10 mg S/ Nm^3 .
- Los niveles de emisión de SO_2 del horno de cal dependen principalmente del combustible utilizado, del azufre en el lodo calizo y de si también se alimentan GNC al horno. Un horno

a fuel sin alimentación de GNC alcanza 5-30 mg SO₂/Nm³ o 0,005–0,03 kg SO₂/ADt. Un horno a fuel con alimentación de GNC puede alcanzar 150-300 mg SO₂/Nm³ o 0,1–0,3 kg SO₂/ADt. Según la cantidad de azufre (GNC) aplicada en el horno de cal, puede requerirse un lavador. Otra opción para la reducción de SO₂ sería escoger un lugar distinto del horno de cal para la incineración de GNC que no fuera el horno de cal, o utilizar un combustible que contuviera menos azufre.

Emisiones de NO_x: la emisión de óxidos de nitrógeno puede controlarse a través del diseño de los quemadores (quemadores bajos en NO_x) y la modificación de las condiciones de combustión (métodos primarios).

- El diseño de la caldera de recuperación (sistemas de alimentación de aire por etapas) puede dar lugar a concentraciones relativamente bajas de NO_x. La caldera de recuperación es sin embargo responsable de la mayor contribución a la emisión total de NO_x, debido a la gran cantidad de licores que se queman en ella. Un mayor porcentaje de materia seca en el licor negro puede producir un ligero aumento de las emisiones de NO_x. Los niveles de emisiones alcanzables son del orden de 80 - 120 mg NO_x/Nm³ (40 - 60 mg NO_x/MJ) o 0,7 – 1,1 kg NO_x/ADt respectivamente. La producción de vapor de proceso está entre unos 13 y 18 GJ/ADt de pasta.
- El horno de cal es también una fuente de emisión de NO_x en las fábricas de pasta kraft, debido a la alta temperatura de combustión. En los hornos de cal, el tipo de combustible también influye sobre la formación de NO_x. Se miden niveles más altos de NO_x con combustión a gas que con combustión a fuel. En la combustión a fuel, la emisión de NO_x del horno de cal es del orden de 100 - 200 mg/Nm³ o 0,1 – 0,2 kg NO_x/ADt, mientras que los hornos con combustión a gas alcanzan 380 - 600 mg/Nm³ o 0,4 – 0,6 kg NO_x/ADt. La combustión de gases malolientes en el horno de cal puede también aumentar las emisiones de NO_x. Las posibilidades para disminuir las emisiones de NO_x ajustando los parámetros de funcionamiento del horno, la forma de la llama, la distribución del aire y el exceso del oxígeno son limitadas, pero pueden conducir a una ligera reducción de la formación de NO_x (de un 10 - 20%).
- Un horno separado para la combustión de TRS agrega unos 0.1 - 0.2 kg NO_x/ADt.

Los métodos secundarios, como la reducción no catalítica selectiva (SNCR), no están siendo utilizados.

Emisiones de TRS (gases malolientes): los gases malolientes de la fábrica de pasta se recogen y se tratan de diversas maneras dependiendo de la concentración y del volumen de los gases. Las corrientes de gases malolientes pueden dividirse en gases concentrados y diluidos. Los sistemas para el tratamiento de gases malolientes concentrados incluyen un sistema de refuerzo, que se activa cuando hay alteraciones, durante el mantenimiento u otros tiempos muertos del sistema normal. Los métodos de tratamiento para los gases malolientes son la incineración y el lavado alcalino. Hay diversas opciones para la incineración de gases malolientes: hornos de cal, incineradores especiales o calderas de recuperación.

- Cuando se incineran gases malolientes concentrados de bajo volumen en el horno de cal, el azufre es parcialmente absorbido. Las emisiones de TRS del horno de cal son controladas mediante un lavado eficaz del lodo calizo y el control de las condiciones de combustión. Puede alcanzarse un nivel por debajo de 15 mg H₂S/Nm³ (10% O₂) con un moderno filtro de cal. Si se requiere una ulterior reducción de las emisiones de TRS, debe instalarse un lavador alcalino después del precipitador electrostático. Esto puede reducir las emisiones de H₂S hasta 1,5 mg/Nm³ pero lleva asociado un elevado consumo de álcali.

- La incineración de gases malolientes concentrados en un incinerador especial transforma los TRS en emisiones de SO₂. Por lo tanto, el incinerador debe estar siempre equipado de un lavador.
- La incineración de gases concentrados en la caldera de recuperación realizada con un alto contenido de sólidos conduce a emisiones muy bajas de azufre, tanto SO₂ como TRS.
- Los gases malolientes diluidos de gran volumen pueden ser enviados a la caldera de recuperación, donde se mezclan en el aire de combustión secundario o terciario o se queman junto con TRS concentrados en un horno especial separado. En hornos de cal, los gases malolientes pueden mezclarse en el aire secundario.

Además del sistema de tratamiento de gas escogido, las emisiones finales de TRS vienen determinadas por el número de unidades que están conectadas con el sistema de recogida del gas y la disponibilidad del sistema de tratamiento, incluyendo sistemas de refuerzo. Las emisiones fugitivas de TRS liberadas consisten principalmente en gases malolientes diluidos no recogidos. La disponibilidad depende del sistema de tratamiento de gases, del número y tipo de sistemas de refuerzo y de la monitorización y control del sistema. Puede conseguirse una alta disponibilidad del sistema de tratamiento de gases, por ejemplo, mediante lo siguiente:

- Uso de un incinerador especial con lavador de SO₂ como unidad principal y mediante el uso del horno de cal o de un lavador alcalino como primer incinerador de refuerzo y de una antorcha como segundo refuerzo.
- Incineración de los gases concentrados y diluidos en la caldera de recuperación y uso del horno de cal como primer incinerador de refuerzo y de una antorcha como segundo refuerzo.

Calderas auxiliares

Según el balance energético real de la fábrica, el tipo de combustibles externos usados y el destino de posibles biocombustibles como corteza y residuos de madera, adicionalmente hay emisiones atmosféricas de las calderas auxiliares a considerar. Los niveles de emisión asociados con las MTD de calderas auxiliares que incineran biocombustibles propios y diversos combustibles fósiles se indican en la Tabla 2.44. Las emisiones totales a la atmósfera son muy específicas de cada instalación (ej: tipo de combustible, fábrica de pasta integrada o pasta comercial, producción de electricidad). Hay que destacar que muchas fábricas utilizan mezclas de combustibles.

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (ej: corteza)
mg S/MJ de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50-100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO _x /MJ de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 -60 ²	60 -100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/Nm ³	10 - 30 ⁴ al 6% O ₂	10 - 40 ⁴ al 3 % O ₂	10-30 al 3% O ₂	< 5 al 3% O ₂	10 - 30 ⁴ al 6% O ₂
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas con combustión a fuel o carbón dependen de la disponibilidad de fuel y carbón bajo en azufre. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; sólo instalaciones grandes. 4) Valores alcanzados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos. 5) Cuando se utiliza un lavador; sólo aplicable a instalaciones grandes.					

Tabla 2.44: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTD para distintos combustibles

Hay que destacar que las calderas auxiliares, dentro de la industria de la pasta y el papel, son de un tamaño muy variable (desde 10 a más de 200 MW). Para las más pequeñas solamente, el uso de combustible bajo en azufre y técnicas de combustión puede aplicarse a unos costes

razonables, mientras que para las instalaciones grandes también deben aplicarse medidas de control. Esta diferencia se refleja en la Tabla 3.19. El rango más alto se considera MTD para instalaciones más pequeñas y se consigue cuando sólo se aplican medidas de calidad de combustible y medidas internas; los niveles más bajos (entre paréntesis) están asociados con medidas de control adicionales como SNCR y lavadores, y se consideran como MTD para las instalaciones más grandes.

En una fábrica de pasta no integrada moderna, el calor generado del licor negro y de la incineración de corteza excede la energía requerida para todo el proceso de producción. Sin embargo, se requerirá fuel en determinadas ocasiones como el arranque, y también, en muchas fábricas de pasta, en el horno de cal.

Residuos sólidos

1. La minimización en la medida de lo posible de la generación de residuos sólidos y la recuperación, reciclaje y reutilización de estos materiales.
2. Recolección separada de las fracciones residuales en origen y, en caso necesario, almacenaje intermedio de residuos / desechos para permitir una manipulación apropiada de los restantes residuos.
3. Incineración de todo el material orgánico no peligroso (corteza, residuos de madera, lodo efluente, etc.) en una caldera auxiliar diseñada especialmente para la combustión de combustibles húmedos con bajo valor calorífico (como por ejemplo calderas de lecho fluidizado).
4. Uso externo de residuos / desechos como sustitutos en la industria forestal, la agricultura u otras industrias, si es posible.

Cabe destacar que hay poca información detallada y fiable disponible sobre las cantidades alcanzables de residuos sólidos. Hay falta de datos estadísticos y en Europa se utilizan distintos términos para la diversas fracciones de residuos. Algunos países reportan solamente residuos sólidos - principalmente residuos sólidos inorgánicos - que ya no pueden ser reciclados o ser reutilizados, sino que deben ser desechados en vertedero. Esto implica que todos los residuos orgánicos que tienen un valor calorífico razonable, o que pueden incinerarse sin el riesgo de emisiones peligrosas en la caldera auxiliar de una fábrica de pasta, están excluidos ya de las cantidades indicadas de residuos sólidos (corteza y residuos de madera, lodo primario y lodo biológico del tratamiento de aguas residuales). Por lo tanto, los residuos sólidos desechados en vertedero son principalmente las cenizas de la caldera, los sedimentos de caustificación, el lodo calizo, el lodo del licor verde, algunos desechos de corteza y madera y distintos tipos de residuos de limpieza y desperdicios.

Por lo tanto, es difícil presentar valores alcanzables sobre la cantidad de residuos sólidos no peligrosos. Para dar una indicación sobre la cantidad de residuos sólidos que cabe esperar en las fábricas de pasta kraft que aplican MTD, en la Tabla 2.45 se indican algunos ejemplos de los tipos principales de residuos sólidos para desecho en vertedero. Se supone que la corteza y otros residuos de madera, así como el lodo mixto del tratamiento de aguas residuales, se utilizan para la producción de energía en la caldera auxiliar. Las cantidades de residuos se indican en kilos secos por tonelada de producto final (MS 100%).

En todas las fábricas de pasta se genera una pequeña cantidad de residuos peligrosos. En esta categoría se incluyen residuos de aceite y grasa, aceites hidráulicos y de transformador usados, baterías de desecho y otros equipos eléctricos de desecho, disolventes, pinturas, residuos con biocidas y productos químicos, etc. Normalmente representan 0,05-0,1 kg/t de producto.

Ejemplos	Tipo de residuo	Cantidad [kg MS/ADt]	Total [kg MS/ADt]
Fábrica de pasta kraft blanqueada comercial	- Cenizas - Sedimentos - Corteza, residuos de madera etc. - Desechos	2,0 10,0 3,4 0,3	15
Fábrica de pasta kraft blanqueada comercial	- lodo calizo - Sedimentos de licor verde - Lodo biológico y primario - Desechos (manipulación de madera) - Cenizas de madera - Otros	9,7 8,1 8,7 2,1 3,9 10,5	45
Fábricas integradas de pasta kraft sin blanquear	No especificado	No hay datos disponibles	30-50 (rango de 3 ejemplos)

Tabla 2.45: Ejemplos de cantidades de residuos sólidos para desecho en vertedero de algunas fábricas de pasta kraft. [Datos de ejemplos de fábricas e informes medioambientales]

Medidas de ahorro de energía

Para reducir el consumo de vapor vivo y de energía eléctrica, y aumentar la generación de vapor y de energía eléctrica internamente, hay disponibles una serie de medidas.

- 1) Medidas para una elevada recuperación de calor y un bajo consumo de calor:
 - Alto contenido de materia seca del licor negro y de la corteza.
 - Alta eficacia de las calderas de vapor, por ejemplo con bajas temperaturas de los gases de combustión.
 - Sistema eficaz de calefacción secundaria, por ejemplo agua caliente a unos 85 °C.
 - Sistema de agua en circuito cerrado.
 - Planta de blanqueo relativamente bien cerrada.
 - Alta concentración de pasta (técnica MC).
 - Pre-secado de la cal.
 - Uso de calor secundario para calentar las naves.
 - Buen control de proceso.
- 2) Medidas para un bajo consumo de energía eléctrica:
 - Consistencia lo más alta posible de la pasta en tamizado y limpieza.
 - Control de velocidad de los distintos motores grandes.
 - Bombas de vacío eficaces.
 - Dimensionado adecuado de conducciones, bombas y ventiladores.
- 3) Medidas para una elevada producción de energía eléctrica:
 - Alta presión de la caldera.
 - Presión del vapor de salida de la turbina de contrapresión todo lo baja que sea posible técnicamente.
 - Turbina de condensación para la producción de electricidad a partir del exceso de vapor.
 - Turbinas de alta eficacia.
 - Precalentamiento del aire y del combustible alimentado a las calderas.

Muchas veces, el efecto de estas medidas de ahorro de energía no puede demostrarse fácilmente en forma de valores porque las mejoras dependen de la situación de la fábrica de pasta antes de que las medidas fueran aplicadas.

En muchos países europeos, la información sobre balances energéticos de las fábricas integradas de pasta y papel es poco accesible al público. En Europa se utilizan diversos esquemas de

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/ADt	Consumo de electricidad (neto) en MWh/ADt	Comentarios
Pasta kraft blanqueada no integrado	10-14 GJ/ADt Unos 2-2.5 GJ/ADt pueden usarse para generación de electricidad, dando un exceso de calor de 0,5-1,0 GJ/ADt.	0,6 – 0,8 MWh/ADt Las fábricas de pasta modernas son energéticamente autosuficientes	Una fábrica de pasta integrada reportó un consumo de calor de 10 GJ/ADT en la fábrica de pasta (pasta con una consistencia del 2,2%) ¹
Pasta kraft blanqueada integrado y papel fino sin estucar	14 - 20 GJ/ADt ²⁾ Hay un exceso de calor de 4,0-4,5 GJ por tonelada de pasta blanqueada bombeada que se utiliza en la fábrica de papel	1,2 - 1,5 MWh/ADt Puede haber un exceso de energía eléctrica de la fábrica de pasta de 0,1 - 0,15 MWh por tonelada de pasta blanqueada bombeada que se utiliza en la fábrica de papel	El exceso de energía eléctrica, si lo hay, depende de si hay instaladas turbinas de contrapresión.
Kraftliner integrado, sin blanquear	14.0 - 17.5 GJ/ADt Hay un exceso de calor de 1,5-2 GJ por tonelada de pasta sin blanquear bombeada que se utiliza en la fábrica de papel	1,0-1,3 MWh/ADt Hay un exceso de energía eléctrica de la fábrica de pasta de 0,15 - 0,2 MWh por tonelada de pasta sin blanquear bombeada que se utiliza en la fábrica de papel	
Papel para sacos integrado, sin blanquear	14,0 - 23 GJ/ADt	1,0 - 1,5 MWh/ADt	
Las unidades pueden convertirse de MWh a GJ con los factores 1 MWh = 3,6 GJ y 1 GJ = 0,277 MWh Notas: 1) Incluido el tratamiento con lodo activado 2) El secado del papel consume más energía que el secado de pasta.			

Tabla 2.46: Consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción por tonelada de producto. [Datos de Jaakko Pöyry, 1998, SEPA report 4712, Finnish BAT report, 1998, datos de estudios de fábricas]

divulgación. Los balances energéticos también dependen hasta cierto punto de las condiciones locales. Por lo tanto los rangos de consumo de energía de las fábricas de pasta indicados en la Tabla 2.46 deben tomarse sólo como indicación sobre los requisitos aproximados de calor y energía de proceso en fábricas de pasta kraft energéticamente eficientes. Es posible que se agreguen otros ejemplos de fábricas de pasta kraft energéticamente eficientes con sus condiciones específicas en una próxima revisión de este BREF.

Uso de productos químicos

1. Disponibilidad de una base de datos para todos los productos químicos y aditivos utilizados, con información de la composición de las sustancias, su degradabilidad, su toxicidad para las personas y el medio ambiente y su potencial de bioacumulación.
2. Se aplica el principio de sustitución, es decir, utilizar productos menos peligrosos si los hay disponibles.

2.5 Técnicas emergentes

Actualmente se están desarrollando una serie de nuevas tecnologías prometedoras que producen una reducción de las emisiones o un ahorro de energía. Es posible que las mejoras en el comportamiento medioambiental no hayan sido en todos los casos la fuerza impulsora principal, pero juegan un papel importante en el desarrollo. Algunas de estas técnicas se describen en las subsecciones que siguen. Este capítulo incluye el tratamiento de aspectos ambientales que han adquirido importancia más recientemente, así como programas de investigación relacionados con el desarrollo de soluciones más ecológicas para la producción de productos de pasta y de papel de alta calidad.

2.5.1 Gasificación del licor negro

Descripción: La gasificación es una técnica prometedora adecuada para las fábricas de pasta para la generación de un exceso de energía eléctrica. La producción de un gas combustible a partir de los diversos combustibles (carbón, residuos de madera, licor negro) es posible mediante diversas técnicas de gasificación. El principio de la gasificación del licor negro es pirolizar el licor negro concentrado en una fase inorgánica y una fase gaseosa mediante reacciones con el oxígeno (aire) a altas temperaturas. Se han propuesto una serie de procesos de gasificación para el licor negro. Conceptualmente, se engloban en dos categorías. Una es la gasificación a baja temperatura, en la que el gasificador funciona por debajo del punto de fusión de las sales inorgánicas (700-750 °C). Los lechos fluidizados son convenientes para un proceso de gasificación a baja temperatura, y se utilizan en todos los procesos a baja temperatura en desarrollo. La otra categoría incluye los procesos que funcionan por encima del punto de fusión y utilizan un baño de agua para enfriar y disolver las sales fundidas del sodio. En este contexto se describe un ejemplo de proceso de gasificación:

Ejemplo: El proceso Chemrec

En la planta de Frövifors (Suecia), el licor negro se toma de la planta de evaporación en la fábrica de pasta y se calienta a 130 a 135°C usando vapor indirecto. El licor negro tiene aproximadamente un 65 % de contenido de materia seca. El licor calentado entra entonces en la primera parte del proceso Chemrec, que es un gasificador.

El licor negro se introduce en el gasificador, donde es atomizado por aire a alta presión (12 bares) y rociado en la parte superior del reactor. El flujo de aire principal requerido para el proceso se presuriza a 0,5 bares y se precalienta desde 80 hasta 500 °C. La atmósfera en la cámara está a unos 950 °C, y el licor negro atomizado forma gotitas pequeñas que se queman parcialmente. Los compuestos inorgánicos del licor negro se convierten en pequeñas gotitas de fundido de sulfuro sódico y carbonato sódico, y esta neblina cae a través del reactor hasta el baño de enfriamiento, que es una parte integral de la unidad del reactor. Los compuestos orgánicos se convierten en un gas combustible que contiene monóxido de carbono, metano e hidrógeno.

Las gotitas de fundido y el gas combustible se separan al ponerlas simultáneamente en contacto directo con un líquido de refrigeración en el baño de enfriamiento que reduce la temperatura a 95°C. Las gotitas del fundido se disuelven en el lavado diluido para formar una solución de licor verde que se bombea al tanque de disolución situado bajo la caldera de recuperación. Algo de licor verde diluido se recircula al baño de enfriamiento. Se utiliza un tamiz antes de la bomba para recoger partículas pequeñas y gotitas de fundido sin disolver.

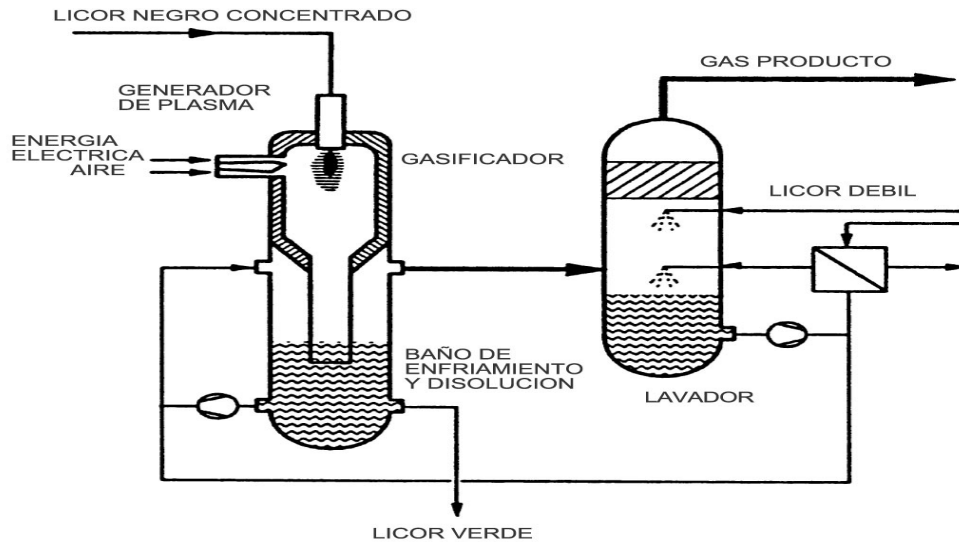


Figura 2.13: El proceso Chemrec con un gasificador y un baño de enfriamiento y disolución para la producción de licor verde, y con un lavador del gas de licor verde para la absorción del sulfuro de hidrógeno

Una de las oportunidades más interesantes que ofrecen los procesos de gasificación del licor negro es el funcionamiento de una turbina de gas conjuntamente con una turbina de vapor en un ciclo combinado según se muestra en la Figura 2.14 y la Figura 2.15. La dificultad a superar es sobre todo la limpieza del gas, para evitar trastornos en la turbina de gas.

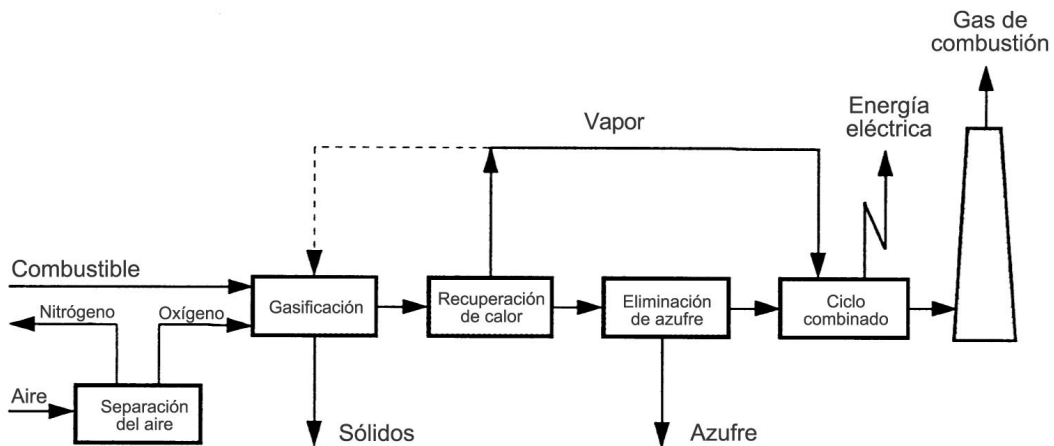


Figura 2.14: Gasificación integrada con ciclo combinado (IGCC)

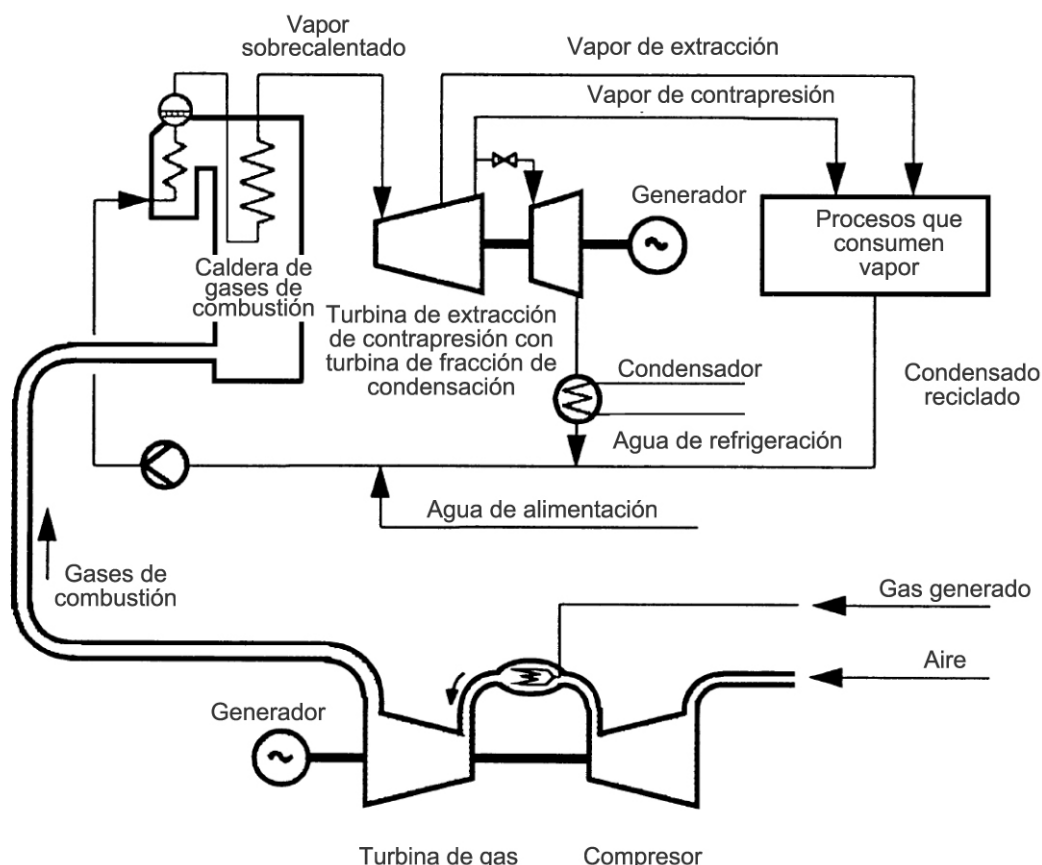


Figura 2.15: Ciclo combinado para la producción de energía eléctrica mediante una turbina de gas y una turbina de vapor con fracción de condensación.

Estado de desarrollo: la primera planta de demostración de la gasificación del licor negro que utiliza el concepto Chemrec ha funcionado en la fábrica de Frövifors en Suecia desde 1991. Un gasificador presurizado de demostración de este tipo se halla también en funcionamiento en Skoghall en Suecia. Este tipo de proceso también se aplica comercialmente en los EE.UU. desde 1997.

La tecnología de Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (IGCC) puede introducirse sólo de forma gradual en la industria de papel, principalmente debido al periodo de vida de las actuales calderas de recuperación. Además, los generadores de gas solo se diseñarán inicialmente para capacidades más pequeñas que las de una fábrica grande de pasta. Antes del año 2010, se espera que la tecnología de IGCC desempeñe sólo un papel marginal en el conjunto de la industria de la pasta kraft. Puede ser interesante para algunas fábricas de pasta en las que la caldera de recuperación es el cuello de botella en la producción y un aumento de la capacidad de recuperación de productos químicos solucionaría estas limitaciones.

Implicaciones medioambientales: las posibles ventajas de los gasificadores de licor negro son:

- Aumento de la generación de energía eléctrica mediante el uso del ciclo combinado (turbina de gas más turbina de vapor). Los cálculos teóricos de balance muestran que un concepto de IGCC basado en el licor negro puede alcanzar una eficacia energética de alrededor del 30%, calculada sobre el valor calorífico del licor negro. Esto puede compararse con un 12-13% para una caldera de recuperación convencional. Sin embargo, al mismo tiempo la eficacia global (energía + vapor) disminuiría entre un 5 % y un 75 %. Así, la producción de vapor de proceso disminuye. En una situación con un exceso de vapor, esto aparece como una opción interesante para una mayor producción de energía para exportación.

- Bajas emisiones a la atmósfera.
- Permite aumentar la producción a las fábricas de pasta cuya capacidad está restringida debido a limitaciones de la caldera de recuperación. El sistema es particularmente beneficioso en las fábricas que tienen una capacidad de preparación de la pasta disponible que no se utiliza, y donde modificaciones de la línea de fibra agregan más materia seca al sistema de recuperación (ej: preparación de pasta con índice kappa bajo, deslignificación con oxígeno, un mayor reciclaje de efluentes del sistema de blanqueo).

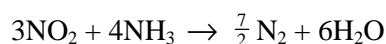
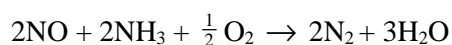
Si la industria de pasta kraft introdujera la tecnología de IGCC, tendría un potencial de producción de energía eléctrica de unos 1700 kWh/ADt en comparación con el nivel actual de 800 kWh/ADt. Es decir, el aumento de potencial corresponde a unos 900 kWh/ADt. Al mismo tiempo, la generación de calor se reduciría en unos 4 GJ/ADt, que es más que el exceso típico en una fábrica de pasta kraft moderna.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía: [SEPA-Report 4713-2,1997]

2.5.2 Uso de SNCR en la caldera de recuperación

Descripción: el proceso NOxOUT es uno de los diversos procesos existentes que utilizan el principio de Reducción No Catalítica Selectiva (SNCR, en sus siglas en inglés) para reducir las emisiones de NO_x, a través de la reducción térmica con amoníaco de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno, según las siguientes ecuaciones químicas:



Si se utiliza urea, se produce la siguiente reacción primaria neta en la que se forma amoníaco:



El agente reductor en un ensayo a plena escala productiva en Suecia fue una solución acuosa de urea potenciada químicamente. El proceso utiliza el horno como 'reactor químico' y no requiere ningún equipo adicional después de la caldera. La reacción ocurre normalmente dentro de un estrecho margen de temperatura, alrededor de 1000°C. Cuando la temperatura es demasiado alta se produce más NOx. Cuando la temperatura es demasiado baja, se forma amoníaco. En el proceso de NOxOUT, se amplía el margen de temperatura y los potenciadores químicos suprimen la subproducción de amoníaco. El amoníaco (desprendimiento de NH₃) producido por reacciones secundarias no deseadas y el consumo de productos químicos son los principales parámetros a la hora de optimizar y operar el proceso NOxOUT.

Estado del desarrollo: una compañía sueca de pasta kraft encargó una prueba a plena escala productiva del proceso patentado NOxOUT en una de sus calderas de recuperación existentes. Durante el periodo de la prueba, la caldera funcionó entre un 95 y un 105 % del nivel continuo máximo. Se instalaron una serie de tomas de inyección de productos químicos de reducción a distintos niveles. El proyecto ha demostrado que la reducción térmica de los óxidos del nitrógeno mediante el proceso NOxOUT puede aplicarse con éxito a calderas de recuperación.

Implicaciones medioambientales: en comparación con otros procesos de combustión, la caldera de recuperación tiene un bajo nivel de emisiones de óxidos del nitrógeno. Los niveles típicos de óxidos de nitrógeno observados están entre 50 y 80 mg NO_x/MJ. A pesar de las concentraciones relativamente bajas de NO_x de los gases de combustión, la caldera de recuperación es la fuente más importante de emisiones de NO_x en una fábrica de pasta kraft (debido a los altos caudales de gas). Así, las medidas de tratamiento de los gases de combustión aplicadas a la caldera de recuperación tendrían mayor efecto sobre las emisiones totales. Además, cabe esperar un aumento de las emisiones de NO_x en las calderas de recuperación modernas de alta eficacia, causado principalmente por la demanda de un mayor contenido de materia seca del licor negro y las cargas más elevadas del horno.

El análisis, suponiendo un estequiometría de 1:1, indica el siguiente comportamiento del proceso NO_xOUT:

- Un nivel medio de NO_x sin NO_xOUT de 80 mg/m³n (m³ normalizados, gas seco a un 3% O₂).
- Un nivel medio de NO_x con NO_xOUT de unos 55 mg/m³n (una reducción del 30%).
- Un ligero aumento de amoníaco (desprendimiento) del orden de 3-4 mg/m³n (estequiometría 1:1).

Según la estequiometría aplicada, puede alcanzarse una reducción de NO_x de hasta un 50% (estequiometría 2:1) pese al bajo nivel de NO_x sin tratamiento (aunque ligado a un aumento de desprendimiento de amoníaco). No se observaron trastornos u otros efectos negativos sobre el funcionamiento de la caldera de recuperación durante las pruebas a plena escala productiva. No se observó ningún efecto negativo en el ciclo de recuperación de productos químicos. Los costes operativos totales son relativamente bajos. La modificación requerida en la caldera de recuperación puede hacerse durante una parada normal de mantenimiento.

El uso de la urea en procesos de SNCR puede causar eventualmente problemas de corrosión, debido a la posible formación de subproductos corrosivos. Por consiguiente, por motivos de seguridad, en Suecia se ha recomendado evitar el uso de la inyección de urea en calderas de recuperación. Debido a ello, la empresa sueca de pasta kraft ha realizado varios nuevos ensayos utilizando NH₃ (gaseoso o líquido) en lugar de urea, obteniendo reducciones de NO_x de 20 - 50% (estequiometría entre 1:1 y 2:1) con desprendimientos de NH₃ variables. Una reducción de NO_x de un 30 % parece alcanzable con un desprendimiento de NH₃ aceptable. La compañía está planeando un ensayo a largo plazo antes tomar una decisión sobre si realizar o no la instalación final. Los costes de inversión para instalación en las calderas de recuperación son hoy mucho más bajos en comparación con las cifras indicadas a continuación, y se estima que están por debajo de 1 MEuros (utilizando NH₃ líquido).

Consideraciones económicas: los costes de inversión para una instalación completa del proceso de NO_xOUT, en una caldera de la recuperación similar a la de la fábrica de pasta de la prueba (carga de licor negro: 1600 de materia seca/día), ascienden a 2,2 – 2,8 MEuros. Los costes operativos para el sistema incluyen el suministro de productos químicos (urea y potenciadores), la electricidad, el calor usado para condensar el agua inyectada y la mano de obra. De éstos, el factor más influyente es el precio de la urea. Es difícil dar una estimación significativa de los costes operativos debido a la variación en los precios mundiales. No obstante, durante el periodo de la prueba en Suecia, la urea tenía un coste de unos 154 Euros/t, y los costes operativos totales calculados para la caldera de recuperación en cuestión fueron del orden de 1 a 1,4 Euros/kg de NO_x reducido.

Bibliografía: [Löfblad, 1991]

2.5.3 Eliminación de agentes quelantes mediante un tratamiento biológico alcalino suave o mediante el uso de “riñones”

Descripción: los agentes quelantes, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA), se han utilizado desde hace muchos años en industria de la pasta y el papel. Se aplican debido a sus buenas propiedades secuestrantes, es decir, su capacidad para suprimir la actividad de los iones de metales de transición disueltos sin precipitación (en adelante se utilizará la abreviatura "Q" para ambos). Estos iones metálicos pueden catalizar la descomposición del agente de blanqueo peróxido de hidrógeno en radicales. El blanqueo sin cloro (TCF) actualmente es sólo posible tratando la pasta con Q antes de la etapa del peróxido de hidrógeno. Por consiguiente, se registran concentraciones crecientes de Q en las aguas residuales generadas en la producción de pastas TCF. En el análisis de las aguas residuales de una fábrica de pasta TCF que producía pasta kraft comercial se detectó un 25-40% de carga de Q. Esto corresponde a un contenido de Q de 10 y 15 mg Q/l en el efluente a una carga de 2 kg de Q por tonelada de pasta. Aunque el EDTA es no tóxico para los mamíferos en concentraciones ambientales, hay una cierta preocupación acerca del potencial del EDTA para removilizar los metales pesados tóxicos fuera de los sedimentos y las dificultades para biodegradar esta sustancia. A continuación se discuten experiencias sobre el uso y el destino del EDTA.

Opción 1: el tratamiento biológico con y sin sistemas de lodo activado utilizado comúnmente en la industria de la pasta y el papel tiene éxito en la reducción de la DQO y la DBO de los efluentes. Sin embargo, el sistema no puede reducir perceptiblemente el EDTA del efluente de la fábrica. Se ha encontrado que el EDTA es resistente a la biodegradación aerobia en la planta de lodo activado funcionando en condiciones "normales" (pH 7). Además, el EDTA no se fija por adsorción sobre el lodo, de modo que el EDTA pasa a través de las plantas de tratamiento sin degradación notable. Un estudio reciente [Virtapohja, 1997] investigó la biodegradación del EDTA en una planta de lodo activado a plena escala productiva en condiciones alcalinas suaves (pH 8 - 9). Se obtuvo una reducción media del EDTA de alrededor del 50% (alrededor del 10% a pH 7).

Opción 2: otra opción técnica para reducir el consumo y la descarga de los Q usados antes de las etapas de peróxido en fábricas de pasta TCF es el uso de “riñones”. Una fábrica sueca de pasta pondrá en funcionamiento un “riñón” para la recuperación del EDTA de los efluentes de la etapa de Q a finales de 1998. Se espera que el consumo de EDTA pueda reducirse en un 65% con TCF. En la fábrica sueca de pasta kraft en cuestión se planea aplicar el sistema Kemira NetFloc, que ha demostrado ser una herramienta muy eficaz para eliminar sustancias problemáticas, como sustancias extractivas y metales, de los filtrados de la pasta y el papel.

En el sistema Netfloc [Rampotas, 1996] se aumenta el pH y se dosifica carbonato para precipitación. Los metales ligados al EDTA (o al DTPA) se liberan y precipitan. Se agrega al filtrado seleccionado un óxido de polietileno (PEO) de peso molecular alto para que se produzca la floculación. En la aplicación real, se elabora una solución en agua del PEO en una unidad de preparación de polímeros, y la solución de PEO se dosifica en un conducto de filtrado. La reacción de floculación entre el PEO y las sustancias extractivas es rápida y finaliza antes de que el filtrado salga del conducto. Se ha descubierto recientemente que los flóculos de PEO-resina recogen cualquier sustancia sin disolver en el filtrado. Esto significa que las sales metálicas precipitadas (ej: hidróxidos, sulfatos) acabarán en el lodo de resina. La operación final incluye la separación del lodo de resina del filtrado, que se realiza generalmente por medios mecánicos, como por ejemplo una unidad de flotación. El filtrado tratado con el Q recuperado se reutiliza en el proceso, y el lodo de resina puede bombearse al filtro de lodo de licor verde o quemarse en la caldera de corteza directamente o después de su deshidratación en una prensa. El principio del uso este “riñón” se muestra en la Figura 2.16.

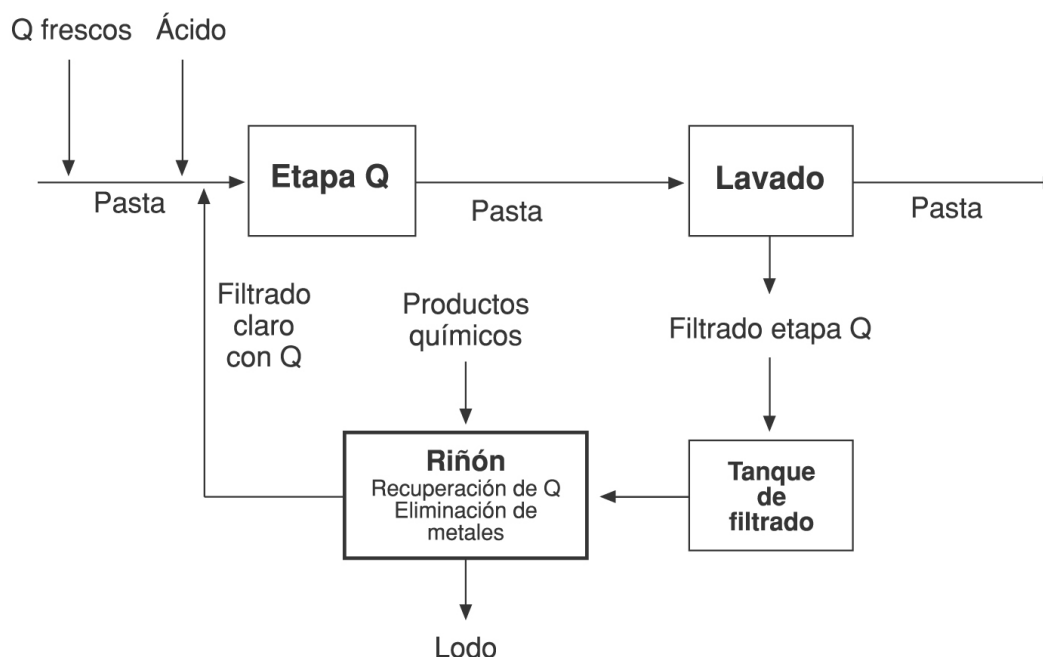


Figura 2.16: Recuperación de agentes quelantes en los filtrados de la planta de blanqueo mediante un "riñón"

Reduciendo la cantidad de metales que entran en la planta del blanqueo, se requiere una carga más pequeña de agentes quelantes antes de la etapa del peróxido. Además, la recuperación de Q en sí reduce el consumo necesario. Los índices de reducción previstos están en torno al 80% para el calcio, el manganeso y el hierro. La recuperación de Q da lugar a una menor carga de Q frescos. Así, en el efluente se registrarán niveles más bajos de complejos metálicos.

Estado del desarrollo: la biodegradación del EDTA en plantas de lodo activado en condiciones alcalinas parece prometedora. La tratabilidad de las aguas residuales que contienen EDTA de las plantas de blanqueo en plantas de lodo activado en condiciones alcalinas moderadas ha sido confirmada por investigaciones, tanto en experimentos de laboratorio [C.G. van Ginkel, 1997 a+b] y plantas de lodo activado a plena escala productiva.

Probablemente se requiere información detallada sobre los complejos del EDTA y la influencia del tiempo de retención del lodo, de la temperatura etc. para mejorar la evaluación de la eliminación del EDTA de las aguas residuales de las fábricas de papel (los complejos Fe(III)EDTA son bien conocidos como recalcitrantes, las sales de Mn y Ca del EDTA son más fácilmente biodegradables). Un tiempo bajo de retención del lodo y el complejo Fe(III)EDTA pueden explicar que la eliminación sea sólo parcial. Por otra parte, se ha reportado la fotodegradación del complejo FeEDTA [Kari, 1996], es decir, el FeEDTA es el único complejo del EDTA que puede ser transformado fotoquímicamente en aguas superficiales. En zonas continuamente soleadas, el FeEDTA se degradará probablemente en las aguas receptoras de los efluentes.

Recientemente se ha puesto en marcha la primera aplicación a plena escala productiva del sistema Kemira NetFloc para la recuperación del EDTA de los efluentes de la planta de blanqueo. Las experiencias operativas no se hallan disponibles.

Implicaciones medioambientales: en una planta de lodo activado a plena escala productiva en condiciones alcalinas moderadas (pH 8 - 9) se obtuvo una reducción media del EDTA de alrededor del 50% (alrededor del 10% a pH 7). Los resultados también indicaron que el ajuste del pH a 8 - 9 con óxido de calcio (dosificación de unos 90 mg CaO/l) no interfirió con el

funcionamiento normal de la planta de lodo activado. Las concentraciones de EDTA en las muestras con biodegradación acelerada se mantuvieron relativamente constantes (2 - 4 ppm).

La biodegradación del EDTA aumenta la emisión de nitrógeno. La mayor degradación del EDTA en plantas de lodo activado es por consiguiente un beneficio claro, no sólo por motivos medioambientales sino también como medio para aumentar el nivel de nitrógeno nutriente, que normalmente es deficitario en las aguas residuales de las fábricas de pasta y papel.

Consideraciones económicas: los costes adicionales de la biodegradación del EDTA en plantas de lodo activado en condiciones alcalinas son causados principalmente por el consumo de CaO.

No hay disponibles datos sobre economía para la aplicación del sistema Kemira NetFloc.

Bibliografía:

[Virtapohja, 1997], [Rampotas, 1996], [van Ginkel, 1997a], [van Ginkel, 1997b], [Kari, 1996].

2.5.4 Mayor cierre del sistema en combinación con el uso de “riñones”

Descripción: dado que es principalmente la planta de blanqueo la que constituye la parte abierta de la fábrica, se han hecho los esfuerzos por reducir al mínimo la cantidad de lignina que va al blanqueo final. La integración de los filtrados en los sistemas de recuperación sigue siendo un área problemática. Los filtrados tienen que ser reciclados dentro de la planta de blanqueo para reducir el volumen de líquido filtrado. Esto produce una acumulación de sustancias y de elementos que no son del proceso (ENP) en las etapas de blanqueo, con problemas asociados como alto consumo de productos químicos y deposición de sólidos. Todavía se requieren “riñones” para purgar el sistema de tales sustancias, tanto en la planta de blanqueo como en la recuperación de productos químicos.

En un proyecto en curso de la Comisión Europea [Tomani, 1997] la intención es continuar la investigación de las distintas posibilidades de reutilizar los filtrados de la planta de blanqueo. Con referencia a la Figura 2.17 se investigarán los puntos siguientes:

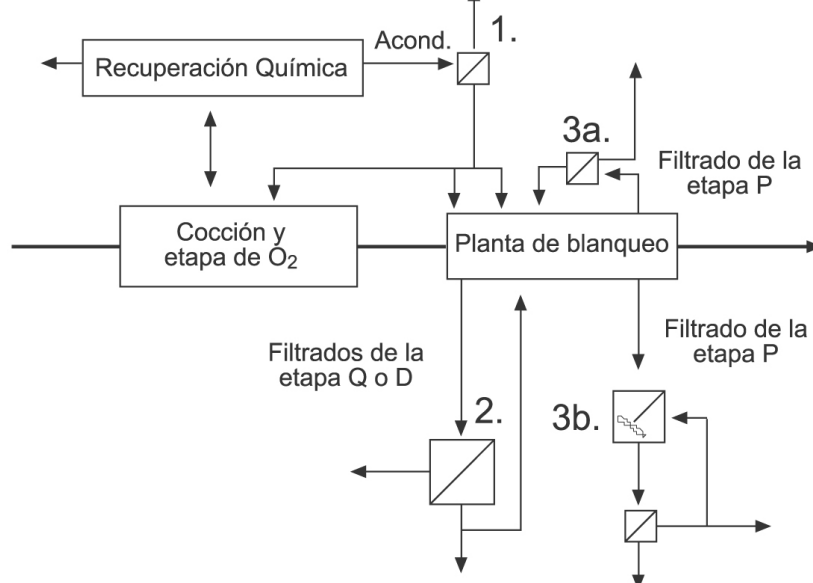


Figura 2.17: “riñones” en fase de desarrollo en un proyecto actual de la UE sobre métodos de separación con circuito cerrado en la fabricación de pasta kraft blanqueada

1. La reutilización de condensados de la evaporación del licor negro como agua de lavado en el blanqueo o como otra agua de proceso. Es esencial que este condensado se utilice si quiere conseguirse un bajo consumo de agua. Un problema importante es eliminar el olor debido a impurezas menores.
2. Los filtrados ácidos (filtrados de las etapas de Q o D) y los filtrados neutros de la planta de blanqueo son las principales fuentes de elementos que no son del proceso (ENPs) como Al, Si, P, Ca, Ba, Mn etc., que deben ser purgados. El objetivo es desarrollar un paso de cristalización / precipitación junto con una unidad de evaporación separada y determinar el mejor uso del agua recuperada.
3. Por lo que respecta a los filtrados alcalinos, el objetivo es:
 - 3a. Desarrollar membranas minerales adecuadas para nanofiltración que puedan usarse para reducir las cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas de la etapa de blanqueo con peróxido de hidrógeno. También se pretende:
 - 3b. Estudiar la posibilidad de combinar la filtración con membrana con la biodegradación para la destrucción de compuestos orgánicos.

Por último, se utilizarán técnicas de simulación de proceso para determinar las consecuencias para el agua, productos químicos y en algunos aspectos también los balances energéticos, cuando los métodos propuestos de separación se integran en el proceso. También se evaluará el riesgo de depósitos.

Un amplio proyecto de investigación sueco recientemente iniciado sobre "El potencial de la producción de pasta y papel como proceso productor de energía y auténticamente ecocíclico" (nombre abreviado: "La fábrica de pasta ecocíclica") [Ecocyclic pulp mill, 1999] tiene como objetivo proponer soluciones básicas ecológicas para el cierre creciente de los procesos de pasta kraft, permitiendo un uso eficaz del potencial energético de la biomasa. Las razones para cerrar los flujos de líquido en la fábrica de pasta y papel no son crear una fábrica "totalmente cerrada", sino más bien:

- Eliminar virtualmente las descargas de material orgánico e inorgánico al agua.
- Facilitar la separación de los elementos que no son del proceso de los caudales de recirculación.
- Reducir al mínimo la dilución de la energía liberada dentro del sistema.

La idea principal del proyecto es reducir las pérdidas de calor que pueden convertirse teóricamente en energía útil. Aunque ahora es posible que una fábrica moderna de pasta kraft blanqueada sea totalmente independiente de fuentes de energía externas, grandes cantidades de calor de bajo nivel todavía son liberadas por el sistema con las emisiones y descargas a la atmósfera y al agua. La conversión de este calor de bajo nivel ofrece un enorme potencial futuro y es el foco de este programa. El cierre y la presurización crecientes facilitarían la generación de energía de una calidad suficientemente alta para su uso externo. Entonces, puede ser posible convertir la fábrica de pasta kraft en un suministro importante de energía neta. Existen diversas oportunidades para la conversión del calor inútil en energía útil, incluyendo un menor consumo de agua. Por ejemplo, una reducción en el consumo de agua, mediante el cierre, desde 40 m³ por tonelada de pasta a menos de 10 m³ por tonelada de pasta liberaría en teoría aproximadamente unos 15 GJ por tonelada de pasta para uso externo. Debe precisarse que actualmente no hay tecnología disponible que pueda facilitar el aprovechamiento de más de una fracción de este potencial. Hoy en día, cuando se reducen las descargas acuosas de la pasta, el exceso del calor debe ser eliminado a través de torres de refrigeración, dado que no hay otras alternativas económicas disponibles. El desafío es convertir el calor residual en un recurso valioso.

El programa de investigación abarca, entre otros, proyectos sobre "química del proceso" y "procesos de separación". Este proyecto se centra en el modo en el cual deben tratarse las sustancias que perturban el proceso, y que se concentran en caso de mayor cierre, con el fin de evitar problemas tales como incrustaciones, descomposición química, mayor consumo de energía y peor calidad del producto. El uso de los "riñones" para la eliminación de estas sustancias de proceso es por lo tanto de gran interés. Las técnicas de membrana están mostrando un potencial prometedor para separar sustancias orgánicas e inorgánicas nocivas de las corrientes de proceso, facilitando así un mayor cierre del sistema. La tecnología de membrana puede por lo tanto desempeñar un papel clave en un sistema futuro. Otra posibilidad puede ser eliminar los elementos que no son del proceso antes del digestor.

Según otros resultados obtenidos en el trabajo realizado hasta ahora, un buen ejemplo de un uso más eficiente de la energía es la preevaporación de los filtrados de la planta de blanqueo, donde el calor se toma del calor residual de la evaporación del licor negro. La preevaporación de los filtrados de la planta de blanqueo puede combinarse con la separación con membrana, produciendo una menor demanda energética.

La gasificación presurizada del licor negro (ver Sección 2.5.1) tiene el potencial de aumentar la producción de electricidad en alrededor de un 100% en comparación con la caldera de recuperación convencional. Sin embargo, el proceso de gasificación sería menos complicado y requeriría menos capital si el proceso de cocción se realizara sin utilizar azufre. La cocción sin azufre es por lo tanto un área interesante para el futuro.

Estado del desarrollo: hay varios proyectos de investigación que investigan diversos aspectos del concepto de fábrica de ciclo cerrado.

En el concepto hacia una fábrica de ciclo cerrado para la pasta blanqueada, pueden encontrarse áreas donde se ha introducido nueva tecnología que facilita esta meta, pero también áreas donde es necesario más desarrollo. El cierre total del sistema durante la producción de pasta – que en teoría permite la realización de una fábrica de pasta sin efluentes – no es todavía posible porque los elementos que no son del proceso que entran en el proceso, sobre todo con la madera aunque también con los productos químicos y el agua de proceso, se acumulan en el proceso y deben purgarse fuera del sistema.

Implicaciones medioambientales: los progresos hacia fábricas de ciclo cerrado apuntan a eliminar virtualmente las descargas de material orgánico e inorgánico al agua y a reducir al mínimo la dilución de la energía liberada dentro del sistema.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía:

[Tomani, 1997], [Ecocyclic pulp mill, 1999].

2.5.5 Proceso Organosolv

Descripción: en la última década, muchos esfuerzos de investigación tuvieron como objetivo el desarrollo de nuevos procesos de desintegración de la pasta. Hay varios procedimientos de cocción poco convencionales en desarrollo, que abren considerables esperanzas. Los objetivos principales de estos nuevos procesos son:

1. Reducción de la contaminación (bajo consumo de agua, pasta TCF, sin azufre).

2. Proceso de cocción más simple y amplia recuperación en ciclo cerrado de los productos químicos de cocción.
3. Uso mejorado de la madera de la materia prima (alto rendimiento, uso alternativo de los componentes de la madera, etc.).
4. Aplicación a todas las especies de madera y consecución de buenas propiedades de la pasta.
5. Menores costes de inversión.

Los nuevos procesos de preparación de la pasta se basan en los disolventes orgánicos (proceso Organosolv). Para algunos de estos procesos cabe esperar que las emisiones gaseosas de dióxido de azufre y los compuestos olorosos se reduzcan, gracias al uso de tecnología sin azufre. Todos los nuevos procesos de preparación de pasta se proponen conseguir una fábrica con circuito cerrado mediante la recuperación directa del disolvente después de la etapa de cocción mediante destilación y la combustión de los componentes de madera disueltos o su uso alternativo como sustancia química de base para diversos productos. Este concepto intenta solucionar los problemas ecológicos de los procesos actuales de preparación de la pasta, así como la mejora de la economía de dicha preparación.

En la Tabla 2.47 se recogen los nuevos procesos de preparación de pasta en desarrollo que muestran cierto potencial para uso industrial y que han alcanzado al menos la escala de la planta experimental [Ministerio de Alimentación, Agricultura y Gestión Forestal, 1997]. Los sistemas se comparan en diversos aspectos. También se recogen los principales parámetros de proceso y las consecuencias para el medio ambiente previstas de los procesos Organosolv. A efectos de comparación, las tablas incluyen también algunos datos sobre preparación de pasta kraft modificado.

Los nuevos procesos de preparación de pasta pueden clasificarse en basados en ácidos orgánicos, basados en alcohol / agua y procesos mixtos, que utilizan productos químicos de preparación de pasta inorgánicos y orgánicos.

Proceso de preparación de pasta	Materia primas	Agentes químicos de cocción	Parámetros del proceso de cocción	Índice kappa antes del blanqueo
ASAM	Fibra larga Fibra corta Plantas anuales	Sulfito sódico (alcalino) alcohol	175- 185°C 11 - 14 bares	13 - 20
FORMACELL	Fibra larga Fibra corta Plantas anuales	Acido acético Acido fórmico	160 - 180°C	2 - 10
MILOX	Fibra corta Plantas anuales	Acido fórmico Peróxido de hidrógeno	60 - 80/ 90 - 110°C	30 - 35
SULFATE Modificado	Fibra larga Fibra corta Plantas anuales	Hidróxido sódico Sulfuro sódico	155 - 175°C 8 bares	10 - 20

Tabla 2.47: Comparación de los procesos de preparación de pasta Organosolv con el de preparación de pasta kraft modificado

Materias primas, agentes químicos y condiciones de cocción, índice kappa alcanzable tras la cocción [Ministerio de Alimentación, Agricultura y Gestión Forestal, 1997]

Estado del desarrollo: Un estudio recientemente publicado sobre oportunidades de mercado de diversos procesos de preparación de pasta Organosolv en Alemania [Ministerio de Alimentación, Agricultura y Gestión Forestal, 1997] concluyó que el proceso ASAM y Milox está ya maduro para producción pero esto no ha sido confirmado hasta ahora por experiencias a plena escala productiva. El proceso Formacell todavía no ha llegado a la etapa en la que podría construirse una fábrica a plena escala productiva.

Puesto que no se ha aplicado con éxito ninguno de los procesos Organosolv propuestos (una planta Organocell a plena escala productiva en Kehlheim, Alemania, tuvo que ser cerrada al no poder solucionarse los problemas que se presentaron) es demasiado pronto emitir un juicio concluyente sobre las alternativas.

Implicaciones medioambientales: para nuevos procesos de preparación de pasta, la información sobre el impacto ambiental es fragmentaria y se deriva principalmente de experiencias a escala piloto. Que las ventajas puedan conseguirse en plantas a plena escala productiva es hasta cierto punto dudoso, o al menos no ha sido probado.

Consideraciones económicas: en el proceso Organosolv, el agua es sustituida por disolventes orgánicos mucho más costosos. En la mayoría de los procesos se aumenta el porcentaje del licor, y además se utilizan disolventes en el lavado de la pasta. La economía de estos procesos depende en gran medida del porcentaje de recuperación del disolvente, que debe exceder el 99%. Un requisito que ha sido subestimado en el desarrollo de muchos procesos es la disponibilidad de tecnología fiable y probada. Las fábricas de pasta son instalaciones que requieren fuertes inversiones, y el riesgo de la aplicación de un nuevo proceso debe minimizarse.

Bibliografía: [Ministerio de Alimentación, Agricultura y Gestión Forestal, 1997], [Young, 1998].

3 EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTA AL SULFITO

La producción de pastas al sulfito es mucho más pequeña que la producción de pastas kraft, y las pastas al sulfito se utilizan más en aplicaciones especiales en la fabricación de papel que como pasta alternativa a las pastas kraft. Se fabrica muy poca pasta al sulfito sin blanquear, y el rendimiento es un poco más alto, lo que puede atribuirse al pH más bajo en la cocción.

Los motivos principales de una aplicabilidad más limitada de las pastas al sulfito son los siguientes:

- no es posible utilizar pino como materia prima en el proceso de cocción ácida, lo que limita las materias primas base del proceso al sulfito,
- las características de resistencia de las pastas, medidas por el fabricante de papel, no son generalmente tan buenas como las de la pasta kraft, aunque para algunas pastas especiales estas características pueden ser igualmente buenas o incluso mejores,
- los problemas medioambientales han sido, en muchos casos, más costosos de solucionar, lo que ha reducido los costes de competitividad en comparación con la fabricación de pastas kraft (ej: regulación de pH de los condensados de evaporación, minimización de las emisiones de azufre y eliminación de compuestos orgánicos).

El proceso al sulfito se caracteriza por su alta flexibilidad en comparación con el proceso kraft, que es un método muy uniforme que sólo puede realizarse con licor de cocción fuertemente alcalino. En principio, en el proceso al sulfito puede usarse toda la gama de pH, cambiando la dosificación y la composición de los productos químicos. Así, el uso del proceso al sulfito permite la producción de muchos diversos tipos y calidades de pastas para una amplia gama de usos. El proceso al sulfito puede dividirse, según el ajuste de pH, en diversos tipos, y la Tabla 3.1 detalla los principales aplicados en Europa.

Proceso	pH	Base	Reactivo activo	Temperatura de cocción °C	Rendimiento pasta %	Aplicaciones
(Bi)sulfito ácido	1-2	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}	$\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, H^{+} , HSO_3^{-}	125-143	40-50	Pasta soluble, tisú, papel de impresión, papel especial
Bisulfito (Magnefite)	3-5	Mg^{2+} , Na^{+}	HSO_3^{-} , H^{+}	150-170	50-65	Papel de impresión, papel tisú
Sulfito neutro (NSSC) ¹	5-7	Na^{+} , NH_4^{+}	HSO_3^{-} , SO_3^{2-}	160-180	75-90	Papel para ondular, pasta semiquímica
Sulfito alcalino	9-13.5	Na^{+}	SO_3^{2-} , OH^{-}	160-180	45-60	Pasta tipo kraft

Tabla 3.1: Principales procesos de preparación de pasta al sulfito en Europa, según [Uhlmann, 1991]

El proceso de cocción al sulfito se basa en el uso del dióxido de azufre (SO_2) y de una base – calcio, sodio, magnesio o amonio en medio acuoso. La base específica utilizada afectará las opciones disponibles dentro del proceso por lo que se refiere al sistema de recuperación de productos químicos y de energía, así como al consumo de agua. Actualmente, el uso de la base

¹ La pasta Semiquímica al Sulfito Neutro (NSSC) es el tipo más común de pasta semiquímica que se produce mediante una combinación de fabricación de pasta química y mecánica. La madera puede ser utilizada sin descortezado previo. En el proceso, las astillas de madera son cocidas parcialmente para debilitar los enlaces entre las fibras y la lignina. Las astillas se tratan luego mecánicamente en un refino. Algunas plantas independientes en Europa no tienen recuperación de productos químicos, mientras que algunas fábricas practican la "recuperación cruzada", en la que el licor de cocción gastado se quema en una caldera de recuperación de una fábrica de pasta kraft adyacente.

relativamente barata cálcica, está anticuado, ya que los productos químicos de cocción no pueden recuperarse. En Europa todavía hay una fábrica (FR) que utiliza amonio como base. El proceso de fabricación de pasta al sulfito dominante en Europa es el proceso al sulfito de magnesio, mientras que algunas fábricas utilizan sodio como base. Las bases de magnesio y de sodio permiten la recuperación química. Los lignosulfonatos generados en el licor de cocción pueden utilizarse como materia prima para producir diversos productos químicos. Debido a su importancia en términos de capacidad y la cantidad de fábricas en funcionamiento en Europa, en lo sucesivo el texto se concentrará en el proceso al sulfito de magnesio.

3.1 Procesos y técnicas aplicados

La fabricación de pasta al sulfito consiste en tres secciones principales: la línea de fibras, la recuperación de productos químicos y energía (excepto en el proceso al sulfito cálcico en el que no es posible la recuperación pero en el que el licor de cocción consumido puede evaporarse y utilizar los componentes para otros fines) y el tratamiento externo de aguas residuales. Al igual que en la fabricación de pasta kraft, algunos sistemas auxiliares como la manipulación de desechos, la fabricación de agentes químicos de blanqueo y la generación de energía auxiliar están conectados con los departamentos principales.

En muchos aspectos, los procesos kraft y al sulfito tienen semejanzas, especialmente con respecto a las posibilidades de adoptar diversas medidas internas y externas para reducir emisiones al medio ambiente. Debido a este número de semejanzas, sólo algunos pasos de proceso de la tecnología de fabricación de pasta al sulfito se discuten detalladamente. Para los pasos de proceso cuyos principios son similares o incluso idénticos al proceso kraft, se hace referencia a los párrafos correspondientes. Esto es así para:

- La manipulación de madera (ver Sección 2.1.2-2.1.3).
- El lavado y el tamizado (Sección 2.1.5).
- El tamizado de la pasta blanqueada (Sección 2.1.8).
- El secado (Sección 2.1.9, sólo para pasta comercial).

Para estos capítulos sólo se dan algunas observaciones acerca de en qué medida la fabricación de pasta al sulfito difiere de la situación descrita para la fabricación de pasta kraft. Aparte de eso, nos centramos en las diferencias entre el proceso kraft y el proceso al sulfito y en la fabricación de pasta al sulfito de *magnesio*, ya que éste es el principal proceso al sulfito que se practica actualmente en Europa.

Las diferencias principales entre los dos procesos químicos, desde un punto de vista medioambiental, se encuentran en la química del proceso de cocción, el sistema de recuperación de productos químicos y la menor cantidad de secuencias de blanqueo requeridas gracias a la mejor blancura inicial de la pasta al sulfito. Además, el proceso al sulfito tiene un menor problema de olor inherente en comparación con el proceso kraft, que tiende a estar rodeado de olores desagradables en la vecindad de la fábrica. Estas diferencias dan lugar a distintos rangos de emisiones y a algunas diferencias con respecto a las técnicas de eliminación aplicadas.

Las principales etapas de la fabricación de pasta al sulfito de magnesio se muestran en la Figura 3.1.

Una fábrica de pasta al sulfito incluye normalmente las etapas de manipulación de madera, cocción, lavado, depuración y blanqueo, así como tratamiento del agua bruta, preparación de agentes químicos de blanqueo, máquina de secado (opcional), sistema de recuperación y sección de calderas.

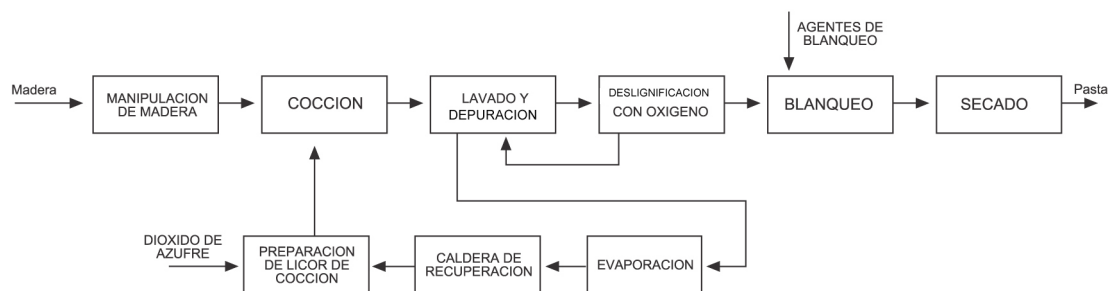


Figura 3.1: Principales procesos unitarios de fabricación de pasta al sulfito de magnesio [CEPI, 1997b]

3.1.1 Manipulación de madera

La madera es la materia prima y se suministra en forma de tronco o de astillas (chip) de serrería. El descortezado es necesario cuando la madera se entrega a la fábrica como troncos sin descortezar. Una cierta cantidad de madera puede ser suministrada como astillas de serrería. El descortezado de la madera para pasta se realiza en tambores en los que debido al roce entre los troncos que giran y el agua a presión los descortezan. Después del descortezado se producen astillas de madera a partir de los troncos y se criban y almacenan en grandes montones de viruta antes de su alimentación a la etapa de proceso siguiente. Las astillas de serrería y otras astillas externas requieren solamente criba y almacenaje en la manipulación de madera.

Los desechos de corteza del troceado y tamizado posterior son residuos sólidos generados en esta etapa de proceso. Generalmente, la mayor parte de los mismos se escogen, se desecan y se incineran para la recuperación de energía en una caldera especial de corteza y residuos de madera (ver 4.3.11).

3.1.2 Cocción y deslignificación de pasta sin blanquear

En la fabricación de pasta sin blanquear convencional, la lignina se extrae de la madera usando un licor de cocción concentrado con sulfito de magnesio y bisulfito de magnesio como componentes activos. En la etapa de cocción, las astillas de madera y los licores se cargan en un digestor discontinuo, donde se realiza la cocción a temperatura y presión elevadas. Cuando se alcanza un contenido de lignina residual deseado (medido como índice kappa), el contenido se transfiere a un tanque de descarga y se repite el ciclo de cocción. La planta de digestores discontinuos consiste en una serie de recipientes a presión discontinuos, que funcionan según un cierto programa de cocción. La cocción puede también realizarse en un digestor continuo, pero esto se ha practicado mucho menos con el proceso al sulfito que con el proceso kraft (los principios son los mismos y se hace referencia a la Sección 2.1.4). En el proceso Magnefite (ver 3.1.7), la deslignificación de fibra larga (abeto) puede producir un índice kappa de 21-23 para mantener características aceptables de resistencia de la pasta. En la cocción con sulfito ácido, los valores comunes del índice kappa son de 14-22 para fibra larga y de 10-20 para fibra corta. El índice kappa puede reducirse más antes del blanqueo, mediante una etapa de oxígeno. La cocción al sulfito en dos etapas puede reducir el índice kappa a menos de 10. La cocción puede ampliarse más con el fin de producir una pasta especial para aplicaciones solubles, aunque a expensas del rendimiento.

Desde los digestores, la pasta se transfiere a tanques de descarga. Desde estos tanques, la pasta se bombea luego a la sección de lavado.

3.1.3 Depuración y lavado de pasta sin blanquear

Después de la cocción, la pasta se lava en filtros de tambor o prensas de tornillo y se depura con tamices presurizados y centrifugas (centricleaners). El objetivo de la depuración es separar nudos

y haces de fibras de la corriente principal de pasta con una serie de equipos vibradores, filtración con tamices de presión y separación centrífuga de las fibras o de otras partículas con diversos pesos específicos (ver 2.1.5). El licor de cocción con su contenido de sustancia de madera disuelta se separa de la pasta, y se obtiene el denominado licor gastado o licor débil. Los desechos gruesos y otros del tamizado normalmente se desecan y se queman en la sala de calderas. Después de la depuración, la pasta se blanquea.

3.1.4 Deslignificación / blanqueo con oxígeno

La distinción hecha aquí entre la deslignificación y el blanqueo se refiere a que los efluentes de una etapa de blanqueo no pueden recircularse al sistema de recuperación de productos químicos, mientras que desde la deslignificación esto es posible. Por lo tanto, el oxígeno puede utilizarse como agente químico de deslignificación y blanqueo químico en la misma planta.

La deslignificación con oxígeno es más rara en el pasteado al sulfito que en el pasteado kraft, donde se utiliza de forma amplia y creciente. Sin embargo, hay una serie de plantas de sulfito en Europa que utilizan esta técnica para deslignificación adicional, reduciendo con ello el índice kappa alrededor de 10 unidades. Esto es principalmente debido al hecho que también sin deslignificación con oxígeno sólo se requiere una breve secuencia de blanqueo para alcanzar una adecuada blancura de las pastas. Además para la deslignificación con oxígeno se necesita un proceso presurizado y se requiere una base para aumentar el pH hasta condiciones alcalinas. La base química utilizada tiene que ser compatible con los agentes químicos de cocción, es decir, para bisulfito de magnesio debe emplearse MgO. Sólo en ese caso el material orgánico disuelto durante la deslignificación con oxígeno podrá ser recuperado y conducido al sistema químico de recuperación sin cambios importantes en el proceso. Una fábrica en Alemania ha aplicado esta técnica, perdiendo con ello algunos puntos de blancura.

Sin embargo, se ha demostrado que es posible concentrar el efluente mediante ultrafiltración y quemar el concentrado en la caldera de corteza. Medida como DQO, la reducción es de alrededor del 50% de las descargas de sustancias orgánicas de la etapa de oxígeno.

Finalmente, la mayoría de las fábricas de pasta al sulfito están produciendo pasta TCF.

3.1.5 Blanqueo, tamizado y secado

El blanqueo en las fábricas de pasta al sulfito en Europa se realiza sin utilizar cloro molecular y, en muchas plantas de pasta al sulfito, el dióxido de cloro ya ni siquiera se utiliza como agente químico de blanqueo, es decir, la pasta fabricada es pues pasta TCF (totalmente sin cloro). Normalmente, como agentes químicos de blanqueo se utilizan oxígeno, hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno. Se agrega EDTA como complejante (0.5 - 2 kg/t). Los agentes químicos de blanqueo utilizados se compran generalmente a productores externos.

El blanqueo de la pasta aumenta sobre todo la blancura de la pasta, y en segundo lugar también elimina partículas no fibrosas y sustancias extractivas de la pasta. Al igual que en la fabricación de pasta kraft, el blanqueo de la pasta al sulfito se basa en métodos de eliminación de lignina y puede considerarse como una etapa continuada y selectiva de eliminación de lignina.

La eliminación de lignina por blanqueo se realiza en una secuencia de una o dos etapas de blanqueo en las que se agregan oxígeno y peróxido. En una secuencia de blanqueo de dos fases, en primer lugar la pasta se calienta hasta 60-80°C y se agrega hidróxido sódico, oxígeno y/o peróxido. La primera etapa de blanqueo reduce la lignina residual en un 45-55%. La pasta blanqueada se bombea entonces a filtros lavadores y en ocasiones se conduce a una prensa de doble tela con el fin de reducir el arrastre sustancias indeseables desde la primera etapa de blanqueo y para deshidratar más la pasta. En varias fábricas de sulfito europeas (Ahlfeld, Ehingen, Stockstadt, DE; Gratkorn, AU) la segunda etapa de blanqueo con peróxido (EP) se

Técnicas de cocción	kappa	Secuencias de blanqueo	DQO [kg/t]	Fábricas de ejemplo
Proceso magnefite	21-23	EOP-Q-EP-EP (HC)	90-115	Gratkorn, AU
Proceso magnefite	21-23	EOP-Q-EP-EP	100-120	Fábrica 2, SE
Proceso al sulfito	14-16	EOP-EP (HC)	50-60	Fábrica 3, DE
Proceso al sulfito	12-15	EOP-Q-EP (HC)	45-60	Fábrica 4, DE
Proceso al sulfito	11-13	EOP-Q-EP-EP	35-45	Fábrica 5, AU
Notas: 1) Los datos se derivan de comunicaciones personales. No puede garantizarse que todos ellos reflejen los últimos avances.				

Tabla 3.2: Ejemplos para distintas secuencias de blanqueo utilizadas en fábricas europeas de pasta al sulfito y descarga correspondiente de sustancias orgánicas de la planta de blanqueo medida como DQO

realiza como un blanqueo a alta consistencia (abreviatura simbólica: EP(HC) = 35 - 40% SS). Las ventajas del blanqueo de alta consistencia (HC) son el ahorro de energía (vapor) por la alta consistencia de la pasta, emisiones más bajas de DQO por las suaves condiciones de blanqueo, pérdidas bajas de pasta en la etapa de blanqueo y menor consumo de agentes químicos de blanqueo. Después de la segunda etapa de blanqueo, la pasta se diluye con agua y tiene lugar otro lavado. En el proceso al sulfito, la demanda específica de calor de proceso y de energía eléctrica para blanqueo TCF es más baja que la requerida para blanqueo ECF.

Las principales secuencias de blanqueo aplicadas en las fábricas europeas de pasta al sulfito se recopilan en la Tabla 3.2.

Después del blanqueo hay generalmente una depuración final de la pasta, y el rechazo se quema en la sala de calderas. La pasta que se venderá externamente (si no se utiliza para la fabricación de papel en el mismo centro) se seca, y la pasta restante se bombea a la fábrica de papel para la fabricación de diversas calidades de papel (papel fino, tisú, etc.). Las fábricas de pasta al sulfito son principalmente fábricas integradas que fabrican el papel en el mismo centro.

3.1.6 Sistema de Recuperación de Productos Químicos y Energía

La recuperación de productos químicos de cocción incluye la evaporación del licor consumido a licor concentrado, la combustión del licor concentrado y la preparación de ácido de cocción nuevo a partir de los productos químicos recuperados. El grado de recuperación del licor es por lo menos del 97%.

La recuperación de productos químicos de los procesos unitarios para pasta sin blanquear consta normalmente de los siguientes elementos principales:

- Lavado a contracorriente y evaporación del licor de cocción diluido.
- Incineración de los licores concentrados (biocombustible) en una caldera de recuperación donde puede producirse una cantidad sustancial de energía para generación de vapor y de energía de la fábrica de pasta.
- Durante la combustión se forma óxido de magnesio sólido (ceniza) y dióxido de azufre gaseoso. El óxido de magnesio se separa de los gases de combustión en electrofiltros y se convierte a hidróxido magnésico disolviéndolo en agua.
- Esta lechada se utiliza para absorber el dióxido y el trióxido de azufre de los gases de combustión de la caldera de recuperación y de los gases recogidos de los digestores, de los filtros y de los evaporadores, por medio de “scrubbers” venturi multietapa. El líquido de la purificación del gas residual se clarifica (sedimentación o filtración) y se refuerza con

dióxido de azufre de la combustión de azufre elemental en un quemador de azufre o mediante la adición de dióxido de azufre líquido. El ácido de cocción recién formado (bisulfito de magnesio) se bombea a la sección del digestor después de la separación de las partículas de hollín y otras impurezas sin disolver.

En la figura 3.2 [BMU Austria, 1995] se presenta una descripción de los circuitos de productos químicos, ilustrando los principales pasos de proceso y sus funciones.

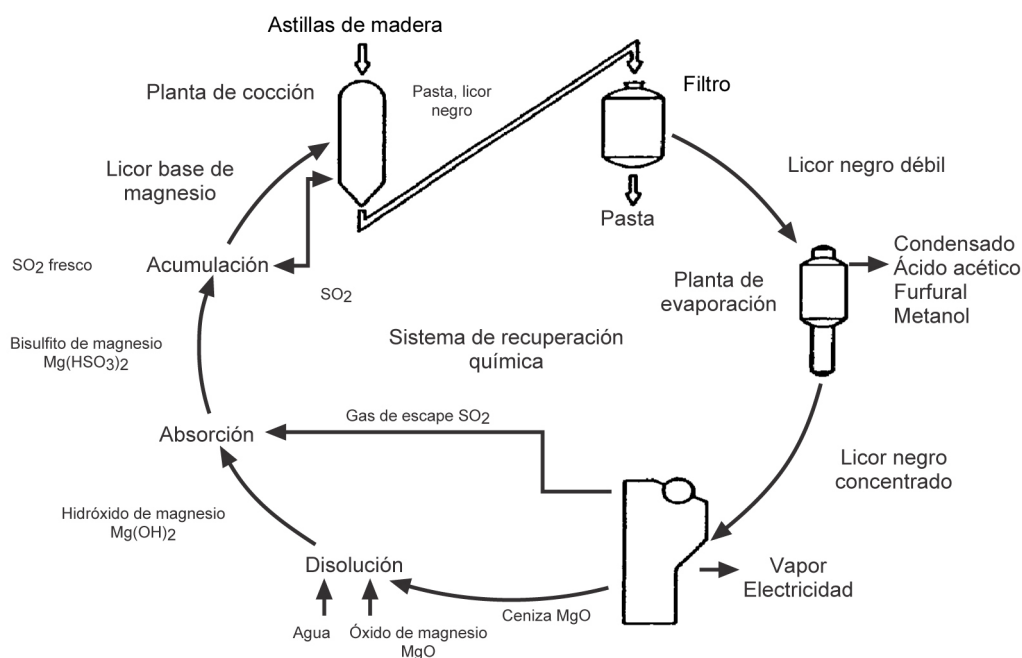


Figura 3.2: Ciclos de recuperación para una fábrica de sulfito

Las fábricas que se usan en el proceso con magnesio tienen dificultades para el reciclaje del agua de las etapas asociadas en las que se utiliza hidróxido sódico para controlar el pH. Una cuestión clave para las fábricas de sulfito es la separación de efluentes que contienen distintas bases químicas. Por ejemplo, puede que se necesite hidróxido sódico para alcanzar las condiciones requeridas de pH en algunas etapas y medidas de blanqueo. En tal caso no es posible conducir los efluentes de la planta de blanqueo de vuelta a la isla de recuperación, ya que hay que evitar que el sodio contamine el proceso de cocción a base de magnesio.

Junto a la recuperación de productos químicos de cocción, las calderas de recuperación producen vapor. Las fábricas de pasta al sulfito utilizan a menudo calderas auxiliares que queman corteza, fuel u otros combustibles. En estas calderas también pueden quemarse los nudos, los desechos y el lodo de la purificación de los efluentes. El vapor de las calderas es conducido a las turbinas de contrapresión donde se produce energía eléctrica.

3.1.7 Proceso magnetite

El proceso magnefite utiliza un rango de pH más alto, pH 3 - 5, que el proceso al sulfito ácido, que opera a un valor de pH de 1 - 2. Esto tiene como resultado condiciones de cocción más suaves con una mejora de las características de resistencia de la pasta, así como un rendimiento ligeramente más alto en comparación con el proceso al sulfito ácido. En Europa, para ambos procesos la base predominante que se utiliza es el magnesio. Hay dos diferencias técnicas importantes a considerar. En el proceso de magnefite, en la preparación del licor blanco, puede alcanzarse un valor de pH de 4 sin medidas de fortificación de SO₂. Por consiguiente, no es

necesario utilizar un tanque de almacenaje a presión para el dióxido de azufre. El SO_2 en el licor blanco está en forma de bisulfito. Entonces, los otros pasos de producción de pasta son similares al proceso de sulfito ácido. Los índices kappa de la pasta sin blanquear después de la cocción con magnefite son más altos que después de la cocción ácida. Con el proceso magnefite, pueden alcanzarse índices kappa del orden de 21 a 26 para la pasta papelera. Frente a este valor de kappa, pueden alcanzarse índices kappa de 12 a 16 al sulfito ácido (ej: Hallein y Neusiedler, AU; Ahlfeld, Stockstadt y Ehingen, DE). Por consiguiente, la blanqueabilidad de la pasta magnefite no es tan buena como con la pasta al sulfito ácido. Por lo tanto, son necesarias secuencias de blanqueo más largas para alcanzar una alta blancura. Esto causa cargas ligeramente más altas de DQO y DBO en los efluentes de las etapas de blanqueo. El proceso magnefite funciona en cuatro fábricas de pasta de papel en Europa (Nymölla y Utansjö, SE; hasta 1999 Hundsfos, NO; Gratkorn, AU).

3.1.8 Pasta semiquímica al sulfito neutro

El tipo más común de pasta semiquímica es la pasta semiquímica al sulfito neutro (NSSC). El proceso es una combinación de proceso químico y mecánico y tiene un alto rendimiento. La pasta se utiliza principalmente para producir fluting o “tripa”, la parte interna del cartón corrugado. La producción es alrededor del 80% para fluting. La madera puede ser utilizada sin descortezado previo. En el proceso, las astillas de madera se digieren parcialmente para debilitar los enlaces entre las fibras. Las astillas se tratan luego mecánicamente en un refino. Algunas de las plantas independientes no tienen recuperación de productos químicos. La recuperación cruzada es utilizada por muy pocas fábricas en Europa.

3.1.9 Pasta soluble al sulfito

En Europa, hay muy pocas empresas que fabrican pasta soluble al sulfito. En principio, el proceso es muy similar a la fabricación de la pasta al sulfito usada para la fabricación de papel. Se utilizan los mismos productos químicos que en el proceso común al bisulfito de magnesio. Por lo tanto, el sistema de recuperación de productos químicos y de energía es muy similar. Las diferencias principales pueden encontrarse en la cocción y el blanqueo. La finalidad de la cocción en la fabricación de pasta soluble al sulfito es alcanzar una viscosidad baja, es decir, una longitud baja de la cadena molecular de la celulosa. Esto se ajusta en la planta de cocción. Las semejanzas y las diferencias se discuten a continuación por medio de un ejemplo.

En una de las fábricas europeas de pasta soluble al sulfito (Austria, fabricación de fibras de viscosa), la deslignificación de fibra corta (haya) se lleva a un índice kappa de 4-7 antes del blanqueo. No hay efluentes antes de que la pasta entre en la planta de blanqueo. La secuencia de blanqueo de la planta se realiza en tres etapas: OPE - Z - P (blanqueo TCF).

En la primera etapa de blanqueo, consistente en deslignificación con oxígeno y peróxido y extracción alcalina, el índice kappa se reduce a 2 y se alcanza un contenido de α -celulosa del 91%. Se utilizan unos 50 kg NaOH/t de pasta (horno seco). Las emisiones de esta etapa de blanqueo (carga de DQO de unos 85 kg/t) se tratan en una planta de evaporación. Los concentrados se incineran en una caldera especial para sosa. Esto elimina el grueso de la carga contaminante de la planta de blanqueo.

La segunda etapa de blanqueo utiliza ozono como agente de blanqueo. La última etapa de blanqueo utiliza peróxido, que baja el índice kappa hasta 0,5 (>90% ISO, un contenido de α -celulosa > 91%). La carga de DQO de la segunda y tercera etapa de blanqueo es de 15 kg DQO/t antes de tratamiento y se purifica en un tratamiento de aguas residuales biológico (índice de reducción > 90%).

Además de la planta de blanqueo, la fuente principal de contaminación del agua son los condensados de la planta de evaporación. La fábrica de pasta de nuestro ejemplo extrae ácido

acético y furfural como productos valiosos de los condensados del evaporador, reduciendo así la carga de DQO de los condensados en un 75%. La carga de contaminación restante es 30 kg DQO/t, que se trata en el tratamiento biológico de aguas residuales (índice de reducción > 90%) junto con las otras corrientes parciales de aguas residuales.

La carga inicial de contaminación de las aguas residuales de las fábricas de pasta soluble al sulfito depende del valor de α -celulosa a alcanzar y de las medidas internas aplicadas para la reducción de emisiones. Un contenido más alto de α -celulosa corresponde a calidades de producto más altas. Un contenido más alto de α -celulosa en la pasta significa una dosificación más alta de NaOH. Esto tiene como resultado rendimientos más bajos y mayores cargas de contaminación en el agua. Por ejemplo, el uso de 90-100 kg NaOH/t de pasta para producir pasta con un contenido de α -celulosa del 92,5% doblaría la carga orgánica en los efluentes según se ha indicado arriba (y reduciría el rendimiento en un 5%).

La fabricación de la pasta soluble al sulfito es una combinación de deslignificación y acabado.

3.2 Nivel actual de emisiones y consumos

3.2.1 Esquema general de entradas y salidas

En la Figura 3.3 se presenta un esquema general de las entradas de materias primas y energía, así como la salida de productos, subproductos y las principales emisiones (emisiones, residuos, etc.) de la producción de pasta al sulfito.

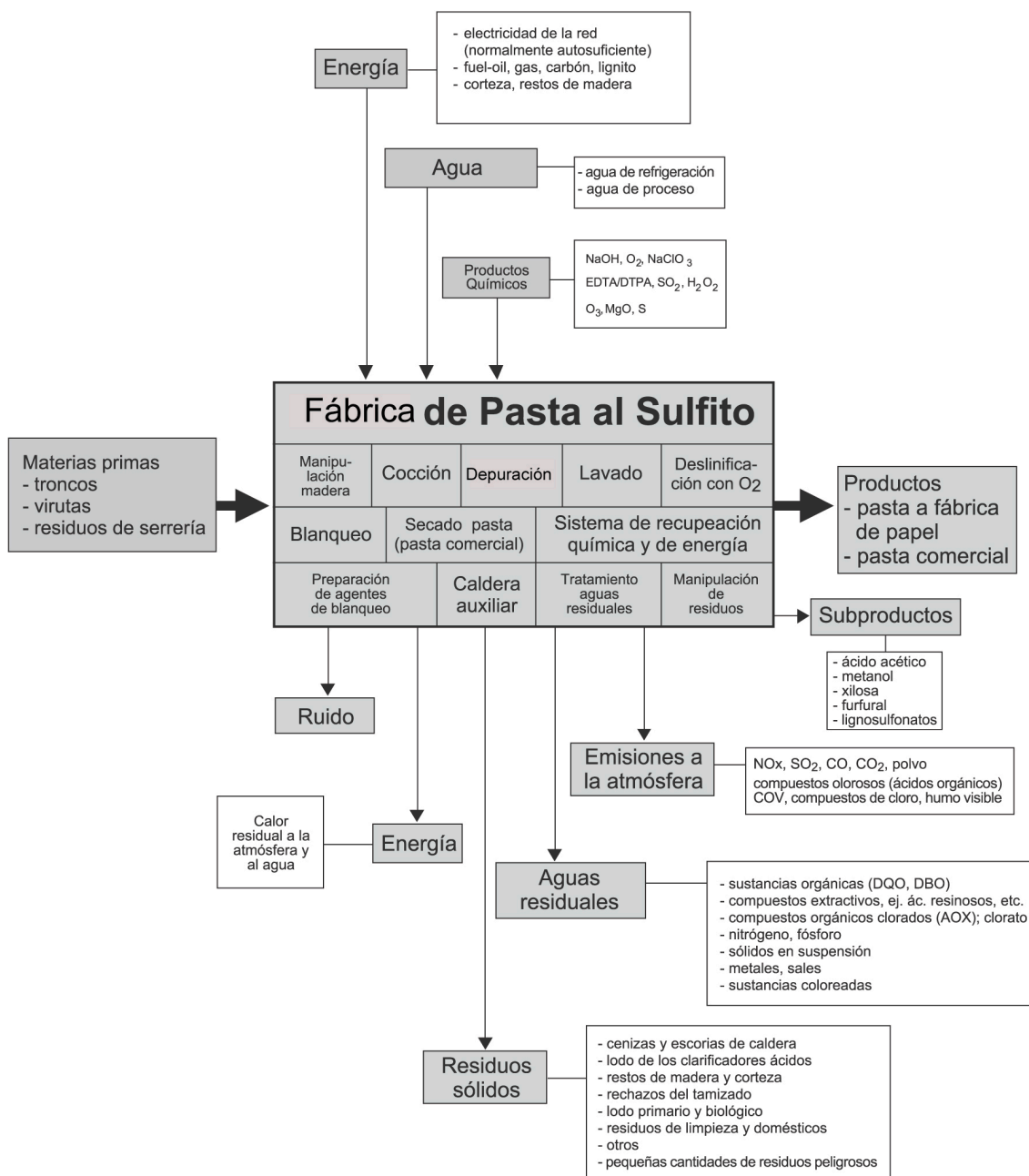


Figura 3.3: Esquema de los flujos de masas en una fábrica de pasta al sulfito. La presencia de algunas sustancias depende del método de deslignificación y blanqueo

Las secciones siguientes presentan datos específicos de consumo, así como datos específicos de emisiones para los distintos pasos operativos asociados con la fabricación de pasta al sulfito.

Usando el esquema de flujos de masas, es posible calcular el consumo específico de materias primas, así como las emisiones específicas por tonelada del producto.

La Tabla 3.3 muestra medias de seis fábricas de pasta al sulfito en Alemania. Los datos no representan por lo tanto todo el rango de niveles de emisiones. No obstante, pueden dar una idea general sobre los niveles de consumo y emisiones de las actuales fábricas al sulfito.

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Madera (secada en horno)	2	t/ADt	Pasta blanqueada	1	ADt
SO ₂ como S	32	kg/ADt			
MgO	24	kg/ADt	Emisiones		
NaOH	27	kg/ADt	CO ₂	No hay datos	kg/ADt
O ₂	13	kg/ADt	CO ₂ , regenerativo	No hay datos	kg/ADt
H ₂ O ₂	26	kg/ADt	NOx	2,4	kg/ADt
DTPA	3	kg/ADt	CO	No hay datos	kg/ADt
Energía			SO ₂ -S	1,75	kg/ADt
Fuel-oil	No hay datos	MJ/t	Polvo	No hay datos	kg/ADt
Carbón	No hay datos	MJ/t	DQO	34	kg/ADt
Gas natural	No hay datos	MJ/t	DBO ₅	1.7	kg/ADt
Electricidad comprada	No hay datos	kWh/t	Sólidos suspensión	No hay datos	kg/ADt
Total energía primaria ¹⁾	No hay datos	kWh/t	AOX	<0,01	kg/ADt
			N _{anorg}	0,4	kg/ADt
			Fósforo total	0,06	kg/ADt
			Aguas residuales	70	m ³ /ADt
Consumo de agua			Residuos		
Agua bruta / fresca	70	m ³ /ADt	Lodo (90% materia seca)	37	kg/ADt
			Otros residuos	No hay datos	kg/ADt
Notas:					
1) No se incluyen las emisiones a la atmósfera de la electricidad comprada.					

Tabla 3.3: Datos medios anuales de entradas y salidas de seis fábricas integradas de pasta al sulfito y papel (se producen distintas calidades de papel) que fabrican alrededor de 850000 ADt/a (1996)

Los datos hacen referencia sólo a la producción de pasta, es decir, no se incluye la producción de papel. Los datos de emisiones al agua representan la situación después del tratamiento biológico. Los datos de emisiones a la atmósfera hacen referencia a la situación tras la eliminación. El conjunto de datos no es completo.

3.2.2 Niveles de consumos y emisiones de las unidades de proceso

En la fabricación de pasta al sulfito, los efluentes de aguas residuales y las emisiones a la atmósfera son los centros de interés, pero en los años próximos los residuos pueden también convertirse en un tema de preocupación medioambiental. A continuación se discuten los consumos más relevantes de materias primas y de emisiones al agua, al aire y al suelo (residuos) así como aspectos de la energía. Se cubren los aspectos siguientes:

- Consumo de madera.
- Consumo de agua y emisiones a las aguas residuales de diversos pasos de proceso:
 - Manipulación de madera.
 - Condensados de evaporadores.
 - Vertidos.
 - Pérdidas de lavado.
 - Blanqueo.
 - Descargas de nutrientes.
 - Descargas de metales.
- Consumo de productos químicos.
- Demanda energética.
- Emisiones a la atmósfera:

- de la caldera de recuperación.
- de las calderas auxiliares.
- Gases olorosos.
- Compuestos de cloro del blanqueo y de la preparación de agentes de blanqueo (sólo para ECF).
- Generación de residuos sólidos.
- Ruido.

Cuando hay datos disponibles, se indican las emisiones al agua, a la atmósfera y al suelo (residuos) antes y después del tratamiento externo.

En cuanto a las cifras reportadas de emisiones y consumo, debe tenerse en cuenta que, debido al uso de distintos métodos de medición en los diversos Estados Miembros, los datos no siempre son estrictamente comparables de un país a otro (ver ANEXO III para más información sobre este aspecto, pero los diversos métodos usados no alteran las conclusiones apuntadas en este documento).

3.2.2.1 Consumo de madera

La fibra larga (principalmente abeto) y corta (principalmente haya) pueden utilizarse como materia prima en el proceso al sulfito. También pueden usarse restos de troncos y de serrería. El uso de la madera y el rendimiento en la producción de pasta blanqueada es depende de la selectividad en la deslignificación y el blanqueo. La madera requerida para la fabricación de 1 tonelada de pasta blanqueada al sulfito está normalmente entre 4,2 y 5,2 m³ de madera sin descortezar/ADt.

3.2.2.2 Consumo de agua y emisiones

La Figura 3.4 ofrece un esquema de los procesos principales implicados en la fabricación de pasta al sulfito y las principales fuentes de emisiones (al agua y al aire). Las emisiones al agua se originan en diversos procesos, siendo principalmente pérdidas de lavado, efluentes de la planta de blanqueo y condensados de la planta de evaporación. También se incluyen vertidos accidentales.

En la cocción, la deslignificación se baja a un índice kappa de unos 14-22 para fibra larga y de 10-20 para fibra corta. El rendimiento en la cocción es algo más alto que para el proceso kraft. Por consiguiente la cantidad de madera, principalmente hemicelulosas, disuelta en la parte abierta del proceso (después del filtrado de pasta cruda) es comparativamente alta en las etapas de blanqueo alcalinas y puede alcanzar hasta 40-50 kg DQO/t. El volumen específico de las aguas residuales de la planta de blanqueo en las plantas con mejores prestaciones es del orden de 15-25 m³/ADt.

Es importante neutralizar el licor sulfítico antes de la evaporación. De lo contrario, se evaporará ácido acético y aparecerá en los condensados en lugar de ser conducido a la caldera de recuperación. La carga de DQO en los condensados es normalmente mucho más alta en las fábricas de pasta al sulfito en comparación con las fábricas kraft, ya que la separación no es una práctica normal. La carga total en los condensados es de hasta 60-70 kg de DQO/t. Las diferencias entre fibra larga y fibra corta son bastante pequeñas. La separación y el tratamiento anaerobio son posibles opciones. Al igual que en el proceso kraft, los contaminantes se degradan fácilmente en una planta de tratamiento biológico.

Generalmente, los datos disponibles para el proceso al sulfito son mucho más limitados que en el proceso kraft. Sin embargo, de la información disponible puede derivarse que las emisiones totales de sustancias orgánicas (medidas como DQO) antes del tratamiento varían entre 80 y 200 kg/t. Los datos disponibles indican que los efluentes totales de fábricas modernizadas de pasta al sulfito son un 50 - 100 % más altos que los de las fábricas modernizadas de pasta kraft debido a que los procesos son menos cerrados.



Pasta al sulfito	Caudal m³/ADt	DBO₅ kg/ADt	DQO kg/ADt	AOX kg/ADt	tot-P kg/ADt	tot-N kg/ADt	SST kg/ADt
Blanqueada y sin blanquear	40-100	0,5 - 75	10 - 190	0 - 1	15 - 150	0,18 - 1	1,7 - 10

Los valores típicos de consumo de agua para pasteado al bisulfito de magnesio son del orden de 40 - 100 m³ de agua por ADt de pasta.

Carga de DQO antes del tratamiento biológico	Emisiones al agua después de tratamiento biológico
Almacén de madera : aprox. 1 kg/t	DQO: 4 – 5 kg/t
Blanqueo (1ª y 2ª etapa): aprox. 15 kg/t	DBO ₅ : no detectable
Condensados del evaporador: aprox. 30 kg/t	SST: 0,4 – 0,5 kg/t
Carga total: aprox. 46 kg/t	AOX: < 0,01 kg/t
Caudal total: aprox. 40 m ³ /t	P Total < 0,1 kg/t
	N Total < 0,2 kg/t
Notas explicativas: El ejemplo corresponde a una fábrica o que ha aplicado posibles medidas integradas en el proceso descritas en la Sección 3.1.9 con el fin de reducir las emisiones al agua. El agua residual de la primera etapa de blanqueo se evapora, incinerando el residuo, y se extrae ácido acético y furfural de los condensados del evaporador. El agua residual restante se trata en una planta de lodo activado seguida de un paso de filtración con objeto de reducir los sólidos en suspensión, P y N.	

Tabla 3.5: Emisiones específicas al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito soluble (y fibra de viscosa) antes y después del tratamiento biológico [comunicación personal, 1998]

La Tabla 3.6 muestra la descarga de metales al medio receptor. Los resultados se basan en un muestreo (muestreo aleatorio una vez al día) durante un período de 5 días en septiembre de 1996. Las muestras escogidas al azar se mezclaron en proporción con los caudales para dar una muestra combinada que fue analizada con respecto al cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc. El análisis de metales se realizó por espectrometría de masas con fuente de plasma (ICP-MS). En comparación con 1995, las cantidades de cadmio, cromo, cobre, níquel y plomo son un 50 % más elevadas. La cantidad de cinc es un 10 % más elevada.

Metal	Concentración [mg/m ³]	Carga específica [g/t]
Cadmio	1,37	1
Cromo	5,5	4,4
Cobre	9,3	7,4
Níquel	12	9,6
Plomo	9,4	7,5
Zinc	144	115,2

Tabla 3.6: Descarga de metales de una fábrica sueca de pasta al sulfito parcialmente integrada en 1996. (Análisis de una muestra combinada consistente en 5 muestras aleatorias tomadas durante cinco días, 1 muestra aleatoria al día); caudal de agua de unos 80 m³/t

3.2.2.3 Consumo de productos químicos

El consumo de productos químicos varía de una fábrica a otra y se considera hasta cierto punto confidencial. No obstante, el consumo típico de productos químicos notificado se refleja en la tabla 3.7.

Una fábrica sueca de pasta magnefite, que produce pasta blanqueada para la fabricación de papel fino, reportó un consumo de productos químicos por tonelada de pasta de: hidróxido sódico 50 kg, oxígeno 14 kg, EDTA 1,76 kg, y peróxido de hidrógeno 37 kg. La secuencia de blanqueo es (E + O) Q (E + O + P). El índice kappa después de la cocción era de 22 para pasta de fibra corta y de 22 para pasta de fibra larga.

Una fábrica alemana de pasta al sulfito ácido divulgó un consumo para la fabricación de los productos químicos de cocción de 30 kg SO₂/ADt y 15 - 20 kg MgO/ADt, suponiendo pérdidas de SO₂ de 2 - 3 kg/ADT por la chimenea. La misma planta utiliza, para el blanqueo con peróxido en dos fases por tonelada de pasta seca al aire, 20 - 25 kg de peróxido y 25 - 35 kg de hidróxido sódico.

Productos químicos utilizados para la producción de pasta al sulfito de Mg blanqueada	Cantidad [kgADt]
NaOH	10-40
O ₂	5-15
H ₂ O ₂ (100%)	10-40
EDTA o DTPA	0-3
O ₃ ¹	0-5
S (algunas fábricas utilizan S o SO ₂)	20-40
SO ₂ (algunas fábricas utilizan S o SO ₂)	0-70
MgO	15-25
Nota: 1) Normalmente no se utiliza en fábricas de pasta al sulfito. No obstante, en Europa, una fábrica que produce pasta soluble al sulfito aplica una etapa de blanqueo con ozono.	

Tabla 3.7: Consumo de los principales productos químicos en la producción de pasta al sulfito

La mayoría de los agentes quelantes utilizados se separan de la pasta por filtración y se descargan a las aguas residuales. Dado que en la mayoría de fábricas las etapas Q se conducen al tratamiento de aguas residuales (en menor medida, hay corrientes parciales que se envían a la caldera de recuperación), la mayoría de estos productos químicos terminan en el medio receptor.

3.2.2.4 Emisiones a la atmósfera

Los niveles de emisión de azufre de fábricas al sulfito existentes y el potencial de ulteriores reducciones dependen en gran medida de la planta. Debido a las diferencias entre los diversos procesos de sulfito, los valores pueden presentar variaciones mayores que en fábricas de pasta kraft. Pero por supuesto, también dependen considerablemente de los sistemas de recogida y de eliminación usados para el tratamiento de las emisiones gaseosas. Según las condiciones locales, los dispositivos y sistemas siguientes pueden encontrarse en las fábricas de pasta al sulfito para la recogida y purificación de las emisiones a la atmósfera:

- Ciclón para soplado de astillas (chips).
- Los gases de la descompresión del control continuo de presión de los digestores se conducen a la combustión en la caldera de recuperación.
- El sistema de recogida de los gases de aireación de los digestores, tanques de descarga, separanudos, filtros de lavado, todos los tanques de licor concentrado y diluido y filtros de fibra. Estos gases se conducen a la combustión en la caldera de recuperación.
- “scrubbers” para la absorción del dióxido de azufre en los gases de aireación de la planta de blanqueo.
- Los gases no condensables de la evaporación se conducen para su combustión en la caldera de recuperación.
- Absorción del SO₂ de los gases de combustión que salen de las calderas de recuperación en la planta de preparación de ácidos (sistema de “scrubber” Venturi).
- Sistema de recogida para los gases de ventilación de los tanques de licor y condensado de la sala de calderas, el filtro del licor débil y el tanque de mezcla. Los gases se conducen para su combustión en la caldera de recuperación.
- Separación del polvo de los gases de combustión de la caldera auxiliar (que quema corteza, fuel-oil u otros combustibles) mediante electrofiltro (Precipitador Electrostático o PE) y el lavador húmedo.
- Reducción de NO_x en la caldera de corteza mediante inyección de urea.

En una fábrica de sulfito de magnesio, la fuente principal para las emisiones de óxido de azufre es la caldera de recuperación. Después de la caldera de recuperación, la ceniza de óxido de magnesio se recoge del gas de combustión en precipitadores electrostáticos y se lava con agua

formando hidróxido de magnesio. Este líquido se utiliza en “scrubbers” Venturi para absorber SO_2 y SO_3 de la caldera de recuperación (y en algunas fábricas también de los digestores, lavadoras y evaporadores). El sistema de absorción se compone de una serie de “scrubbers”, de normalmente tres, cuatro o cinco. Las emisiones son de 4 - 6 kilogramos de SO_2 por tonelada pasta cuando utilizan tres “scrubbers”, y de 2 - 3 kg/t cuando se utilizan cuatro. Cada “scrubber” reduce la concentración en un 70%.

También hay emisiones de SO_2 menos concentradas de la planta de blanqueo, digestores, filtrado y calderas auxiliares.

Las emisiones de NO_x de las calderas de recuperación de las fábricas de pasta al sulfito son generalmente mayores que las de las fábricas de pasta kraft, debido a la mayor temperatura en la caldera de recuperación. Las emisiones de NO_x son normalmente de 100 - 200 mg/MJ o de 1,5 - 3 kg/t de pasta. La Tabla 3.8 resume los rangos típicos de SO_2 y NO_x de las calderas de recuperación.

Unidad	S	NO_x
kg/t	0,5 - 3	1,0 - 3
(mg/m ³)	(100 - 400)	(200 - 500)

Tabla 3.8: Emisiones de las calderas de recuperación de pasta al sulfito en kg/t y concentraciones correspondientes entre paréntesis (mg/m³) a un caudal de gas de 6000 - 7000 m³/t (NTP, gas seco)

Además de la caldera de recuperación, hay emisiones a la atmósfera de otros procesos de combustión para la generación de vapor y de energía. Pueden usarse diversos tipos de combustibles para la producción de vapor. Normalmente, las fábricas de pasta al sulfito utilizan una caldera de corteza donde se incinera corteza, desechos, nudos, fibra y lodo biológico.

Las emisiones de gases malolientes son normalmente limitadas en comparación con el proceso kraft. Sin embargo, las emisiones de furfural, mercaptanos y H_2S pueden causar olor, y las emisiones de azufre gaseoso pueden también causar molestias. En algunas fábricas, las emisiones de gases malolientes se recogen y se queman en la caldera de recuperación.

Los rangos notificados de las emisiones totales a la atmósfera de las fábricas europeas de pasta al sulfito se muestran en la Tabla 3.9.

	Total S gaseoso [kg/ADt]	NO_x [kg/ADt]
Caldera de recuperación	0,5-5	1-3
Caldera de corteza	0,02-0,06*	0,1-1*
Emisiones totales de las fábricas	0,55-5*	1,2-4,2*
* Para la caldera de recuperación la cifra es estimativa. No se incluye el combustible fósil que pueda usarse en la caldera de corteza.		

Tabla 3.9: Emisiones a la atmósfera de las fábricas europeas de pasta al sulfito como medias anuales

Las emisiones de COV del proceso son de unos 0,2 kg/t de pasta al sulfito. Las pilas de astillas también contribuyen a las emisiones de COV.

3.2.2.5 Generación de residuos sólidos

La producción de pasta al sulfito está relacionada con la generación de diversos tipos de residuos específicos de fabricación, la mayoría de los cuales pueden ser utilizados. Los residuos se derivan de diversas etapas del proceso de producción como descortezado, astillado, tamizado, clarificación del licor de cocción, mantenimiento, así como del tratamiento del agua bruta y de aguas residuales. Una fábrica alemana de pasta al sulfito reportó las siguientes fracciones

principales de residuos, incluyendo algunas opciones para tratamiento ulterior. Estas dependen generalmente en gran medida de las condiciones locales.

Residuos de la producción de pasta al sulfito				
Código EWC ²	Descripción	Origen	Cantidad	Posible vía de desecho
17 04 05	Chatarra (flejes de acero, piezas de maquinaria, etc.)	Embalaje de troncos, mantenimiento instalaciones	2,8 kg/t	Utilización como material
03 03 01	Corteza	Planta de descortezado	90 kg/t	Utilización como combustible
-	Serrín	Manipulación de la madera	30-50 kg/t	Producción de conglomerado
-	Rechazos del tamizado grueso	Tamizado	23 kg/t	Utilización como combustible
-	Rechazos del tamizado fino (astillas, nudos, corteza, fibras, arena)	Tamizado (0,5-1% de pérdidas)	8 kg/t ¹	Utilización como combustible, ladrillos
03 03 06	Lodo de la producción de pasta	Tratamiento mecánico y biológico de agua de proceso, recuperación de productos químicos	80 kg/t	Recultivo de vertederos, ladrillos
20 03 01	Residuos municipales varios	Funcionamiento de las instalaciones	0,4 kg/t	Clasificación, utilización como material o combustible
13 02 02	Residuos de aceite	Mantenimiento	0,03 kg/t	Utilización como material o combustible
Nota: 1 La referencia no precisaba el contenido de materia seca. Parece que la cifra indicada incluye más de un 50% de agua. Normalmente, un valor entre 20-25 kg/ADt de materia seca para lodos primarios y secundarios parece razonable, si se aplica lodo activado.				

Tabla 3.10: Ejemplo de residuos generados en la producción de pasta al sulfito [Fábrica alemana, año de referencia: 1996]

Además, hay que considerar los siguientes tipos de residuos: cenizas y carbonilla de la producción de energía (combinación de biocombustible y de combustible fósil); residuos del departamento de madera (arena, etc.); cenizas y carbonilla de las calderas de recuperación; arena de la caldera de lecho fluidizado (si se utiliza); en el caso de fábricas integradas, residuos de la fábrica de papel. Los residuos de madera, como corteza, astillas, serrín, nudos etc. se suelen quemar in situ. Las cenizas de las calderas de recuperación y de las calderas de corteza se utilizan en parte para otros propósitos. Además, se genera lodo de la clarificación de los licores de cocción y de los tanques de bases.

En Suecia, por orden del gobierno, el Consejo Nacional Forestal está realizando ensayos de adición de cal y agente vitalizante en el bosque. El propósito es desarrollar y probar diversos aditivos y métodos de trabajo en colaboración con la industria en relación con el uso de ceniza de corteza como agente vitalizante. En el futuro puede que sea necesario agregar agente vitalizante de una manera más extensa en el bosque para neutralizar la lluvia ácida.

Una fábrica alemana de sulfito que utiliza aguas de superficiales reportó una cantidad significativa de lodo del tratamiento de agua bruta (floculación), que ascendía a 50 kg/ADt. Ç.

Las cantidades de residuos de la fabricación de pasta al sulfito para desecho en vertedero en Europa son de 30 - 50 kg de residuos orgánicos en MS/t de pasta y de 30-60 kg de residuos inorgánicos en MS/t de pasta. Los residuos orgánicos consisten en residuos de madera, corteza,

² El EWC (Catálogo Europeo de Residuos) es una lista armonizada y no exhaustiva de residuos, es decir, una lista que se revisa periódicamente, y si es necesario se modifica, de acuerdo con el procedimiento del Comité. No obstante, la inclusión de un material en el EWC no significa que el mismo sea un residuo en todas las circunstancias. La entrada es sólo relevante si se satisface la definición de residuo [IPTS, 1997].

desechos del pasteadoy lodo de las aguas residuales [J. Pöyry, 1997]. Si los residuos orgánicos se incineran en incineradores especiales, prácticamente no hay residuos orgánicos para desecho en vertedero.

En una fábrica integrada de pasta al sulfito que incinera todos los residuos orgánicos in situ (corteza, residuos de madera, lodo del tratamiento biológico) la cantidad de residuos reportada es de 3,5 kilogramos MS/Adt (100% SS). La ceniza del proceso de incineración puede utilizarse de diversas maneras, como por ejemplo en la industria del cemento (referencia: Gratkorn, AU).

3.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

En este apartado se incluyen todas las técnicas **relevantes** disponibles comercialmente en la actualidad para la prevención o la reducción de emisiones y residuos, así como para reducir el consumo de energía y de materias primas, para instalaciones nuevas y existentes. Esta lista de técnicas no es exhaustiva y puede ser ampliada en revisiones del presente documento. Estas técnicas cubren medidas de proceso y tecnología de final de línea (end of pipe) y ofrecen posibilidades de mejora para alcanzar la prevención y control integrados de la contaminación.

En la Tabla 3.11 se recopila un resumen de técnicas para la reducción de las emisiones del proceso al sulfito. En las filas se recopilan las distintas técnicas disponibles.

Se ha intentado indicar los posibles efectos sobre otros medios de cada técnica en la misma tabla. Puede concluirse que no es tarea fácil describir los efectos sobre otros medios de forma que no cause ningún conflicto. Hay muchas "zonas grises" en la evaluación de los efectos sobre otros medios. Además, pueden depender de otras técnicas, que pueden estar ligadas a una medida dada, a la referencia con la cual se compara una técnica y también al límite del sistema considerado. Por lo tanto, la evaluación cualitativa de los efectos sobre otros medios debe tomarse solamente como ayuda para los operarios o inspectores acerca de los efectos secundarios que podría producir una medida, y solo es un punto de partida a la hora de considerar posibles desplazamientos de la contaminación. Los resultados de la evaluación no deben considerarse como imperativos. Además, la prevención y las medidas de control pueden evitar algunos de ellos. Además de otras cosas, el efecto sobre otros medios también dependerá de las condiciones específicas de cada planta. Por lo tanto, es difícil dar una definición general. Sin embargo, la tabla puede indicar a qué medios ambientales (agua, aire, residuos, energía) está dirigida una medida. Los párrafos correspondientes bajo la discusión detallada de cada técnica proporcionan más explicaciones.

En las columnas, la tendencia de los efectos causados por diversas técnicas sobre las emisiones, el consumo de las materias primas y el funcionamiento de la planta se indican de forma cualitativa usando flechas hacia arriba "↑" y hacia abajo "↓". Las flechas hacia abajo "↓" indican ahorro de materias primas o de energía y una reducción de emisiones en los diversos medios, agua, atmósfera y suelo. que ventilan y que manchan. Las flechas hacia arriba "↑" indican un aumento de emisiones, del consumo y de los impactos sobre el proceso de producción. Algunas de las medidas para la prevención y el control de la contaminación presentadas en esta sección, afectan a más de un medio (como agua, atmósfera o suelo) a la vez. Algunas técnicas pueden tener un impacto positivo y/o negativo en otros medios ambientales o sobre el consumo de materias primas y energía (efectos sobre otros medios). Los efectos dados serán observados usando las flechas. Una flecha entre paréntesis "(↑)" indica sólo un ligero aumento – a menudo despreciable – del consumo de energía, del consumo de materias primas o de las emisiones al medio ambiente al aplicar una determinada medida. Los aspectos económicos (inversiones, costes operativos) no se incluyen en la tabla pero se explican en el texto. Los datos sobre economía pueden dar solamente una idea general e indicar los niveles de costes. Variarán con el diseño del conjunto de la planta y dependerán entre otros del tamaño de la fábrica y del acoplamiento de una medida con el resto del equipo de la planta.

Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	Efectos sobre los niveles de consumos y emisiones (efectos sobre otros medios)				
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía	Emisiones al agua	Emisiones a la atmósfera	Residuos sólidos
Descortezado seco (ver kraft)	O	↑ en descortezado	↓ DQO, ↓ SST, ↓ caudal	O	O
Cocción extendida a un índice kappa bajo continua (a) o discontinua (b)	↑ en cocción ↓ en blanqueo	(↑/↓) en cocción ↑ evaporación	↓ DQO	O	O
Deslignificación con oxígeno	↑ en etapa O ₂ ↓ en blanqueo	↑ en etapa O ₂ ↓ en blanqueo	↓ DQO	O	O
Depuración cerrada (ver kraft)	O	O	↓ DQO	O	O
Filtrado eficaz y control de proceso (ver kraft)	↓ en blanqueo ↓ en cocción	↑ lavado (elec.)	↓	O	O
Recogida de casi todos los vertidos (ver kraft)	O	↑ evaporación	↓	O	O
Blanqueo TCF (frente a ECF) (al mismo índice kappa de entrada)	↓	(↑/↓)	(↓ DQO), ↓ AOX, ↑ N ag. quelantes	↓	O
Cierre parcial de la planta de blanqueo + mayor evaporación	↑ en blanqueo	↑ evaporación	↓	O	O
Cierre de la planta de blanqueo en fábricas de sulfito sódico	↓	↓	↓	O	O
Neutralización del licor diluido antes de la evaporación	↑	O	(↑/↓)	↓	O
Tratamiento separado de los condensados o reutilización en el proceso	O	↓	↓	O	O
Tanques intermedios para líquidos concentrados (ver kraft)	O	O	↓	O	O
Tratamiento biológico de aguas residuales (ver kraft)	↑	↑	↓	(↑/↓) olor	Combustión de lodo ?
Instalación de PEs y “scrubbers” multietapas en la caldera de recuperación	↓	↓	O	↓	O
Recogida e incineración de gases olorosos en la caldera de recuperación y/o en un “scrubber” Venturi	O	↑	O	↓	O
Caldera de recuperación con emisiones optimizadas	O	O	O	↓	O
Calderas auxiliares bajas en NOx (ver kraft)	O	O	O	↓ NOx	O
SNCR en las calderas de corteza (ver kraft)	↑ urea	↑ sistema de manipulación	O	↓ NOx	O
PE en la caldera de corteza (ver kraft)	O	↑ electricidad	O	↓ polvo	O
Incineración de residuos con emisiones optimizadas y recuperación de energía (ver kraft)	O	↓ recuperación de calor	O	(↑/↓)	↓
Notas: ↑ = aumento; ↓ = disminución; O = sin efecto (o despreciable). (↑/↓) = puede o no tener efecto / poco impacto, según las condiciones;					

Tabla 3.11: Resumen de las técnicas disponibles en el proceso al sulfito y su impacto en el medio ambiente y el funcionamiento de la fábrica respectivamente

Las técnicas para la prevención y la eliminación de las emisiones de las fábricas de pasta kraft son similares a las medidas disponibles que pueden aplicarse en fábricas de pasta al sulfito. Por lo tanto, para las fábricas de pasta al sulfito, la presentación de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD se dividen en cuatro distintos grupos de técnicas para evitar repeticiones.

Grupo 1: Debido a las semejanzas entre el pasteado al sulfito y el pasteado kraft, una serie de medidas para el proceso kraft son también válidas, en la mayoría de aspectos, para el proceso al sulfito. Se considera que éste es el caso en relación con las técnicas listadas a continuación. Para ellas se hace referencia a las secciones correspondientes en el proceso kraft.

- Descortezado seco (ver Sección 2.3.1).
- Depuración cerrada (ver Sección 2.3.3).
- Recogida de casi todos los vertidos (ver Sección 2.3.9).
- Filtración eficaz y control de proceso (ver Sección 2.3.10).
- Instalación de tecnología baja en NO_x en las calderas auxiliares (corteza, carbón, fuel-oil) (ver Sección 2.3.20).
- Precipitador electrostático para la reducción de polvo en las calderas de corteza (ver Sección 2.3.24 relativa a calderas de corteza).
- Uso de tanques intermedios de suficiente capacidad para almacenaje de líquidos concentrados o calientes del proceso (ver Sección 2.3.12).
- Tratamiento aerobio de los efluentes (ver Sección 2.3.13).
- Tratamiento terciario mediante el uso de precipitación química (ver Sección 2.3.14).

Grupo 2: Hay diferencias particulares entre las tecnologías kraft y sulfito en lo que respecta a las siguientes técnicas:

- Cocción modificada extendida hasta un índice kappa bajo (discontinua o continua) (ver Sección 2.3.2).
- Deslignificación con oxígeno (ver Sección 2.3.4).
- Técnica de blanqueo TCF (ver Sección 2.3.7).
- Cierre parcial de la planta de blanqueo en combinación con una mayor evaporación (ver Sección 2.3.8).
- Separación de la mayoría de condensados contaminados concentrados y reutilización de la mayoría de condensados en el proceso (ver Sección 2.3.11).
- Aumento del contenido de materia seca del licor negro (ver Sección 2.3.15).
- Instalación de “scrubbers” en la caldera de recuperación (ver Sección 2.3.16).
- Recogida de gases diluidos para incineración en la caldera de recuperación (ver Sección 2.3.17).
- Blanqueo con ozono (ver Sección 2.3.5).

Aunque los principios son muy similares, hay diferencias relevantes entre las fábricas de pasta kraft y al sulfito. Las diferencias se refieren principalmente a soluciones técnicas detalladas, los índices kappa alcanzables que reflejan el contenido residual de lignina, las secuencias de blanqueo y su consumo de productos químicos, compuestos orgánicos volátiles en los condensados contaminados etc. Para este grupo se facilitaron menos datos.

Grupo 3: Algunas técnicas del proceso kraft no son válidas para las fábricas de pasta al sulfito, como:

- Recogida e incineración de los gases olorosos en el horno de cal (ver Sección 2.3.18).
- Instalación de un mejor filtro del lodo de cal en recausticación (ver Sección 2.3.23).
- Técnica de blanqueo ECF (ver Sección 2.3.6).
- Precipitador electrostático para reducción de polvo en el horno de cal (ver Sección 2.3.24 relativa al horno de cal).
- Incineración de gases olorosos en un horno separado incluyendo un “scrubber” (ver Sección 2.3.19).

Grupo 4: Por último, hay que mencionar unas pocas técnicas adicionales que son sólo aplicables a las fábricas de pasta al sulfito y que no son válidas en absoluto para las fábricas kraft.

- Neutralización del licor débil antes de la evaporación, seguida por la reutilización de la mayoría de los condensados en el proceso o tratamiento anaerobio.
- Reducción de las emisiones de SO₂ de la caldera de recuperación instalando precipitadores electrostáticos y lavadores o “scrubbers” multietapas.

La información sobre MTD para fábricas de pasta al sulfito es generalmente más escasa que para fábricas de pasta kraft. La mayoría de las secciones deberían completarse y ser evaluadas con mayor detalle. Sin embargo, utilizando la información facilitada y los datos disponibles de otras fuentes, a continuación se describen algunas técnicas. No obstante, la descripción no tiene el mismo nivel del detalle que la sección correspondiente sobre la fabricación de pasta kraft. Generalmente, en las plantas de pasta al sulfito no hay datos disponibles sobre costes.

3.3.1 Cocción extendida hasta un índice kappa bajo

No se ha recibido más información que la presentada en la Sección 3.1.2.

3.3.2 Deslignificación con oxígeno

No se ha recibido más información que la presentada en la Sección 3.1.4.

3.3.3 Blanqueo TCF

Descripción de la técnica: desde el principio de los años 90, el blanqueo TCF se convirtió en el método de blanqueo predominantemente usado en las fábricas europeas de pasta al sulfito. En Europa, no hay ninguna fábrica de pasta al sulfito que todavía aplique cloro elemental como agente de blanqueo, y la mayoría de producción de pasta ECF ha sido sustituida por secuencias de blanqueo TCF. Las plantas de blanqueo existentes se convirtieron reorganizando y modernizando el equipo. Las secuencias de blanqueo con aplicación de cloro, como por ejemplo C/D-E-D(E-D) fueron convertidas por etapas en secuencias TCF. Primero se eliminaron los pasos de blanqueo con cloro molecular y se pasó a producir pasta ECF. Luego los procesos fueron convertidos a blanqueo TCF (ej: EOP-Q-EOP(-EP)) mediante el desarrollo ulterior del proceso. El uso de agentes complejantes en etapas de peróxido y el aumento de la consistencia en la columna de blanqueo permitieron fabricar pasta papelera TCF de alta calidad. También se aplicaron otros requisitos previos para el blanqueo TCF, como una cocción extendida y uniforme, procesos de lavado de alta eficacia y aumento de las capacidades de evaporación.

En la Tabla 3.12 se presenta un ejemplo para las condiciones de proceso de una secuencia típica de blanqueo TCF para pasta al sulfito.

Parámetro	Etapas O o EOP	Lavado ácido	Etapas O o EOP
Temperatura	65 – 75 °C	50 – 70 °C	65 – 80 °C
Presión	1 – 4 bares	-	1 – 2,5 bares
Consistencia	10 - 14	3 - 5	14 - 40
Índice kappa	21 – 24 → 11-13	-	→ 3 - 5
NaOH	15 -25	-	5 - 15
O ₂	5 - 15	-	0 – 7
H ₂ O ₂	2 -10	-	10 – 25
EDTA	-	0,5 – 1,5	

Tabla 3.12: Ejemplo de secuencias de blanqueo para fabricación de pasta al sulfito TCF

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. Aplicable a plantas tanto nuevas como existentes (conversión).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones de sustancias orgánicas cloradas (medidas como AOX) al agua se reducen perceptiblemente desde un valor anterior de 4-8 (hasta 12) kg AOX/ADt de pasta blanqueada con cloro hasta bastante por debajo de 0,1 kg/t (no hay formación en el blanqueo). Las emisiones de sustancias orgánicas cloradas purgables o volátiles (POX) a la atmósfera se reducen desde unos 20 mg POX/ADt hasta cero.

La pasta TCF producida no contiene cloro combinado orgánicamente que pueda emitirse en su reprocesado en fábricas de papel. La demanda específica de agua fresca en la planta de blanqueo podía reducirse en fábricas TCF desde unos 25-35 m³/ADt hasta 10-15 m³/ADt mediante un mayor cierre de los circuitos de agua. El cierre creciente del agua del proceso da lugar a cargas hidráulicas más bajas y en algunos casos también a cargas orgánicas reducidas. El blanqueo TCF produce una menor emisión de sustancias coloreadas con el agua residual, y aumenta la degradabilidad del agua residual en la planta de tratamiento biológico. Por otra parte, mediante el blanqueo TCF se consigue un ahorro de energía. La demanda de vapor en la planta del blanqueo puede reducirse desde 0,5-1 toneladas de vapor por tonelada de pasta hasta 0-0,2 t de vapor por tonelada de pasta. La demanda de la energía puede reducirse en un 20-30%.

Por último, se eliminan los riesgos derivados del almacenaje de cloro y la preparación del dióxido de cloro.

Efectos sobre otros medios: los numerosos efectos positivos se mencionan en el párrafo anterior (Principales beneficios medioambientales que se consiguen). Como desventajas pueden observarse los aspectos siguientes: Emisiones de agentes complejantes como EDTA (0,2 – 1 kg/t) si se aplican en las etapas de blanqueo que descargan los líquidos de lavado a través de la planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, optimizando la dosificación de agentes complejantes, la cantidad de EDTA puede reducirse. Hay experiencias de que la sedimentabilidad del lodo biológico en el tanque de sedimentación puede deteriorarse hasta cierto punto. En otras fábricas este efecto no ocurre. Debido a los posibles riesgos, el peróxido debe ser manipulado con cuidado.

Experiencias operativas: actualmente se dispone de experiencia para todas las calidades de pasta al sulfito con blanqueo TCF. No se han detectado problemas operativos.

Economía: el coste de inversión para la conversión a blanqueo TCF y la modernización de la planta de blanqueo existente asciende a unos 20 - 50 MEuros para una fábrica de pasta al sulfito con una capacidad diaria de producción de 700 Adt por día. Sin embargo, estas cifras dependen hasta cierto punto de las calidades de la pasta a producir. Por otra parte, la conversión a TCF produce ahorros en lo que respecta a los costes operativos (productos químicos, energía). Los ahorros dependen del precio de los productos químicos y de la energía en el país en cuestión.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: requisitos relativos a la protección del medio ambiente (reducción de descargas de sustancias orgánicas cloradas y de otras sustancias tóxicas) y seguridad laboral. La reducción de los costes operativos de blanqueo y la mayor demanda del mercado de productos respetuosos con el medio ambiente son otras motivaciones importantes.

Plantas de referencia: la mayoría de fábricas al sulfito en Europa.

3.3.4 Cierre parcial de la planta de blanqueo

No se ha recibido más información que la presentada en la Sección 3.1.4.

3.3.5 Pretratamiento del agua residual de las etapas de oxígeno en una planta de ultrafiltración seguido de tratamiento aerobio de todo el efluente

Descripción de la técnica: las aguas residuales de las etapas de oxígeno pueden tratarse en una planta de ultrafiltración. Esta técnica se aplica solamente en una fábrica de pasta al sulfito en Europa (SE). En este caso, el concentrado separado se quema en la sala de calderas, y el permeado se conduce al tratamiento biológico externo. La información detallada sobre experiencias operativas, parámetros de diseño para configuración, mantenimiento,

disponibilidad y utilización del concentrado no es todavía suficiente para trazar conclusiones sobre MTD para esta técnica.

3.3.6 Pretratamiento anaerobio del condensado seguido de tratamiento aerobio de todo el efluente

Descripción de la técnica: los condensados de la evaporación del licor diluido de las fábricas al sulfito contienen concentraciones relativamente altas de sustancias orgánicas fácilmente biodegradables. Pueden ser tratados eficazmente en un tratamiento anaerobio separado. Los efluentes de la planta de blanqueo (filtrados), otras corrientes de aguas residuales de la planta en forma de pérdidas de lavado, las aguas de enjuague, fugas y vertidos pueden entonces tratarse juntas en un sistema aerobio de lodo activado según se muestra en Figura 3.5.

Todos los efluentes que contienen partículas se conducen primero a los tanques de presedimentación para su purificación mecánica, y luego a la planta de lodo activado. A la planta de lodo activado pueden también llevarse otras aguas de lixiviación (si las hay), la escorrentía de agua de lluvia y el agua de refrigeración. El lodo de fibra del tanque de presedimentación y el lodo biológico (exceso de lodo) de la planta de lodo activado se espesa en tanques de espesamiento separados. La deshidratación puede realizarse mediante prensas de tornillo con un preconcentrador. El lodo desecado se mezcla muchas veces con corteza y se quema en la caldera de corteza.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: puede instalarse en fábricas existentes y nuevas.

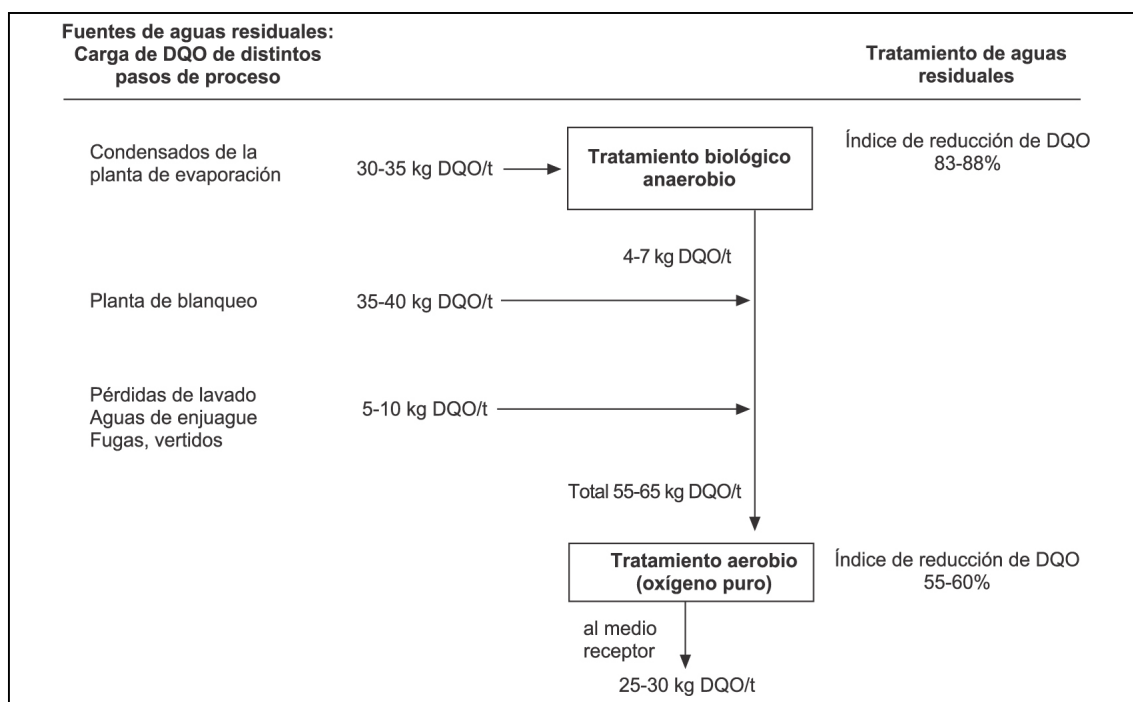


Figura 3.5: Carga de aguas residuales del pasteado al sulfito ácido y sistemas de tratamiento con su eficacia de reducción. Ejemplo de cargas orgánicas antes y después del tratamiento de una fábrica alemana de pasta al sulfito.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los condensados de la evaporación del licor débil de fábricas al sulfito contienen concentraciones relativamente altas de sustancias orgánicas fácilmente biodegradables. Pueden ser tratados eficientemente en un tratamiento anaerobio separado. Las eficacias de eliminación de DQO ascienden a alrededor del 85%. La eficacia de tratamiento para el tratamiento aerobio del resto de las aguas residuales de

la planta va desde un 55% a un 60% de reducción de DQO. Según las medidas integradas de proceso antes del tratamiento de efluentes y de la configuración específica de las etapas de deslignificación y blanqueo, pueden obtenerse cargas finales en los efluentes de 25 - 30 kg DQO/t.

Efectos sobre otros medios: el tratamiento anaerobio de las corrientes de aguas residuales concentradas genera biogás energético, que puede utilizarse como combustible. Se genera menos exceso de lodo. El tratamiento biológico aerobio como segunda etapa consume la energía necesaria para las bombas y aireadores. El exceso del lodo debe ser desecado y tratarse posteriormente, por ejemplo en calderas de corteza adecuadas o incineradores de lecho fluidizado.

Experiencias operativas: esta técnica se utiliza en algunas fábricas y normalmente se reporta una buena disponibilidad.

Economía: no hay datos disponibles.

Plantas de referencia: varias fábricas en Alemania y Austria han aplicado esta técnica.

Bibliografía: no disponible.

3.3.7 Tratamiento biológico de aguas residuales

Descripción de la técnica: el tratamiento biológico utiliza el proceso biológico natural, en el que los microorganismos utilizan el material orgánico disuelto en el agua como fuente de energía. En el tratamiento biológico, el material disuelto y coloidal biodegradable del agua se transforma en parte en una sustancia celular sólida y en parte en dióxido de carbono y agua. El lodo biológico se separa antes de evacuar el agua.

Los microorganismos necesitan nitrógeno y fósforo para un crecimiento apropiado. En efluentes de la industria de pasta y papel, la cantidad de nutrientes es baja en comparación con la cantidad de sustancias orgánicas. Por lo tanto, a menudo es necesario agregar fósforo y nitrógeno a las aguas residuales para conseguir un tratamiento eficaz. No obstante, es recomendable determinar si el suministro inicial de nutrientes en las aguas residuales es suficiente. Las aguas residuales de las fábricas de pasta al sulfito blanqueada contienen a veces suficiente fósforo, y las fábricas integradas de pasta y papel en ocasiones sólo requieren un poco de nitrógeno adicional. Por lo tanto, debe evitarse la sobredosificación de nutrientes, supervisando la concentración de nutrientes en la salida.

La temperatura de las aguas residuales influye sobre el funcionamiento de la biología. La temperatura no debe exceder 30-35°C en procesos aerobios, y puede que sea necesario aplicar refrigeración. La temperatura del efluente de las fábricas de pasta al sulfito está normalmente entre 29 y 35°C.

La lignina, que se disuelve durante el proceso y está, en cierta medida, presente en el efluente, se degrada sólo parcialmente en el tratamiento biológico. Las fracciones restantes de lignina dan al agua tratada un color pardo.

En la Figura 3.6 se muestra un esquema de proceso simplificado para lodo activado.

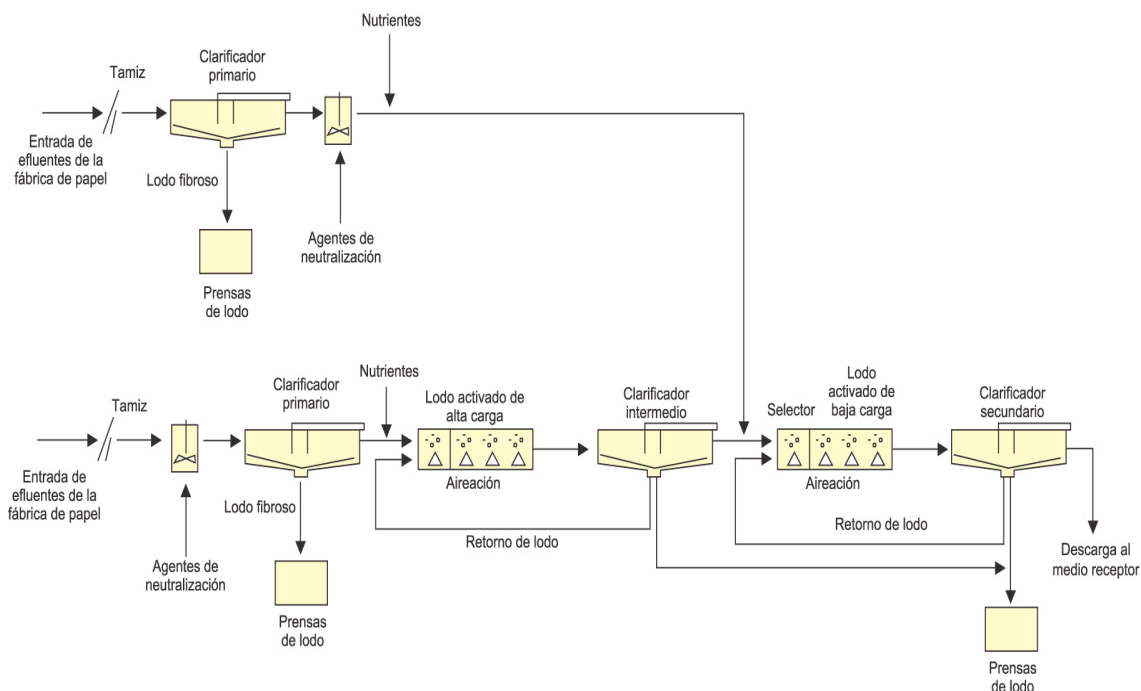


Figura 3.6: Diagrama de proceso de la planta de tratamiento para una fábrica de pasta al sulfito. Ejemplo de una fábrica austriaca [Neusiedler AG, Austria]

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica de final de línea (end of pipe). El proceso puede aplicarse a fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la eficacia del tratamiento varía, según el tipo de efluentes tratados. En la Tabla 3.13 se recopila la concentración de salida alcanzada del tratamiento de efluentes que se muestra en la Figura 3.6. Los valores se derivan de muestras medias diarias de DQO, DBO₅ y de sólidos en suspensión totales. En 1998, la producción anual de la planta integrada ascendió a unas 45.000 toneladas de pasta y a unas 80.000 toneladas de papel fino. La carga de DQO de la fábrica de papel contribuye alrededor del 10% de la carga total de DQO de la entrada de efluente.

Efectos sobre otros medios: El tratamiento biológico aerobio consume energía. El consumo de energía eléctrica en el tratamiento con lodo activado es del orden de 1,2-2 kWh/kg de DBO reducido (aireación y bombeo). La generación de lodo en el tratamiento con lodo activado es del orden de 0,4-0,7 kg MS/kg de DBO reducido [Finnish BAT report, 1997].

El lodo fibroso del clarificador primario de la planta de ejemplo arriba descrita se incinera como materia prima sustitutiva en la industria de producción de ladrillos. El exceso de lodo biológico se deseca, se lava con el condensado del evaporador, se deseca otra vez, y finalmente se incinera en la caldera de recuperación junto con licor espeso. Esta opción para el tratamiento con lodo biológico se ha elegido porque la fábrica no dispone de caldera de corteza.

Las astillas de madera son suministradas por serrerías próximas. Otras fábricas de pasta al sulfito queman normalmente el lodo desecado en la caldera de corteza.

Experiencias operativas: el tratamiento biológico aerobio, como el tratamiento con lodo activado para los efluentes de fábricas de pasta al sulfito, se ha utilizado con éxito durante más de 10 años.

El concepto del tratamiento de efluentes, según se muestra en la Figura 3.6 anterior, intenta separar los influentes y los picos de caudal para conseguir un funcionamiento uniforme. Si se determinan los picos de concentración de DQO o las variaciones inusuales en temperatura y

Días de Agosto 98	Carga de DQO entrante, fábrica de pasta [kg/d]	Carga de DQO entrante, fábrica de papel [kg/d]	Concentración media diaria medida después del tratamiento biológico		
			DQO [mg/l]	DBO ₅ [mg/l]	SST [mg/l]
1	16.922	1.601	520	21	32
2	16.785	1.614	521	19	32
3	15.809	1.685	524	22	32
4	15.984	2.149	465	21	26
5	13.042	2.478	524	25	24
6	13.380	1.291	507	25	20
7	15.978	856	483	19	18
8	13.966	449	428	23	20
9	12.740	1.515	389	17	36
10	13.017	1.069	410	24	22
11	10.888	1.769	395	22	18
12	14.574	1.809	364	19	18
13	13.230	2.039	412	21	18
14	13.754	1.485	409	16	24
15	14.345	2.307	408	25	24
16	14.547	2.126	466	22	32
17	13.862	1.505	501	17	44
18	15.612	1.307	537	17	48
19	11.278	2.723	499	24	48
20	14.695	2.079	433	23	52
21	14.713	1.833	400	19	38
22	13.294	2.231	411	22	26
23	13.525	1.549	474	25	30
24	15.590	1.498	483	23	20
25	13.908	881	534	18	24
26	12.928	1.738	493	17	20
27	13.724	1.767	424	25	32
28	16.763	2.034	510	19	20
29	15.673	1.403	476	19	22
30	16.385	923	458	24	24
31	16.230	2.102	527	16	18
Valor medio	14.424	1.671	465	21	28
Máximo	16.922	2723	537	25	52
Mínimo	10.888	449	364	16	18
Notas explicativas: 1) El caudal de aguas residuales del departamento de papel es de unos 15 m ³ por tonelada 2) El caudal de aguas residuales del departamento de pasta es de unos 55 m ³ por tonelada 3) El fósforo total se mide sólo una vez a la semana y está normalmente por debajo de 1 mg/l con unos pocos picos máximos de hasta 2 mg/l 4) El nitrógeno inorgánico está normalmente por debajo de 7 mg/l					

Tabla 3.13: Descargas al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito después del tratamiento biológico
 [Los datos se derivan de una visita a la fábrica en 1998]

carga hidráulica en el efluente de entrada, la corriente parcial de aguas residuales en cuestión se conduce a una balsa de emergencia de almacenaje intermedio, descargándose gradualmente al caudal principal de aguas residuales. Este concepto produce relativamente pocas variaciones de emisiones y un alto rendimiento continuo de la planta de tratamiento.

Economía: los costes de inversión totales del sistema de tratamiento de efluentes completo, incluido el desecado de lodo según lo arriba descrito, ascienden a unos 20 MEuros (para una producción anual de 45.000 toneladas de pasta y unas 80.000 toneladas de papel fino). Los costes implican un dimensionado de acuerdo con la carga máxima. Esto produce costes más altos, pero también una mayor seguridad de funcionamiento.

Plantas de referencia: Neusiedler AG, Austria; las cuatro fábricas de pasta al sulfito de Alemania han aplicado tratamiento con lodo activado. Sin embargo, el condensado del evaporador es sometido a tratamiento previo mediante reactores anaerobios seguidos de un

tratamiento aerobio según lo arriba descrito; hay una serie de otras plantas de ejemplo en Europa que utilizan el tratamiento con lodo activado.

Bibliografía

[Comunicación personal con productores en Alemania y Austria].

3.3.8 Instalación de precipitador electrostático (PE) y lavadores o “scrubbers” multietapa en la caldera de recuperación: recuperación de productos químicos y eliminación de las emisiones a la atmósfera

Descripción de la técnica: además de la caldera de recuperación, que es una fuente significativa de SO_2 y de emisiones de partículas, otras emisiones potenciales de SO_2 son el digestor, donde el licor y el gas se retiran en determinados momentos durante el proceso, y el tanque de descarga (ver Figura 3.7). Los caudales del último contienen entre un 30 y el 70% del dióxido de azufre cargado en el digestor. Se recuperan generalmente en tanques con distintos niveles de presión por motivos económicos y ambientales. Las emisiones de SO_2 de las operaciones de filtración y depuración y de los respiraderos de los evaporadores pueden recuperarse recogiendo los gases e introduciéndolos en la caldera de recuperación como aire de combustión.

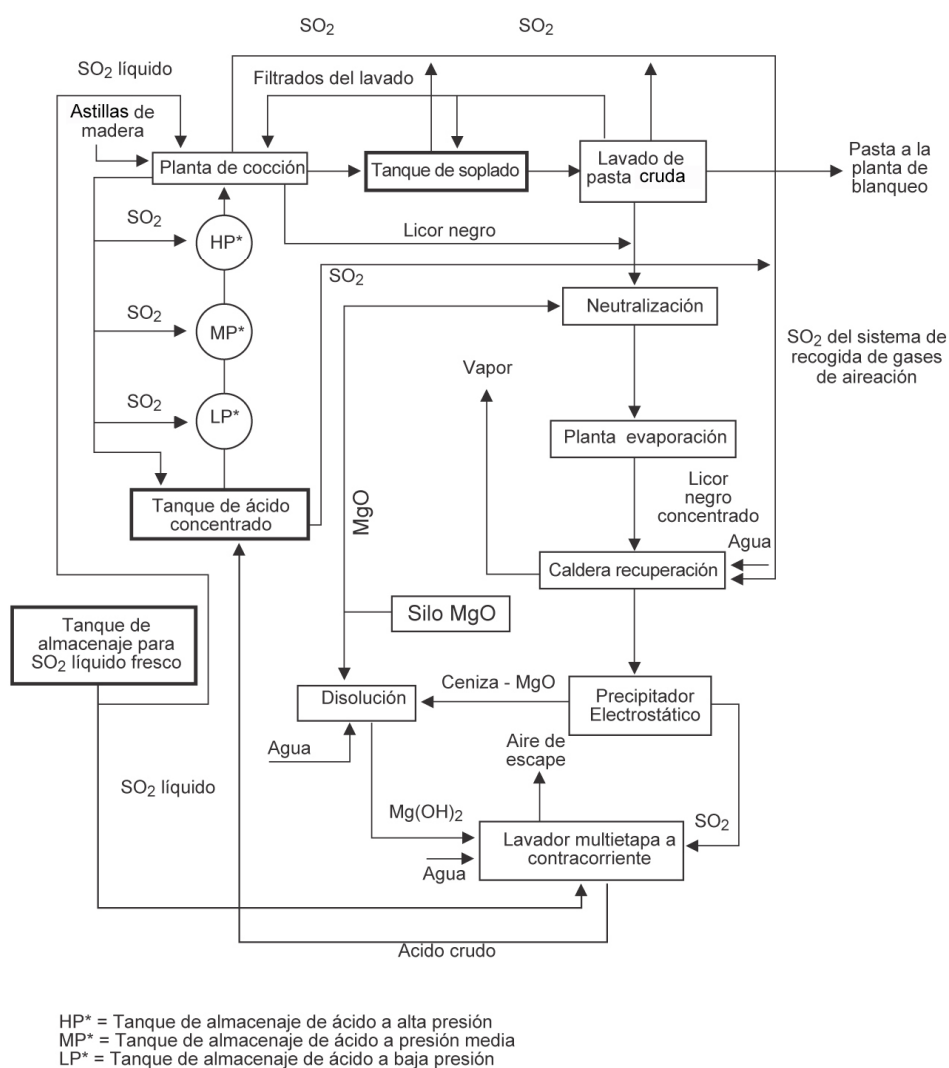


Figura 3.7: Circuito de SO₂ en una fábrica de pasta al sulfito

Las emisiones finales de dióxido de azufre están estrechamente relacionadas con el sistema de la recuperación del licor de cocción gastado. Los gases de combustión de la incineración del licor negro concentrado llevan una cantidad considerable de SO_2 gas que varía algo con la sulfidez del licor gastado del proceso al sulfito particular usado. Para controlar estas emisiones pueden aplicarse un correcto diseño y funcionamiento del horno y dispositivos auxiliares de control de las emisiones (“scrubbers” multietapas).

El proceso de la recuperación de bisulfito de magnesio requiere condiciones controladas de oxidación para reducir al mínimo la formación de MgSO_4 y SO_3 , y temperaturas entre 1250 y 1400°C para generar una ceniza limpia con máxima reactividad en contacto con agua. Los productos químicos usados en la planta de cocción aparecen en el gas de combustión en forma de ceniza ligera de MgO , y azufre como SO_2 . Estos dos productos químicos forman licor de cocción fresco cuando se juntan en un “scrubber” multietapa a contracorriente.

Los pasos para regenerar el licor de cocción consisten en una limpieza de la ceniza de MgO mediante lavado y apagado en agua para formar Mg(OH)_2 . El SO_2 se lava con esta solución alcalina a contracorriente, y la solución rica en SO_2 se devuelve a la preparación del licor (ver Figura 3.7).

Aplicabilidad y caracterización de la medida: las medidas para el control de emisiones de SO_2 pueden considerarse como técnica integrada de proceso porque los líquidos usados en el “scrubber” y el SO_2 lavado se reutilizan en el proceso. La técnica es aplicable a fábricas existentes y nuevas. Los factores que influyen en la posibilidad de una ulterior reducción de las emisiones de azufre son el tipo de proceso de sulfito - tipo de base de cocción y pH del licor de cocción - y en cierta medida el tamaño de la planta. Debido a la mayor flexibilidad del proceso al sulfito, para las plantas al sulfito es más difícil describir que para las plantas kraft cuáles pueden considerarse como niveles alcanzables asociados con las MTD a nivel del sector. A continuación se dan dos ejemplos del funcionamiento de los sistemas de control de emisiones de SO_2 en una fábrica pequeña (35.000 t/a) y en una grande (300.000 t/a).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: existen diversos tipos de “scrubbers” para la recuperación de SO_2 que se utilizan en las fábricas al sulfito que aplican la recuperación de productos químicos del licor de cocción.

Una planta pequeña (Neusiedler AG) que fábrica pasta al sulfito blanqueada a partir de fibra larga (87%ISO) utiliza un sistema de limpieza de gases de combustión que consiste en un precipitador electrostático y un scrubber de tres fases a contracorriente. La planta dio los valores reflejados en la tabla 3.1 y medidos en 1998.

Las variaciones de NO_x son muy bajas y sólo hay fluctuaciones leves alrededor de 250 mg/Nm³. Las emisiones de polvo no son monitorizadas continuamente, ya que se recuperan casi totalmente mediante precipitadores electrostáticos y “scrubbers” de tres etapas. Las emisiones de SO_2 están en general claramente por debajo de 100 mg/Nm³, pero se registran algunos picos de 450 - 600 mg/ Nm³. Estos picos son causados principalmente por el procedimiento ácido aplicado para limpiar el sistema (2 o 3 veces al mes). Durante ese tiempo sólo hay dos “scrubbers” en funcionamiento.

Una fábrica sueca grande a base de magnesio (Nymölla) con una capacidad anual de pasta de 300.000 t reportó emisiones de SO_2 del orden de 1,0 – 1,5 kilogramos S/ADt. En el sistema de recuperación, la absorción del SO_2 de los gases de combustión de la caldera de recuperación se realiza en cinco “scrubbers” venturi. Hay instalado un sistema para recogida de diversos gases de ventilación. Los gases de ventilación de los departamentos de cocción, lavado y evaporación se recogen y se introducen en la caldera de recuperación como aire de combustión.

Monitorización de emisiones: analizadores automáticos de SO_2 y NO_x

	NOx ⁴	SO ₂	CO	polvo	Exceso O ₂	Licor negro	Producción	Caudal gas ³	NO ₂ ⁴	SO ₂	CO	polvo
Unidades	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	%	t/d	t/d	Nm ³ /t	kg/t	kg/t	g/t	kg/t
Valor límite¹	350	300	50	40								
Enero	243	53	1	3	5	295.4	137.2	6.238	1.52	0.31	6.2	0.019
Febrero	251	30	2	3	6	294.6	143.4	5.932	1.49	0.16	11.8	0.018
Marzo	237	70	1	3	7	288.4	136.2	6.152	1.46	0.40	6.1	0.018
Abril	223	49	1	3	8	254.5	116.3	6.543	1.46	0.29	6.5	0.020
Mayo	252	21	5	3	9	296.8	136.5	6.263	1.58	0.13	31.3	0.020
Junio	250	35	3	3	10	301.3	141.5	6.140	1.54	0.20	18.4	0.018
Julio	243	37	2	3	5	300.9	137.9	6.280	1.53	0.22	12.5	0.019
Agosto	244	49	3	3	6	300.9	130.9	6.684	1.63	0.31	20	0.020
Valor medio	243	43	2	3	5	291.6	135	6.279	1.53	0.25	14.1	0.019

Notas:

Los valores límite de emisión y los valores medidos hacen referencia a medias diarias y condiciones estándar (0°C, 1013 mbar, contenido en oxígeno (5 %) tras la sustracción del contenido de vapor de agua (gas seco). Según la Ley Austriaca de Protección de la Atmósfera, el 95% de todas las medias diarias no deben rebasar la concentración total establecida.

El contenido de materia seca del licor negro concentrado después de la evaporación asciende a 56 - 58% SS. El contenido energético del licor negro es de unos 7.8 GJ/t. Como media se queman 2,16 t de licor negro por tonelada de pasta producida.

Una pequeña cantidad de gas crudo (36,2 MJ/Nm³) se agrega a la llama como ayuda de la incineración y por motivos de seguridad. La cantidad de gas crudo varía entre 4758 Nm³/d y 6742 Nm³/d, lo que corresponde a unos 39 Nm³/t o a 1,4 GJ/t de pasta. La contribución de la emisión de la incineración del gas crudo a las emisiones totales es insignificante.

Normalmente la concentración de NOx sería del orden de 350 mg/Nm³. Mediante inyección de amoníaco, la concentración media se reduce a unos 250 mg/Nm³.

Tabla 3.14: Emisiones atmosféricas de la caldera de recuperación en una pequeña fábrica austriaca de pasta al sulfito con una producción de 35.000 t/a. [Todos los datos de una visita al centro en Oct. 98]

Efectos sobre otros medios: no cabe esperar efectos negativos sobre otros medios.

Experiencias operativas: se aplican variaciones de los sistemas de control de SO₂ descritos en todas las fábricas al sulfito de magnesio. No obstante, se reportan distintas eficacias de reducción de SO₂ en diversas plantas europeas.

Economía: no hay datos disponibles.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la recuperación de SO₂ de la incineración del licor consumido es inherente para la preparación del licor de cocción y se realiza por razones económicas y ambientales. Sin embargo, normalmente se aplican sistemas más eficaces para la reducción ulterior del potencial de acidificación del SO₂. Los sistemas más eficaces se caracterizan por una etapa adicional de “scrubber” para la absorción de SO₂ y sistemas de recogida de los gases de ventilación de los departamentos de cocción, lavado y evaporación.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa utilizan sistemas similares.

Bibliografía:

[SEPA-report 4008, 1992], [datos de una visita al centro, 1998]

3.3.9 Reducción de gases olorosos

No se ha recibido más información que la presentada en la Sección 3.2.2.4.

3.3.10 Emisiones optimizadas de la caldera de recuperación controlando las condiciones de combustión

No se ha recibido suficiente información.

3.3.11 Medidas para prevenir el descontrol del funcionamiento normal y reducir las consecuencias de accidentes

Como ejemplo de cómo prevenir el descontrol del funcionamiento normal en fábricas de pasta al sulfito, se describen las medidas de seguridad para el suministro y almacenaje de SO₂.

Descripción de la técnica: para compensar pérdidas, es necesaria la "adición" de dióxido de azufre en el circuito químico de una planta de pasta al sulfito. Esta demanda se satisface generalmente mediante el suministro de SO₂ líquido. En general, se almacena en tanques de almacenaje adecuados. Toda la planta para relleno, o almacenaje y licuefacción del dióxido de azufre, incluidos los conductos para el SO₂ líquido debe ser objeto de un análisis de seguridad, que se actualiza regularmente y cuando se realizan cambios. Para otras áreas en las cuales se utiliza SO₂, se aplica una investigación de la seguridad (ej: instalación para el tratamiento de gases olorosos, sección del digestor, zona de recipientes y planta de desulfurización del gas de escape). Los posibles riesgos de transporte por ferrocarril de SO₂ líquido se comprueban también mediante un control de seguridad. A través de carteles de información, se informa al público de los peligros del dióxido de azufre y del comportamiento adecuado durante un descontrol del funcionamiento normal.

El siguiente equipo técnico se utiliza en las instalaciones de suministro y almacenaje de SO₂:

- Tuberías de doble pared
- Suministro seguro de electricidad.
- Tratamiento ecológico del SO₂ en caso de que se de un fallo en el funcionamiento normal (aspiración y tratamiento o almacenaje de reserva).

Además del equipo técnico se aplican las siguientes medidas de organización:

- Comprobación y mantenimiento regulares.
- Plan de alarmas incluidas medidas razonables a adoptar en caso de descontrol.
- Personal cualificado a cargo de los accidentes importantes.
- Formación de los empleados.
- Información para el público.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: aplicable en fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: estas medidas no pueden conseguir una limitación inmediata de las emisiones. No obstante, la probabilidad de un accidente importante y los efectos del funcionamiento normal de la planta se limitan considerablemente.

Monitorización de emisiones: analizadores automáticos de SO₂

Efectos sobre otros medios: no cabe esperar efectos sobre otros medios.

Experiencias operativas: el sistema de seguridad descrito para el suministro y almacenaje de SO₂ se aplica por ejemplo en con éxito en Sappi fine paper Europe, planta de Ahlfeld (Germany).

Economía: no hay datos disponibles.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: intención de explotar la fábrica con menor riesgo para el medio ambiente y el vecindario adyacente.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa utilizan sistemas de seguridad similares.

Bibliografía: no disponible.

3.4 Mejores Técnicas Disponibles

3.4.1 Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se llama de nuevo la atención del lector al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector; para las fábricas integradas de pasta y papel kraft, las principales preocupaciones son el consumo de agua, las descargas de aguas residuales (DQO, DBO, los residuos sólidos como desechos, lodo y ceniza, las emisiones a la atmósfera de generación de energía (SO₂, NO_x, CO₂, polvo), el ruido, el calor residual al agua y a veces el olor; los tres últimos son impactos de carácter local;
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico relevante ha desempeñado un papel clave en cada una de estas etapas y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse en el sentido de que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe entenderse en el sentido de que puede esperarse que el nivel se alcance durante un período de tiempo sustancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud

de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica con respecto a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar tales factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTDs generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales del MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información de guía a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumo alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

La fabricación de pasta al sulfito no es un solo proceso sino unas series de etapas, a menudo ligadas e interdependientes. Por lo tanto, es siempre una combinación adecuada de técnicas la que constituye la MTD para las fábricas de pasta al sulfito y papel. El orden de prioridad y la selección de las técnicas, o las combinaciones de técnicas, depende de las circunstancias locales.

Las mejores técnicas disponibles abajo indicadas son, si no se indica lo contrario, aplicables a plantas nuevas y existentes. En las fábricas de pasta y papel, la aplicabilidad de una técnica está menos influenciada por el hecho de si una fábrica es nueva o existente. Las fábricas de pasta y papel se caracterizan por el hecho de que la maquinaria se remodela en lugar de ser sustituida por completo. La remodelación y el desarrollo modular de las plantas significa que cada instalación es un producto único de su localización e historia. Por otra parte, hay una serie de etapas que son comunes en todos los países.

3.4.2 MTD para fábricas de pasta al sulfito y papel

A continuación se detallan las técnicas o la combinación de técnicas que se consideran como MTD para fábricas integradas y no integradas de pasta al sulfito. La lista siguiente de MTDs no se considera exhaustiva, y cualquier otra técnica o combinación de técnicas que alcance el mismo (o mejor) funcionamiento puede también ser tenida en consideración; tales técnicas pueden estar en fase de desarrollo o ser técnicas emergentes o ya disponibles y no estar descritas en este documento.

Para las fábricas integradas de pasta al sulfito y papel, se hace referencia a la sección 6.4 donde se da más información sobre MTD para la fabricación de papel. Si no se indica lo contrario, los datos hacen referencia a valores medios anuales.

Medidas generales

1. Formación, educación y motivación del personal y operarios. Las fábricas de pasta y de papel son gestionadas por personas. Por consiguiente, la formación del personal puede ser una forma muy rentable de reducir las descargas de sustancias nocivas.
2. Optimización del control de procesos. Para poder reducir distintos contaminantes de forma simultánea y mantener bajas las emisiones, se requiere un control de proceso mejorado.

3. Para mantener la eficacia de las unidades técnicas de las fábricas de pasta y las técnicas de eliminación asociadas a un alto nivel, debe asegurarse un mantenimiento suficiente.
4. Un sistema de gestión medioambiental que defina claramente las responsabilidades de los aspectos medioambientalmente relevantes en una fábrica, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, listas de chequeo y otra documentación relevante.

Medidas para reducir las emisiones al agua

1. Descortezado seco.
2. Deslignificación extendida en la parte cerrada del proceso. Esto se consigue mediante una combinación de cocción extendida y deslignificación con oxígeno. Debe tenerse en cuenta que hay una diferencia en el proceso al bisulfito de magnesio y magnefite en lo que respecta al índice kappa alcanzable tras una cocción extendida.
3. Lavado de alta eficacia de la pasta cruda y depuración en ciclo cerrado de la pasta cruda. Puede conseguirse un arrastre desde la pasta lavada a la planta de blanqueo de < 5 kg DQO/t.
4. Sistema eficaz de monitorización, contención y recuperación de vertidos.
5. Cierre parcial de la planta de blanqueo cuando se utilizan procesos de cocción a base de magnesio. Hasta ahora esta técnica produce una ligera pérdida de blancura y por consiguiente no se considera generalmente como MTD. Para productos en los que la blancura es crucial, como papel fino, esta técnica no se considera como MTD.
6. Cierre de la planta de blanqueo cuando se utilicen procesos de cocción a base de sodio.
7. Blanqueo TCF.
Para blanqueo de pasta al sulfito, el uso de agentes químicos de blanqueo que contengan cloro puede evitarse. La aplicación de blanqueo al peróxido de alta consistencia produce secuencias de blanqueo cortas y eficaces.
8. Neutralización del licor diluido antes de la evaporación.
9. Reutilización de la mayoría de condensados del proceso o tratamiento biológico separado.
10. Uso de depósitos intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de líquidos concentrados o calientes del proceso.
11. Tratamiento primario de aguas residuales.
12. Tratamiento biológico de las aguas residuales en un sistema de lodo activado o mediante el uso de otras técnicas que alcancen un rendimiento o eficacia igual o superior.
Además de las medidas integradas en el proceso y del tratamiento primario (puntos 1 a 10), el tratamiento biológico se considera consistente en balsa de homogeneización, balsa de aireación, clarificador secundario y manipulación de lodo, muestra un funcionamiento excelente para el tratamiento de los efluentes de la fábrica de pasta. Las plantas de lodo activado con una carga de lodo baja, por debajo de 0,15 kg DBO/ (kg MLSS*d) y tiempos típicos de retención en la balsa de aireación de alrededor de un día se consideran MTD. Pueden alcanzar altas eficacias de eliminación y un sistema de tratamiento estable. A destacar que cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales con niveles de emisiones comparables y costes comparables puede también considerarse como MTD.

Al aplicar combinaciones adecuadas de niveles de emisiones alcanzables con las MTD para fábricas no integradas e integradas de pasta al sulfito, se considera que tendrán el mismo rango por lo que respecta a la sección de pasteado. Para las plantas integradas, hay que tener en consideración las medidas relativas a las fábricas de pasta (Capítulo 3) y además las medidas descritas bajo el capítulo correspondiente a la fabricación de papel (Capítulo 6). Sin embargo, hay algunas técnicas a considerar que hacen referencia únicamente a las fábricas integradas de pasta, como por ejemplo:

- Separación eficaz de los sistemas de agua de la fabricación de pasta y de la fábrica de papel entre sí.
- Reciclaje del agua de dilución de la pasta entre la fábrica de pasta y la fábrica de papel.

La Tabla 3.15 presenta los niveles de emisiones alcanzados en algunas fábricas de pasta en Europa que han puesto en práctica un conjunto de medidas MTD integradas en el proceso, aunque no necesariamente todas ni en su máximo grado, junto con el tratamiento biológico de aguas residuales.

Fábricas de pasta de ejemplo	Niveles de emisiones alcanzados notificados después del tratamiento biológico (medias anuales)							Tipo de tratamiento de aguas residuales
	DQO [kg/Adt]	DBO ₅ [kg/Adt]	AOX [kg/Adt]	SST [kg/Adt]	P Total [kg/Adt]	N Total ¹⁾ [kg/Adt]	Caudal ² [m ³ /Adt]	
Gratkorn, AU	39	2,6	-, - (TCF)	2,8	0,028	0,018	50	Anaerobio + lodo activado con O ₂ puro
Fábrica 1, DE	22	0,9	-, - (TCF)	1,8	0,04	0,28	61	Anaerobio + lodo activado con O ₂ puro
Fábrica 2, DE	23	0,5	-, - (TCF)	n./d.	0,04	0,3	80	Anaerobio + lodo activado
Fábrica 3, DE	36	1,55	-, - (TCF)	n./d.	0,015	0,085	55	Anaerobio + lodo activado (datos para 1998)
Fábrica 4, DE	11 ³	n./d.	-, - (TCF)	n./d.	n./a	n./a	n./a	Floculación de los efluentes de la planta de blanqueo + filtro de goteo + lodo activado
Neusiedler, Kematen, AU	30	1,7	-, - (TCF)	1,7	0,047	0,053	48	Lodo activado

n/d. = no hay datos disponibles (SST no es un parámetro de control para las fábricas de pasta en Alemania, dado que ya es parte de la DQO sin filtrar)

Notas:

1) Tot N, para las fábricas de pasta y papel alemanas, incluye sólo compuestos de nitrógeno inorgánicos.

2) El agua de refrigeración y otras aguas limpias se evacúan por separado y no se incluyen.

3) Valor calculado. La fábrica tiene una producción anual integrada de 26000 de sulfito blanqueado y de 171170 de cartoncillo. Las fábricas producen pasta mecánica (GW) blanqueada con oxígeno in situ. Según las experiencias de las fábricas, se supone que la planta de tratamiento de aguas residuales alcanza un índice de reducción de DQO del 70% para los efluentes de la fábrica de pasta.

Tabla 3.15: Ejemplos de niveles de emisiones al agua alcanzados tras el tratamiento biológico de fábricas de pasta existentes con un buen funcionamiento en Europa (año de referencia: 1997). La lista de fábricas es una selección de plantas de las que se tenían o se facilitaron datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. Los datos fueron facilitados por los Miembros del grupo de trabajo u obtenidos de comunicaciones personales. El método de análisis es el empleado en el país respectivo.

Suponiendo un adecuado diseño y capacidad de la planta de tratamiento de efluentes y un funcionamiento y control apropiado por operarios expertos, generalmente puede alcanzarse el siguiente nivel de descarga **después** del tratamiento biológico:

Parámetros	Unidades	Sulfito blanqueado ¹
DQO	kg/ADt	20 – 30 ²
DBO	kg/ADt	1 – 2
SST	kg/ADt	1,5 – 2,0
AOX	kg/ADt	(-)
Total P	kg/ADt	0,02 – 0,05
Total N	kg/ADt	0,15 – 0,5
Cantidad de agua residual de proceso ³	m ³ /ADt	40 - 55 ⁴

Notas:

1) Niveles de emisiones para fábricas de pasta al sulfito blanqueada integradas y no integradas

2) Debido al mayor índice kappa tras la cocción en el proceso magnefite, el nivel asociado con MTD es 35 kg DQO/ADt.

3) El agua de refrigeración y otras aguas limpias se descargan por separado y no se incluyen.

4) El agua de proceso de la fábrica de papel en las fábricas de pasta al sulfito integradas no se incluye.

Tabla 3.16: Niveles de emisiones asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles después del tratamiento biológico. Para las fábricas de pasta al sulfito integradas, estas cifras hacen referencia sólo a la pasta producida. Las emisiones de la fabricación de papel deben considerarse por separado (ver Capítulo 6 fabricación de papel). No obstante, los circuitos de agua están conectados y no puede agregarse simplemente el caudal de agua.

La Tabla 3.16 debe leerse junto con las siguientes explicaciones adicionales:

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** el índice de reducción de DQO está relacionado con los tipos y cantidades de efluentes tratados (por ejemplo, los condensados son más degradables que los vertidos), la construcción y la hidráulica de la planta de tratamiento, y el ajuste apropiado de los parámetros de funcionamiento. Para que el comportamiento de una planta pueda considerarse bueno, los índices de reducción de DQO en el tratamiento deben superar el 55%.

Por lo tanto, es posible conseguir niveles de emisión de 8 - 23 kg DQO/ADt en fábricas de pasta kraft blanqueada. La concentración medida en los efluentes de estas plantas es del orden de 250 - 400 mg DQO/l.

Los motivos más comunes de que una planta de lodo activado tenga unos resultados peores son el diseño escogido y una carga demasiado elevada.

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO₅ or 7):** en plantas de tratamiento bien diseñadas, la DBO se elimina casi totalmente (un 95% de eliminación) de las aguas residuales de las fábricas de pasta cuando la relación carbono-fósforo-nitrógeno y el suministro de oxígeno se mantienen suficientes y bien controlados. En caso de alteraciones, o si algunos de los parámetros operativos se alejan del nivel objetivo, la concentración de DBO en los efluentes comenzará a aumentar. Esto requiere el ajuste de los parámetros operativos o el análisis de la biomasa. La concentración de DBO en el efluente está relacionada con el control del sistema y puede utilizarse como indicador de la salud de la biomasa activa.

Es alcanzable una concentración de DBO en los efluentes tratados de 20 - 30 mg/l. Según el caudal de agua, esto corresponde a 1,0 kg DBO₅/ADt (a 20 mg/l y 33 m³ de caudal/ADt) y a 1,7 kg DBO₅/ADt respectivamente (a 30 mg/l).

- **Sólidos en Suspensión Totales (SST):** en condiciones de funcionamiento normales, el agua del clarificador secundario es bastante limpia. El contenido de sólidos en suspensión es del orden de 20 a 30 mg/l. Esto corresponde a descargas de 0,8 – 2,0 kg SST/ADt (a un caudal de agua de 30 - 50 m³/ADt). Los valores dependen de la carga en superficie del clarificador secundario y de las características de la biomasa.
- **Halógenos orgánicos absorbibles (AOX):** las fábricas de pasta TCF no descargan prácticamente compuestos orgánicos clorados (ya que no se forman en el blanqueo).
- **Fósforo y nitrógeno (Tot-P y Tot-N):** generalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C: P: N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Es necesario encontrar y mantener un equilibrio entre los compuestos entrantes de N y P disponibles para biomasa y la cantidad de nutrientes agregados, si los hay, lo cual requiere un cierto ajuste fino de la alimentación de nutrientes. A menudo, las fábricas de pasta no agregan fósforo a sus aguas residuales, mientras que la adición de nitrógeno (generalmente como urea) es esencial para las fábricas de pasta. Cuando el sistema está bien optimizado, se alcanzan descargas de fósforo por debajo de 0,5 mg tot-P/l y de nitrógeno por debajo de 5 mg tot-N/l. Las cargas correspondientes son 0,02 – 0,05 kg P/ADt y 0,15 – 0,5 kg N/ADt respectivamente (a un caudal de agua de 50 m³/ADt).

Para asegurar una planta de tratamiento de aguas residuales que funcione bien de forma continua, puede ser beneficioso disponer de una balsa de emergencia que proteja la biomasa de licores concentrados tóxicos o calientes, así como una balsa de homogeneización para igualar la carga y los caudales.

Medidas para reducir las emisiones a la atmósfera

1. Recogida de las emisiones concentradas de SO₂ y recuperación en tanques con distintos niveles de presión.

2. Las emisiones de SO₂ de las operaciones de lavado y depuración y de las ventilaciones de los evaporadores pueden recuperarse recogiendo los gases e introduciéndolos en la caldera de recuperación como aire de combustión.
3. Control de las emisiones de SO₂ de la caldera de recuperación mediante el uso de precipitadores electrostáticos y “scrubbers” multietapas para la eliminación de los gases de combustión y lavado de los diversos gases de ventilación.
4. Reducción de los gases olorosos mediante sistemas de recogida eficaces. Estos gases pueden quemarse en la caldera de recuperación o lavarse en un filtro separado (sistema de refuerzo).
5. Caldera de recuperación con emisiones optimizadas controlando las condiciones de combustión.
6. Reducción de las emisiones de SO₂ de las calderas auxiliares utilizando corteza, gas, fuel-oil y carbón bajo en azufre, o controlando las emisiones de S.
7. Instalación de calderas auxiliares bajas en NO_x (corteza, fuel, carbón) y controlando las condiciones de combustión.
8. Limpieza de los gases de combustión de las calderas auxiliares (en las que se queman otros biocombustibles y/o combustibles fósiles) con precipitadores electrostáticos eficaces para mitigar las emisiones de polvo.
9. Incineración de residuos con optimización de emisiones (lodo del tratamiento de aguas residuales, corteza) con recuperación de energía.

Una combinación de estas técnicas produce un rango de emisiones para la fuente principal, que es la caldera de recuperación, según se indica en la Tabla 3.17. No todos los ejemplos que se muestran son fábricas de pasta al sulfito de Europa con un buen comportamiento en la reducción de azufre o NO_x. No obstante, algunas de las fábricas han aplicado un conjunto razonable de estas técnicas. En todos los casos, las emisiones gaseosas se limpian con equipo moderno de limpieza de gases, como precipitadores electrostáticos y “scrubbers” multietapas (4 a 6 etapas). Las emisiones relacionadas con el proceso cubren la caldera de recuperación y emisiones fugitivas, en la medida en que se recogen y queman en la caldera de recuperación.

Debe destacarse que una comparación directa de los niveles de emisiones alcanzados entre países es difícil debido a las incertidumbres de la base de datos (falta de armonización en los métodos de análisis y el cálculo de las emisiones).

Emisiones a la atmósfera reportadas de fábricas de pasta al sulfito			
Ejemplos de fábricas de pasta al sulfito	Emisiones de azufre gaseoso de la caldera de recuperación (SO ₂) en kg S/ADt	Emisión de NO _x (suma de NO y NO ₂ calculada como NO ₂) de la caldera de recuperación en NO _x /ADt	Comentarios
Fábrica 1, DE	0,95	2,7	Scrubber de 5 etapas
Fábrica 2, DE	0,7	2,2	
Fábrica 3, DE	1,5	2,8	
Fábrica 4, DE	0,75	1,1	
Fábrica 5, DE	1,1	2,2	
Neusiedler, AU	0,13	1,5	Inyección de amoníaco
Hylte, SE	0,6	1,1	
Utansjö, SE	1,46	0,85	Se usa muy poco fuel en la CR
Nymölla, SE	1	1,84	Se comenzó a usar inyección de urea en una de las dos CR (reducción del 30%)
Notas explicativas: n/d. = no hay datos disponibles; CR = Caldera de recuperación Las emisiones de las calderas auxiliares no se incluyen en las cifras de "total del proceso".			

Tabla 3.17: Ejemplos de niveles de emisiones a la atmósfera alcanzados en algunas fábricas de pasta en Europa (año de referencia: 1997 para las fábricas alemanas, y 1998 para las austriacas y suecas). Las emisiones totales no incluyen las calderas auxiliares. La lista de fábricas es una selección de plantas de las que se tenían o se facilitaron datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. Incluye fábricas de preparación de pasta de distintos países de Europa. El método de análisis es el empleado en el país respectivo.

Parámetros	Unidades	Fábricas de pasta al sulfito blanqueada
TSP	kg/ADt	0,02-0,15
SO ₂ como S	kg/ADt	0,5-1,0
NO _x como NO ₂	kg/ADt	1,0-2,0

Tabla 3.18: Niveles de emisiones del proceso de fabricación de pasta (caldera de recuperación y emisiones fugitivas) asociados con el uso de una combinación adecuada de mejores técnicas disponibles (no se incluyen las emisiones de las calderas auxiliares).

Según el tipo específico de medidas integradas en el proceso aplicadas y el carácter técnico de la fábrica, en general pueden alcanzarse las siguientes emisiones atmosféricas de proceso asociadas con el uso de las MTD.

La Tabla 3.18 debe leerse junto con las explicaciones adicionales siguientes. Las concentraciones de emisiones que se dan hacen referencia a medias diarias y a condiciones estándar de 273 K, 101,3 kPa y gas seco. El contenido en oxígeno de referencia es del 5% para las calderas de recuperación.

Emisiones de polvo: en fábricas de pasta al sulfito, las emisiones de partículas son controladas por los precipitadores electrostáticos y “scrubbers” multietapas. En general, con el uso de precipitadores electrostáticos o “scrubbers” pueden alcanzarse emisiones de polvo para las calderas de recuperación entre 5 - 20 mg/Nm³ o 0,02 – 0,15 kg TSP/ADt (con un caudal de gas de 6000 - 7000 m³/ADt).

Emisiones de SO₂: la reducción de las emisiones de SO₂ de los gases de combustión mediante absorción en líquido alcalino se considera MTD. Puede alcanzarse una eficacia de eliminación de SO₂ superior al 95 %. En calderas de recuperación equipadas con “scrubbers” multietapas, pueden conseguirse emisiones de SO₂ entre 50 - 150 mg S/Nm³ o 0,3 – 1,0 kg S/ADt.

Emisiones de NO_x: la emisión de óxidos de nitrógeno puede controlarse a través del diseño de los quemadores (quemadores bajos en NO_x) y la modificación de las condiciones de combustión (métodos primarios). El diseño de la caldera de recuperación (sistemas de alimentación de aire por etapas) puede producir concentraciones de NO_x relativamente bajas. Los niveles de emisiones alcanzables son del orden de 200 – 300 mg NO_x/Nm³ o 1,0 – 2,0 kg NO_x/ADt respectivamente.

Los métodos secundarios, como la reducción no catalítica selectiva (SNCR) no se suelen utilizar. No obstante, están disponibles como opción.

Gases olorosos: los gases olorosos de la fábrica de pasta se recogen e incineran en la caldera de recuperación. Un sistema de refuerzo se considera como MTD.

Calderas auxiliares: según el balance energético real de la fábrica, el tipo de combustibles externos usados y el destino de posibles biocombustibles como corteza y residuos de madera, adicionalmente hay emisiones atmosféricas de las calderas auxiliares a considerar. Los niveles de emisión asociados con las MTD de calderas auxiliares que incineran biocombustibles propios y diversos combustibles fósiles se indican en la Tabla 3.19. Las emisiones totales a la atmósfera son muy específicas de cada instalación (ej: tipo de combustible, fábrica de pasta integrado o pasta comercial, producción de electricidad).

Hay que destacar que las calderas auxiliares, dentro de la industria de la pasta y el papel, son de tamaño muy variable (desde 10 a más de 200 MW). Para las más pequeñas solamente, el uso de combustible bajo en azufre y técnicas de combustión puede aplicarse a unos costes razonables, mientras que para las instalaciones grandes también deben aplicarse medidas de control. Esta diferencia se refleja en la Tabla 3.19. El rango más alto se considera MTD para instalaciones más pequeñas y se consigue cuando sólo se aplican medidas de calidad de combustible y

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel-oil pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (ej: corteza)
mg S/MJ de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50-100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO _x /MJ de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 -60 ²	60 -100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/Nm ³	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂	10 - 40 ⁴ at 3 % O ₂	10-30 3% O ₂	< 5 3% O ₂	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas a carbón o fuel-oil dependen de la disponibilidad de fuel-oil y carbón bajos en S. Puede conseguirse una cierta reducción del azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; sólo instalaciones grandes. 4) Valores alcanzados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos. 5) Cuando se utiliza un "scrubber"; sólo aplicable a instalaciones grandes.					

Tabla 3.19: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTD para calderas auxiliares con distintos combustibles.

medidas internas; los niveles más bajos (entre paréntesis) están asociados con medidas de control adicionales como SNCR y "scrubbers", y se consideran como MTD para las instalaciones más grandes.

En una fábrica moderna no integrada, el calor generado del licor negro y la incineración de corteza excede la energía requerida para todo el proceso de producción. Sin embargo, se requerirá fuel-oil en determinadas ocasiones como el arranque.

Residuos sólidos

1. La minimización, en la medida de lo posible, de la generación de residuos sólidos y la recuperación, reciclaje y reutilización de estos materiales.
2. Recolección separada de las fracciones residuales en origen y, en caso necesario, almacenaje intermedio de residuos / desechos para permitir una manipulación apropiada de los restantes residuos (ej: utilización fuera de la planta).
3. Incineración de todo el material orgánico no peligroso (corteza, residuos de madera, lodo efluente, etc.) en una caldera auxiliar diseñada especialmente para la combustión de combustibles húmedos con bajo valor calorífico (como por ejemplo calderas de lecho fluidizado).
4. Uso externo de residuos / desechos como sustitutos en la industria forestal, la agricultura u otras industrias, si es posible.

Cabe destacar que hay poca información detallada y fiable disponible sobre las cantidades alcanzables de residuos sólidos. Hay falta de datos estadísticos y en Europa se utilizan distintos términos para la diversas fracciones de residuos. Algunos países reportan solamente residuos sólidos - principalmente residuos sólidos inorgánicos - que ya no pueden ser reciclados o ser reutilizados, sino que deben ser desechados en vertedero. Esto implica que todos los residuos orgánicos que tienen un valor calorífico razonable, o que pueden incinerarse sin riesgo de emisiones peligrosas en la caldera auxiliar de una planta, están excluidos ya de las cantidades indicadas de residuos sólidos (corteza y residuos de madera, lodo primario y lodo biológico del tratamiento de aguas residuales). Por lo tanto, los residuos sólidos desechados en vertedero son principalmente las cenizas de la caldera, lodo, algunos desechos de corteza y madera, rechazos y distintos tipos de residuos de limpieza y desperdicios. Otras fábricas queman toda la fracción de residuos orgánicos incluido el lodo en un incinerador de residuos in situ. Estas plantas tienen cantidades muy pequeñas o inexistentes de residuos a desechar en vertedero.

Debido a la carencia de suficiente información sobre esta materia, no es posible presentar valores alcanzables sobre la cantidad de residuos sólidos no peligrosos a desechar en vertedero. Para dar una indicación sobre la cantidad de residuos sólidos que cabría esperar en las fábricas

de pasta al sulfito que aplican las MTD, puede citarse el ejemplo de una fábrica integrada austriaca de pasta al sulfito blanqueada que utiliza un incinerador in situ. En este caso, los residuos sólidos restantes después de la incineración que pueden reutilizarse son de 3,2 kg SS/ADt (100% SS). Se supone que la corteza y otros residuos de madera, así como el lodo mixto del tratamiento de aguas residuales, se queman. Se recupera energía (vapor) para la producción de pasta.

En todas las fábricas se genera una pequeña cantidad de residuos peligrosos. En esta categoría se incluyen residuos de aceite y grasa, aceites hidráulicos y de transformador usados, baterías de desecho y otros equipos eléctricos de desecho, disolventes, pinturas, residuos con biocidas y productos químicos, etc. Normalmente representan 0,05-0,1 kg/t de producto.

Medidas de ahorro de energía

Para reducir el consumo de vapor nuevo y de energía eléctrica, y aumentar la generación de vapor y de energía eléctrica internamente, hay disponibles una serie de medidas.

- 1) Medidas para reducir las pérdidas de calor y para un bajo consumo de calor:
 - Alto contenido de materia seca de la corteza
 - Alta eficacia de las calderas de vapor, por ejemplo con bajas temperaturas de los gases de combustión
 - Sistema eficaz de calefacción secundaria, por ejemplo agua caliente a unos 85 °C.
 - Sistema de agua en circuito cerrado.
 - Planta de blanqueo relativamente bien cerrada.
 - Alta concentración de pasta (técnica MC o HC).
 - Uso de calor secundario para calentar las naves.
 - Buen control de proceso.
- 2) Medidas para un bajo consumo de energía eléctrica:
 - Consistencia lo más alta posible de la pasta en depuración y limpieza.
 - Control de velocidad de los distintos motores grandes.
 - Bombas de vacío eficaces.
 - Dimensionado adecuado de conducciones, bombas y ventiladores.
- 3) Medidas para una elevada producción de energía eléctrica:
 - Alta presión de la caldera.
 - Presión del vapor de salida de la turbina de contrapresión todo lo baja que sea posible técnicamente.
 - Turbina de condensación para la producción de electricidad a partir del exceso de vapor.
 - Turbinas de alta eficacia.
 - Precalentamiento del aire y del combustible alimentado a las calderas.

Muchas veces, el efecto de estas medidas de ahorro de energía no puede demostrarse fácilmente en forma de valores porque las mejoras dependen de la situación de la fábrica antes de que las medidas fueran aplicadas.

En muchos países europeos, la información sobre balances energéticos de las fábricas integradas de pasta y papel está poco disponible para el público. En Europa se utilizan diversos esquemas de divulgación. Los balances energéticos también dependen hasta cierto punto de las condiciones locales. Por lo tanto los rangos de consumo de energía de las fábricas de pasta indicadas en la Tabla 3.20 deben tomarse sólo como indicación sobre los requisitos aproximados de calor y energía de proceso en fábricas de pasta al sulfito energéticamente eficientes. Es posible que se agreguen otros ejemplos de fábricas de pasta al sulfito energéticamente eficientes con sus condiciones específicas en una próxima revisión de este BREF.

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/ADt	Consumo de electricidad (neto) en MWh/ADt	Comentarios
No integrado de pasta al sulfito blanqueada	16 – 18	0.7 - 0.8	
Integrado de pasta al sulfito blanqueada y papel fino estucado	17 – 23	1.5 - 1.75	El secado del papel consume más energía que el secado de pasta
Integrado de pasta al sulfito blanqueada y papel fino sin estucar	18 - 24	1.2 - 1.5	Cargas y tamaño superficie 10 - 30%
Notas: Las unidades pueden convertirse de MWh a GJ mediante los factores 1 MWh = 3,6 GJ y 1 GJ = 0,277 MWh			

Tabla 3.20: Consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción por tonelada de producto [datos de Jaakko Pöyry, 1998]

Uso de productos químicos

1. Disponibilidad de una base de datos para todos los productos químicos y aditivos utilizados, con información de la composición de las sustancias, su degradabilidad, su toxicidad para las personas y el medio ambiente y su potencial de bioacumulación.
2. Se aplica el principio de sustitución, es decir, utilizar productos menos peligrosos si los hay disponibles.
3. Prevención de las emisiones de sustancias peligrosas al suelo y a las aguas subterráneas.
4. Medidas para evitar el descontrol del funcionamiento normal y reducir las consecuencias de accidentes.

3.5 Técnicas emergentes

No se han identificado técnicas emergentes. La breve descripción de nuevos procesos de fabricación de pastas que utilizan disolventes orgánicos (proceso Organosolv), que se describen en la sección 2.5, puede también ser considerada las fábricas de pasta al sulfito. No obstante, dado que ninguno de los procesos Organosolv propuestos ha sido aplicado con éxito a plena escala productiva, es todavía pronto para extraer un juicio concluyente sobre dicha alternativa de proceso.

4 LA FABRICACIÓN DE PASTA MECÁNICA Y QUIMICOMECÁNICA

En la fabricación de pasta mecánica, las fibras de la madera se separan entre sí mediante energía mecánica aplicada a los troncos de la madera, haciendo que las uniones entre las fibras se rompan gradualmente y los haces de fibra, las fibras sueltas y los fragmentos de fibra se liberen. La mezcla de fibras y de fragmentos de fibra es lo que da a la pasta mecánica sus buenas características de impresión. En la fabricación de pasta mecánica, el objetivo es mantener la parte principal de la lignina para conseguir un alto rendimiento con aceptables características de resistencia y blancura. Las pastas mecánicas tienen una baja resistencia al envejecimiento, lo que se traduce en una tendencia a decolorarse.

Los principales procesos y técnicas son la fabricación de pasta mecánica tradicional en piedra (**Stone Groundwood Pulping** o **SWG**), la presurizada (**Pressure Groundwood Pulping** o **PGW**), la termomecánica (**Thermo-Mechanical Pulping** o **TMP**) o la quimictermomecánica (**Chemi-Thermo-Mechanical Pulping** o **CTMP**). Las materias primas principales, los rendimientos de la madera y los usos finales de las pastas se resumen en la Tabla 4.1.

Proceso de fabricación	Materias primas	Rendimiento madera	Usos finales típicos
Pasta mecánica de piedra	Abeto y pino (fibra larga)	95-97 %	Papel para impresión y escritura y papel prensa
TMP	Abeto y pino (fibra larga)	93-95 %	Papel para impresión y escritura y papel prensa
CTMP	Principalmente abeto, aunque también álamo y haya, NaOH, SO ₂ y H ₂ O ₂	90-94 %	Papel para impresión y escritura y papel prensa, tisú y cartones para embalaje

Tabla 4.1: Principales materias primas, rendimientos y usos finales de las pastas mecánicas

La Figura 4.1 presenta un esquema de los principales pasos del de la fabricación de pasta mecánica.

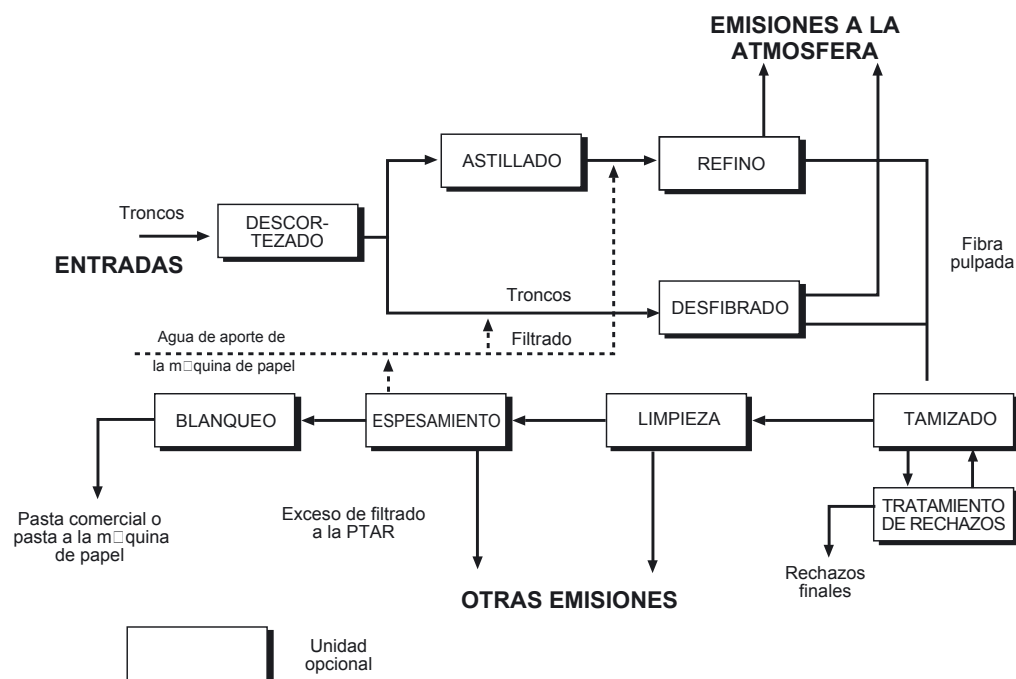


Figura 4.1: Pasos principales en la fabricación de pasta mecánica
[Guidance Note IPR 6/9]

Hay dos procesos principales usados para la fabricación de pasta mecánica. En el proceso de desfibrado mecánico tradicional (SGW) o en el proceso de pasta mecánica presurizado (PGW) los troncos se presionan contra una muela giratoria con adición simultánea de agua. Las pastas mecánicas por refino (Refiner Mechanical Pulps RMP, pastas termomecánicas = TMP) se producen desfibrando las astillas de madera entre refinados de disco. Los elementos que causan la acción mecánica – la arenisca de la muela de desfibrado y los bordes con barras del disco de acero del refino – darán a las pastas resultantes una mezcla típica de fibras y fragmentos de fibra. La pasta mecánica tiene una mayor proporción de material fino y de fibras dañadas que dan a la pasta buenas características ópticas y propiedades superficiales al papel. El tratamiento más suave en los refinados produce un mayor rendimiento de fibras largas intactas que da a la pasta una mayor resistencia, lo que tiene importancia en la composición de productos con elevados requisitos de resistencia.

Las características de la pasta pueden alterarse aumentando la temperatura del proceso y, en el caso del refino, mediante el tratamiento químico de las astillas. Ambos pasos aumentan el consumo de energía así como el nivel de contaminantes debido a un menor rendimiento del desfibrado. El proceso de fabricación de pasta quimicotermodomecánica (CTMP), en el que la madera se pre-ablanda con productos químicos, se considera en general una técnica de desfibrado mecánico, puesto que los productos químicos ablandan principalmente la lignina antes de la etapa mecánica en lugar de disolverla totalmente como en los verdaderos procesos de fabricación de pasta química.

La mayoría de la fabricación de la pasta mecánica está integrada con la fabricación de papel. La pasta mecánica se incluye típicamente en la composición de un papel para aumentar la opacidad del producto de papel.

4.1 Procesos y técnicas aplicados

4.1.1 Fabricación de pasta mecánica

Se compone de una línea de fibras, manipulación de rechazos y sistemas auxiliares. Estos últimos son por ejemplo el almacenaje de productos químicos y la generación de vapor auxiliar y energía.

Los principales procesos individuales de la fabricación de pasta mecánica se muestran en la Figura 4.2 [CEPI, 1997b]. Las fábricas de pasta mecánica están en la práctica integradas con una fábrica de papel, por lo que normalmente la pasta no se seca con una secadora.

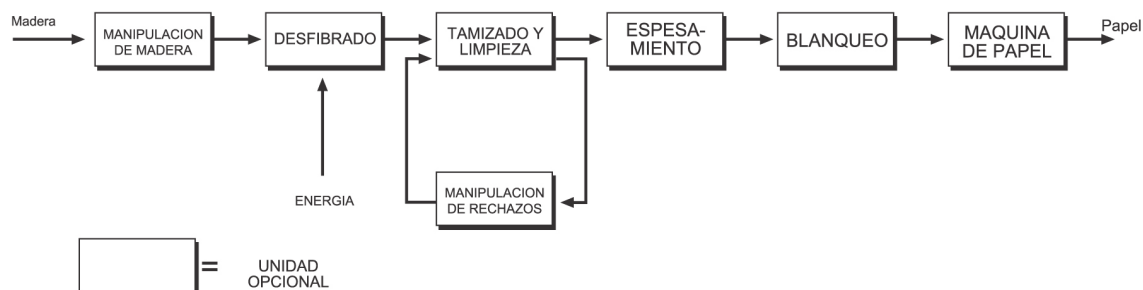


Figura 4.2: Proceso de fabricación de pasta mecánica

4.1.1.1 Manipulación de la madera

Los troncos requeridos para el proceso de fabricación de pasta mecánica se obtienen mediante la corta de bosques y tienen generalmente 10-20 cm de diámetro. Si la madera para pasta mecánica se almacena, debe evitarse que se seque, por ejemplo mediante su almacenaje en agua o

aspersión de los montones de troncos. Esto puede requerir sistemas de recogida de agua en el almacén de madera para evitar la descarga de las sustancias orgánicas que se caracterizan colectivamente por su DQO y toxicidad. La corteza debe eliminarse antes de que se procesen los troncos. El descortezado de la madera para pasta se realiza generalmente en descortezadores en los que el contacto entre los troncos que giran dentro del tambor con agua los descortezan. En el descortezado suele utilizarse agua para descongelar y lavar la madera en el tambor de descortezado.

4.1.1.2 Desfibrado

El desfibrado inicial se produce en muelas forzando los troncos contra muelas giratorias especiales con las fibras de madera paralelas al eje de la muela, produciendo una pasta con una consistencia de aproximadamente el 2%. Las muelas utilizadas usadas son en general cerámicas y tienen que ser reafiladas periódicamente.

La mayoría de la energía aplicada al proceso de desfibrado se transforma en calor. La madera se calienta y, con la presencia de suficiente agua, las uniones de lignina se ablandan y las fibras se desprenden de la superficie de la muela. Las muelas se refrigeran con una ducha de agua que se utiliza también para la desintegración de las fibras y su transporte a las etapas de proceso siguientes. Por lo tanto, para este proceso la disponibilidad de agua es de importancia básica (disipación de calor y reducción de la fricción de las fibras).

El requisito específico de energía (kWh/t) para la producción de pasta mecánica es un parámetro de proceso importante, es decir, un aumento en el requisito específico de energía va siempre ligado a mejores características de resistencia, aunque también a una menor capacidad de drenaje (desgoteo freeness).

Las características superiores de resistencia de las pastas mecánicas por refino, especialmente para TMP, forzaron el desarrollo posterior al proceso de desfibrado convencional por motivos de competitividad. Se desarrolló el proceso de desfibrado a presión (PGW), en el que el desfibrado tiene lugar a sobrepresión (hasta unos 3 bares). Eso permite que el proceso se utilice con temperaturas de aguas blancas de 95°C y temperaturas del foso de desfibrado de 125°C. El ablandado más intensivo de la lignina asociado a estas temperaturas da lugar a calidades mejoradas de pasta mecánica (mayor resistencia) pero los requisitos técnicos y económicos son considerablemente más altos. Posteriormente se genera vapor de baja presión cuando se despresuriza la pasta. El vapor de baja presión recuperado se utiliza principalmente para la obtención del agua de proceso caliente. Otro método relativamente económico para mejorar la calidad de la pasta mecánica es el proceso termomecánico (TGW). En este proceso se reducen las pérdidas de calor derivadas de la evaporación en la zona de desfibrado y la temperatura de proceso se optimiza sin aplicar sobrepresión, sino mediante controladores de estabilidad.

4.1.1.3 Tamizado y limpieza

Todas las pastas mecánicas contienen componentes indeseados tales como fragmentos grandes que no han sido suficientemente desfibrados (es decir, rechazos gruesos) y grumos, consistentes en muchos haces de fibra. Los grumos tienen que eliminarse, ya que reducen la resistencia y la calidad de impresión del papel.

Una instalación de tamizado consta de varias etapas con el fin de reducir el esfuerzo en las instalaciones subsiguientes y recuperar la mayoría de los componentes aceptables contenidos en los rechazos. El tamizado de los rechazos gruesos es fácil de realizar, pero la eliminación de los grumos requiere una técnica elaborada. El contenido de grumos de la pasta mecánica sin tamizar puede ser de hasta el 5% dependiendo del proceso utilizado. El propósito del tamizado es eliminar los grumos en gran medida y, al mismo tiempo, mantener la eliminación simultánea por tamizado de fibras largas valiosas al mínimo posible.

Los rechazos gruesos son retirados de la corriente principal de pasta haciendo vibrar tamices planos equipados con placas perforadas. Se utilizan trituradoras de martillos o pulpers para la reducción de los rechazos gruesos. Los grumos gruesos retenidos se agregan generalmente a los rechazos del sistema de tamizado fino para su proceso posterior mediante filtración a través de tamices a presión que retienen los grumos por encima de un cierto tamaño según el tipo de papel requerido.

El proceso de tamizado se realiza a elevadas diluciones (menos del 1 % de materia seca). El tamizado fino es seguido por una separación centrífuga de fibras y otras partículas con diversos pesos específicos (centricleaners). Los rechazos separados de la última etapa se concentran y se tratan con equipo especial para el tratamiento de rechazos, como refinados de desechos, y después se reciclan al proceso de tamizado (tamices y centrifugas secundarios). La pasta aceptada de las etapas de tratamiento de rechazos puede recircularse de nuevo a la línea principal de fibras. Los rechazos finales se desechan del proceso como residuos sólidos. Según el tipo del tratamiento de rechazos, el contenido de materia seca de estos residuos puede variar un 5-30 % [CEPI, 1997b]. El índice de rechazos del tamizado puede ser hasta un 30% del caudal de entrada, y en el caso de pasta mecánica, el requisito energético para el tamizado, concentración y refino de los rechazos de tamizado es significativo (representa alrededor del 25% de la energía total).

La pasta mecánica tamizada y limpia se espesa mediante filtros de discos o los tambores de espesamiento, y después se almacena en tanques y torres de almacenaje.

4.1.2 Pastas mecánicas por refino

El objetivo del proceso con refino es igual al de la fabricación de pasta mecánica de piedra, es decir ablandar las uniones de lignina y lograr la fibrilación de las fibras de madera.

En el desfibrado mecánico por refino, las astillas se desfibran entre discos de acero con dibujo de barras en un refino. Según la calidad, el refino puede repetirse en una segunda etapa, y a veces incluso en una tercera etapa. Las fuerzas del impacto de las barras hacen que las astillas se rompan en haces de fibras, fibras individuales y fragmentos de fibra. A medida que progresa el tratamiento, el impacto también modifica las paredes de las fibras individuales. La mayor parte de la energía aplicada (trabajo de fricción) se transforma en calor, que vaporiza parte de la humedad de las astillas. Para evitar que la madera se queme en la zona de refinados, es necesario añadir agua de refrigeración (dilución). Los refinados funcionan normalmente con una alta consistencia (25-50%). La gran cantidad de vapor liberado en el proceso de refino se recoge normalmente en un sistema de recuperación de calor para su uso ulterior.

En el proceso de desfibrado por refino original (RMP), que apenas se utiliza hoy en día, las astillas se refinaban a presión atmosférica. Debido a la baja temperatura, el proceso producía una alta cantidad de fibras dañadas, pero las características ópticas de pasta RMP eran relativamente buenas. Para mejorar la calidad de la pasta, se han aplicado modificaciones del proceso para producir una mayor suavidad de la madera en la zona de refino. Estas modificaciones incluyen el precalentamiento de las astillas (TRMP y TNP) o la presurización del refino (PRMP). Estos procesos producen pastas con una resistencia ligeramente más alta y un nivel de grumos reducido sin apenas cambios en las características ópticas.

Una mejora más drástica de la resistencia y reducción de grumos se obtiene en el proceso TMP (4.1.2.1), en el que las astillas se calientan en condiciones presurizadas y el refino también se presuriza.

El pretratamiento químico suave de las astillas también mejora el ablandamiento de la madera y mejora las características de la pasta producida con refino a presión atmosférica (CRMP) o refino presurizado (CTMP, 4.1.2.2).

Con un tratamiento químico más fuerte y refino a presión atmosférica, pueden producirse pastas con características de alta resistencia, tanto con coníferas (fibra larga) como con frondosas (fibra corta). Estas pastas mecánicas (CMP) son comparables a las pastas semiquímicas.

4.1.2.1 Fabricación de pasta termomecánica (TMP)

Consiste en una línea de fibra y sistemas auxiliares. Estos últimos son por ejemplo manipulación de rechazos, almacenaje de algunas sustancias químicas y generación de energía auxiliar. Los principales procesos de la fabricación de pasta TMP se muestran en la Figura 4.3.

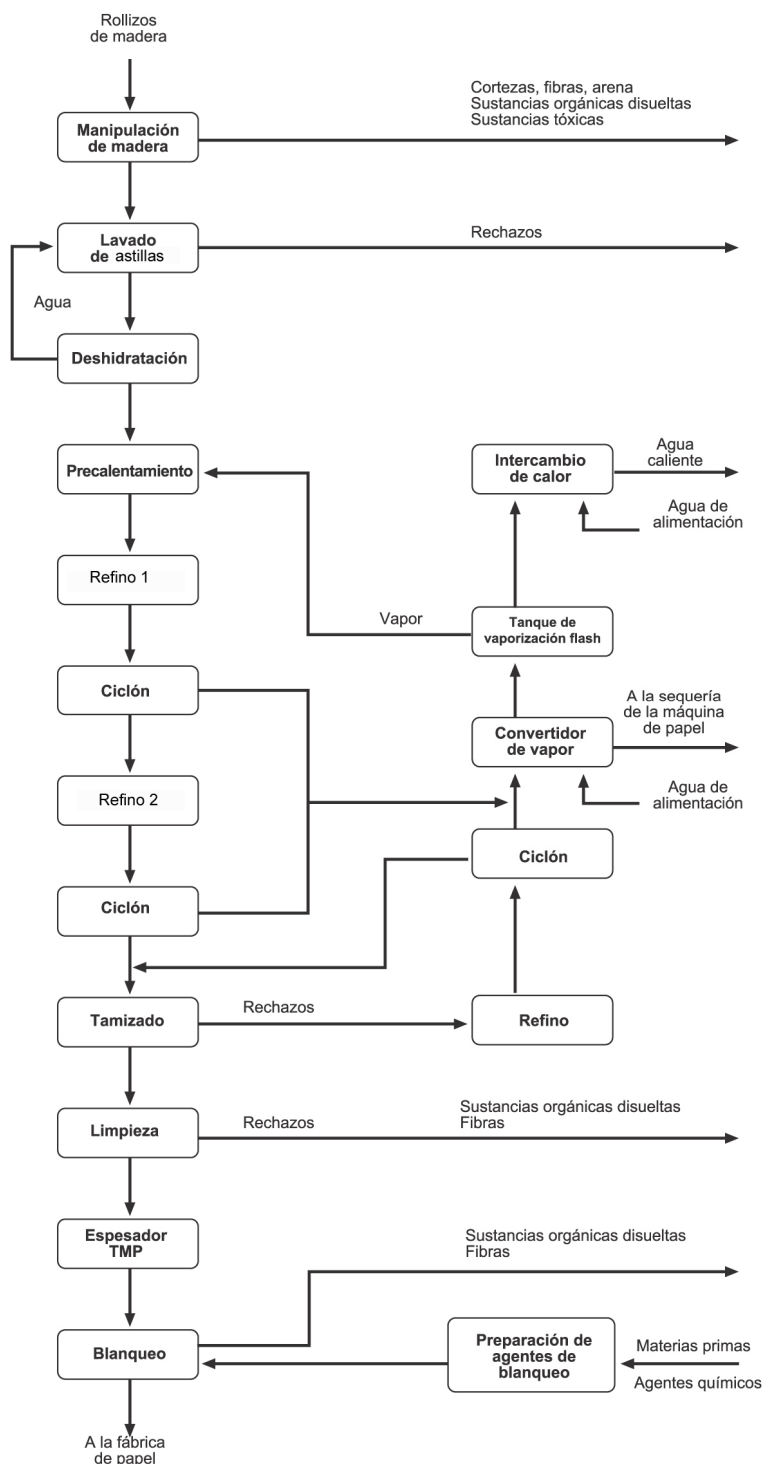


Figura 4.3: Esquema de proceso TMP y de sus emisiones [SEPA Report 4713-2, 1997]

A continuación sólo se describe con más detalle el proceso TMP en sí, es decir los principales procesos individuales que lo distinguen del desfibrado mecánico desde el punto de vista medioambiental. Para el tamizado y limpieza, tratamiento de desechos, concentración y blanqueo de pastas mecánicas se hace referencia a los párrafos correspondientes de la Sección 4.1.1 y 4.1.3. En el proceso termomecánico (TMP), las astillas de maderas lavadas y tamizadas son sometidas a un tratamiento térmico previo, y el proceso de desfibrado se realiza en una serie de refinados de disco a sobrepresión.

Una cierta cantidad de madera puede ser suministrada en forma de astillas de serrerías. Las astillas de serrerías y otras astillas externas requieren sólo tamizado y almacenaje en la sección de manipulación de la madera. Si se utilizan rollizos con corteza, primero será necesario descortezar y después astillar la madera. Las astillas para pasta mecánica no deben contener piedras, arena, restos metálicos u otros cuerpos extraños duros que pueden causar desgaste o daño en las placas del refino. Por lo tanto, en la mayoría de los procesos de refino de astillas, éstas se lavan para eliminar los cuerpos extraños antes de refinar. Esto da lugar a que del lavado de astillas se origine un efluente al agua.

Después del astillado y lavado, la materia prima se precalienta con vapor y después se refina en una sola etapa a temperatura y presión elevadas, o en un sistema de refino de dos etapas en el que la primera etapa va seguida por una segunda etapa de refino presurizada o a presión atmosférica. El desfibrado de los rechazos de tamizado se realiza a menudo en el refino de la segunda etapa. Parte de las sustancias orgánicas de la madera se disuelven en agua y se descargan del proceso desde la fabricación de pasta mecánica o desde la máquina de papel.

Una gran parte de la cantidad comparativamente alta de energía eléctrica requerida para la fabricación de pasta mecánica por refino se convierte en calor como vapor que se evapora de la humedad de la madera y del agua de dilución de los refinados. Debido a las condiciones presurizadas (sobrepresiones hasta 5 bares), en muchas fábricas, una cantidad significativa del vapor generado puede recuperarse y limpiarse a través de un intercambiador de calor para producir vapor de proceso limpio, por ejemplo para su uso en el secado de papel. Una parte de la energía del vapor liberado puede también recuperarse como agua caliente. Después del refino, la pasta se descarga y se diluye, se tamiza y se limpia. Después del tamizado la pasta se espesa y se almacena en una gran torre de pasta de alta consistencia. La aplicación de más energía mecánica en lugar de la disolución química produce una fragmentación más pronunciada de la fibra y la formación de material fino. La importancia del agua en los procesos de desfibrado implica que la madera fresca se prefiere como materia prima. Si la madera para desfibrado mecánico se almacena, debe evitarse que se seque, por ejemplo mediante su almacenaje en agua o aspersión de los montones de troncos. Esto puede requerir sistemas de recogida de agua en el almacén de madera para evitar la descarga de sustancias orgánicas que se caracterizan colectivamente por su DQO y toxicidad. El uso de astillas hace que el desfibrado por refino sea algo más versátil por lo que respecta al suministro de materia prima.

Dado que la pérdida de madera durante la fabricación de TMP es muy baja y la mayoría del material de la madera se convierte en pasta, el valor calorífico de las aguas residuales en una fábrica de TMP es demasiado bajo para ser recuperado del mismo modo que en una fábrica de pasta química (licor negro). Esto implica que en una fábrica de TMP suele ser necesario el tratamiento externo de efluentes de aguas residuales.

La pasta TMP se produce casi siempre en conexión con una fábrica de papel, debido a la posibilidad de reutilización del calor de los refinados para la producción de vapor y de un mayor rendimiento energético. Por lo tanto, la pasta TMP no se seca normalmente con un secapastas.

4.1.2.2 Fabricación de pasta quimicomecánica

La adición de productos químicos en el proceso del refino ha llegado a ser importante ya que las astillas de madera pueden impregnarse muy fácilmente. El pretratamiento químico suave de las

astillas mejora el ablandado de la madera y las características de la pasta producida mediante refino a presión atmosférica (CRMP) o refino presurizado (CTMP). Este último combina el proceso de TMP con una sulfonación de las astillas de madera. En la mayoría de casos, el pretratamiento químico aumenta la emisión de agentes contaminantes como consecuencia de la pérdida de rendimiento causada por el tratamiento químico. Se utilizan diversas clases de tratamientos para distintas especies de madera, y las características de la pasta CTMP pueden variarse en gran medida cambiando la cantidad y la naturaleza de los productos químicos. Los métodos de desfibrado quimicomecánicos producen pastas limpias de la suficiente resistencia y propiedades ópticas aceptables, y pueden utilizarse como componente fibroso principal en el papel de impresión, cartón de embalaje y papel higiénico.

La fabricación de pasta quimicomecánica consiste en una línea de fibra y sistemas auxiliares. Estos últimos son por ejemplo el tratamiento de los residuos, el almacenaje de algunos productos químicos y la generación de energía auxiliar. Los principales procesos individuales de la fabricación de CTMP pueden observarse en la Figura 4.4.

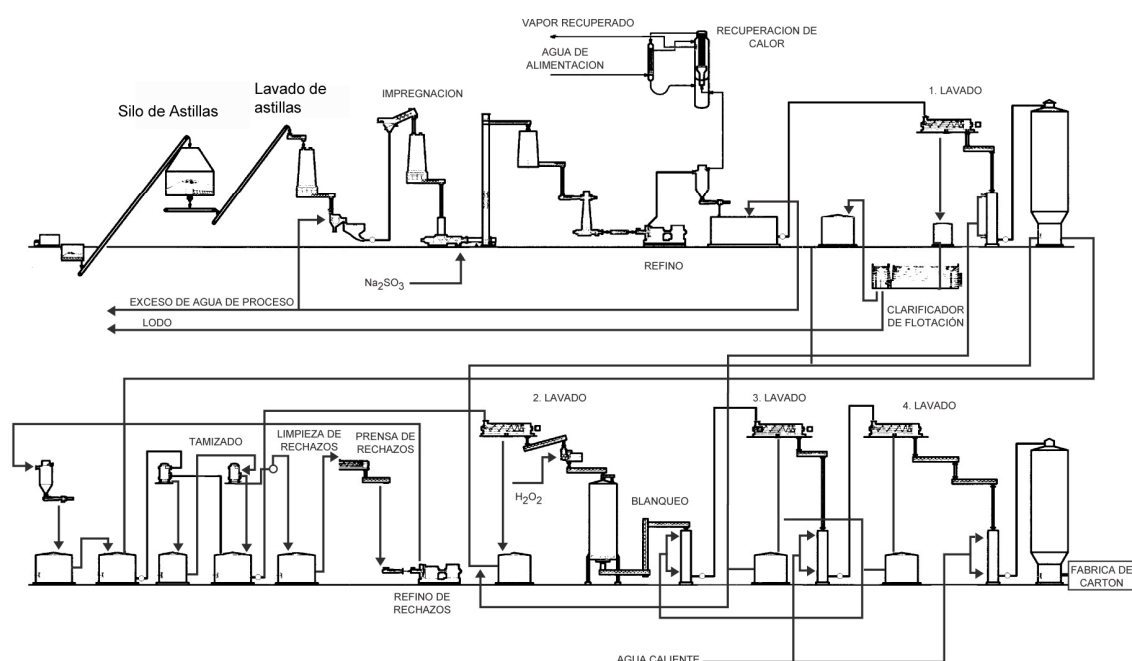


Figura 4.4: Esquema del proceso de CTMP [Cortesía de una fábrica finlandesa, 1998]

El proceso de CTMP combina el proceso de TMP con una impregnación química de las astillas de madera. A continuación sólo se describe con más detalle el proceso CTMP en sí, es decir los principales procesos individuales que lo distinguen de la fabricación de TMP. Para el tamizado y limpieza, tratamiento de desechos, concentración y blanqueo de pastas mecánicas se hace referencia a los párrafos correspondientes de la Sección 4.1.1 y 4.1.3.

Después del descortezado, astillado, lavado de astillas y tamizado, las astillas de madera se impregnan primero en una columna de impregnación en la que las astillas se sumergen en una solución química alcalina. El sulfito sódico (Na_2SO_3) se utiliza sobre todo para las maderas de coníferas (fibra larga), y últimamente se ha utilizado predominantemente peróxido alcalino para las maderas de frondosas (fibra corta). Después de la impregnación química, las astillas se precalientan y su temperatura aumenta más en los refinados de 1-2 etapas (placas de refino que giran) produciendo el ablandamiento de las uniones de lignina y la liberación de las fibras. La pasta CTMP fabricada se mezcla con agua de proceso reciclada, que se utiliza también para la desintegración de fibras y el transporte a las etapas de proceso siguientes.

Una evolución ulterior del proceso de CTMP es el proceso de CMP. Con un tratamiento químico más fuerte y refino a presión atmosférica pueden producirse pastas con muy buenas características de resistencia a partir de fibra larga y madera dura. Después de la impregnación química, las astillas son sometidas a cocción a una temperatura del orden de 70-170 °C. El tiempo de cocción depende del proceso y puede variar entre 15 minutos y un par de horas. Se utilizan diversas clases de tratamiento para distintas especies de madera. Las propiedades ópticas se reducen drásticamente y el rendimiento puede caer por debajo del 90%.

Tanto el aumento en la temperatura de refino como el uso de productos químicos (tratamiento alcalino) aumentan la producción de agentes contaminantes a consecuencia de la pérdida de rendimiento en el desfibrado por refino. En la mayoría de los casos el tratamiento químico previo aumenta el consumo de energía. Las propiedades ópticas se reducen drásticamente, por lo que la pasta CMP sólo puede constituir una parte de poca importancia en la composición de los papeles de impresión.

La pasta CTMP se produce en conexión con una fábrica de papel o cartón debido a la posibilidad de reutilización del calor de los refinados para la producción del vapor y de un mejor rendimiento energético. Sin embargo, la pasta CTMP se fabrica como pasta comercial y se seca a veces mediante secado flash hasta un contenido de materia seca del 90%.

4.1.3 Blanqueo de pastas mecánicas

Con la demanda creciente de papel y cartón de alta blancura, el blanqueo de pastas mecánicas se ha hecho más común. El blanqueo de pasta mecánica es, en principio, totalmente distinto que el de pastas químicas dado que se basa en métodos de ahorro de lignina en lugar de eliminación de lignina. El blanqueo de pastas mecánicas tiene como objetivo cambiar los grupos cromóforos de los polímeros de la lignina a una forma incolora. Así, el blanqueo de la pasta aumenta sobre todo la blancura de la pasta con pérdidas mínimas de materia seca y del rendimiento global de la madera. El efecto no es permanente y el papel amarillea un poco con el tiempo. Dado que no produce un aumento permanente de la blancura, la pasta mecánica blanqueada es más adecuada para papel de periódico y de revista que libros o papeles de archivo. El blanqueo con ahorro de lignina se realiza en 1-2 etapas dependiendo de los requisitos finales de blancura de la pasta. Las etapas de blanqueo se distinguen según el agente de blanqueo aplicado.

Blanqueo reductor con ditionito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

En el blanqueo con ditionito (abreviatura: S) el material orgánico de la pasta no se disuelve. Con un consumo típico de 8 a 12 kg de ditionito por tonelada de pasta, esta técnica da lugar a una pérdida mínima de rendimiento, y la blancura puede aumentarse hasta en 12 unidades desde un nivel inicial de blancura 58-70 ISO hasta un 70 - 76% ISO [Finnish BAT Report, 1997]. Un valor de pH conveniente es de 5,6 a 6,5, y una temperatura de hasta 70°C acelera el proceso de blanqueo. El ditionito residual en la pasta puede causar corrosión en los componentes metálicos que siguen en el proceso. En la mayoría de las fábricas se utiliza un agente quelante de metales (ej: EDTA, DTPA) para prevenir la degradación del ditionito. La consistencia en el blanqueo convencional al hidrosulfito es del 3-5%. El bombeo a consistencia media (MC) ha permitido el blanqueo a una consistencia del 10-12% con una mayor eficacia.

Blanqueo oxidante con peróxido (H_2O_2)

La pérdida de rendimiento en el blanqueo con peróxido (abreviatura: P) es de aproximadamente un 2%, debido principalmente a la alcalinidad durante el blanqueo que produce un aumento de la disolución de sustancias orgánicas de la madera (y un aumento de la carga de contaminación).

El blanqueo con peróxido influye en las características de la pasta - además de una mayor blancura, la resistencia de la pasta mejora, se reduce el contenido de extractivos y mejora la

capacidad de absorción de agua. Aplicando la máxima cantidad económica de peróxido puede conseguirse un aumento de la blancura de hasta 20 unidades hasta un nivel de 78 - 84% ISO [Finnish BAT Report, 1997]. El proceso de blanqueo produce una menor blancura en presencia de iones de metales pesados. Por lo tanto, se agregan agentes quelantes (ej: EDTA, DTPA) antes del blanqueo para que formen complejos con los metales pesados (Fe, Mn, Cu, Cr), lo que evita que la pasta se decolore y el peróxido se descomponga. El EDTA y el DTPA contienen nitrógeno, que aparecerá en las aguas residuales. La introducción de una etapa de lavado entre el pulpage y el blanqueo es eficaz en la reducción de los metales problemáticos y puede reducir pues la cantidad necesaria de agente quelante y mejorar la eficacia del peróxido aplicado. Por último, la pasta blanqueada se acidula con ácido sulfúrico o dióxido de azufre a un pH de 5 - 6. El moderno blanqueo con peróxido se realiza a un nivel de consistencia del 25 - 35%.

Los dos procedimientos de blanqueo también se utilizan de forma combinada. Puede alcanzarse una blancura final más alto con el blanqueo con peróxido que con ditionito, pero la opacidad se ve reducida. La blancura alcanzable en la pasta depende de la blancura inicial de la pasta, que a su vez depende de la materia de base y del proceso. En particular, está en función no sólo de la especie de madera sino también del grado de degradación de la pasta celulósica, que es importante.

4.2 Niveles actuales de consumos y emisiones

4.2.1 Esquema de entradas y salidas

En la Figura 4.5 se presenta un esquema de las entradas de materia prima y energía, así como de las salidas de productos, residuos para reutilización y emisiones principales (emisiones, residuos, etc.) de las fábricas de pasta mecánica y papel.

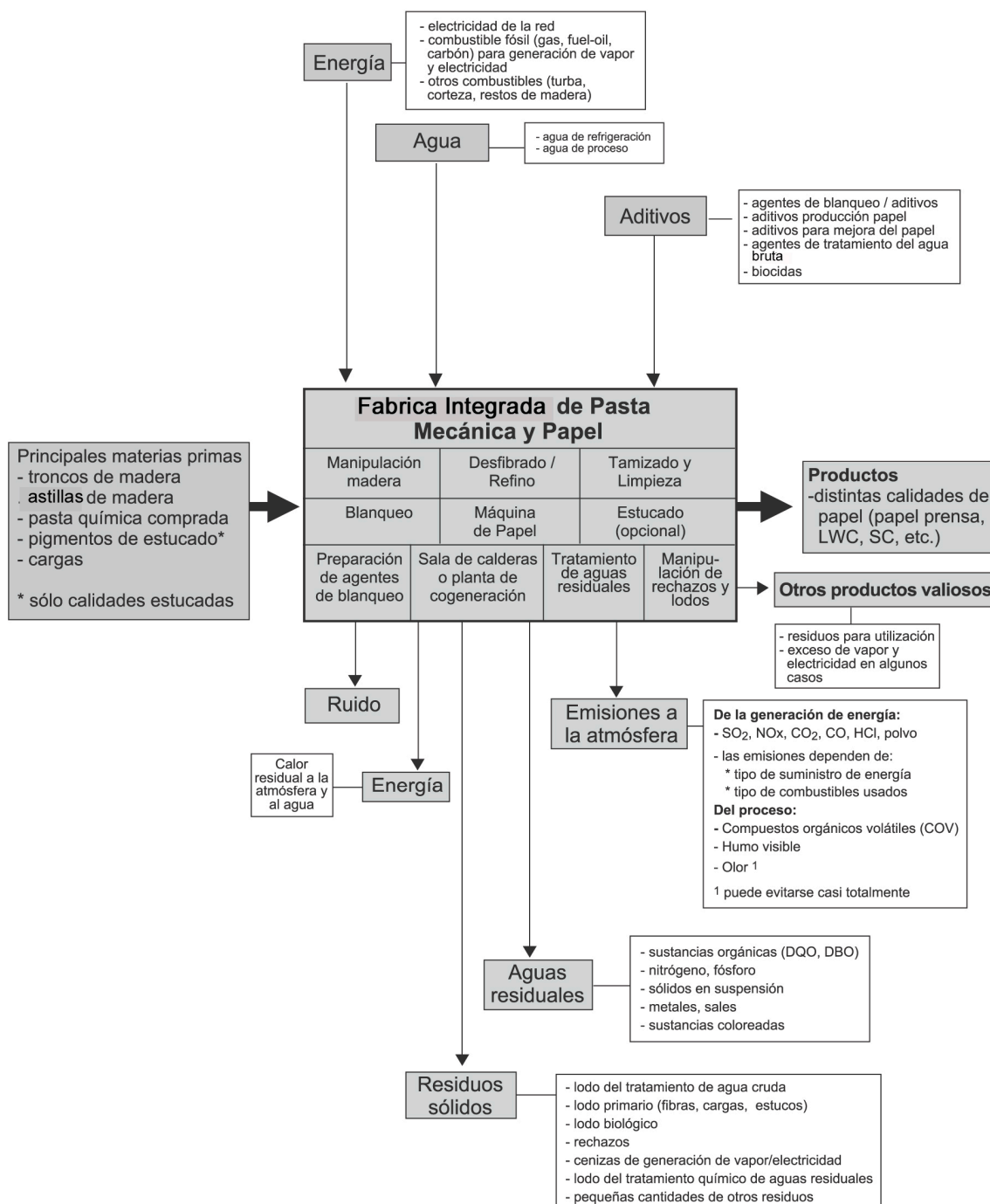


Figura 4.5.: Esquema de flujos de masas de una fábrica integrada de pasta mecánica y papel. La presencia de algunas sustancias depende principalmente de la calidad del papel y de las propiedades que deba tener, así como del tipo de suministro de energía.

A continuación se recopilan los niveles de consumos y emisiones para las materias primas usadas y las emisiones generadas en toda la fábrica. Las fábricas de pasta mecánica están casi siempre integradas con la producción de papel. Además, muy a menudo pueden mezclarse, y en el caso de los papeles de impresión, se utiliza una cantidad relativamente alta de cargas y estucos.

Por consiguiente, los niveles típicos de consumos y emisiones indicados en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 hacen referencia a fábricas integradas de pasta mecánica y de papel. Se presentan para dar una descripción rápida sobre los materiales usados y para servir de guía sobre las consecuencias para el medio ambiente que cabe esperar. No son representativos en el sentido de que los valores dados cubran todo el rango de valores observados en Europa, sino que representan más bien casos concretos de este tipo de fábricas.

Los niveles totales de consumos y emisiones de una fábrica integrada de papel que parte de madera y fabrica papel de impresión estucado (ULWC, LWC y HWC) a partir de TMP se indican en la Tabla 4.2. Esta fábrica utiliza una mezcla de materias primas para aportar fibra, consistentes en un 60% de TMP fabricada in situ y un 40 % de pasta comprada (pasta kraft blanqueada y en menor cantidad pasta destintada).

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Astillas de serrerías ¹⁾	361	kg/t	Papel de impresión	1000	kg/t
Pasta comprada ¹⁾	259	kg/t	Exceso de energía	132	kWh/t
Pigmentos (caolín, talco, CaCO ₃) ¹⁾	343,5	kg/t	Emisiones		
Agentes de blanqueo/aditivos ²⁾	27	kg/t	CO ₂ ³⁾		kg/t
Aditivos para producción de papel ²⁾	4,6	kg/t	CO ₂ , regenerativo ³⁾		kg/t
Aditivos para la mejora del papel ²⁾	57,3	kg/t	NOx ³⁾		g/t
Agentes químicos para el tratamiento del agua cruda	4,2	kg/t	CO ³⁾		g/t
Biocidas	Sin datos	kg/t	SO ₂ ³⁾		g/t
			Polvo ³⁾		g/t
Energía			DQO	2,7	kg/t
Gas natural	294	kWh/t	DBO ₅	0,17	kg/t
Fuel-oil	aprox. 3,2	kWh/t	Sólidos en suspensión		g/t
Electricidad comprada	1852	kWh/t	AOX	< 0,4	g/t
Vapor comprado	1140	kWh/t	Nitrógeno	24	g/t
			Fosfato	4,3	g/t
Demanda de agua			Caudal aguas residuales	14,1	m ³ /t
Aguas superficiales	22	m ³ /t	Agua de refrigeración	12	m ³ /t
Agua de pozos	4,4	m ³ /t	Residuos		
Agua potable (instalaciones sanitarias)	0,2	m ³ /t	Desechos y lodo (secados a un 75 % de humedad)	46	kg/t
			Serrín	8,8	kg/t
			Chatarra	2,5	kg/t
			Residuos peligrosos (ej: aceites, mezclas o disolventes usados)	0,3	kg/t

Notas explicativas:

- 1) El material fibroso se indica totalmente seco, es decir, sin humedad. De hecho, el contenido medio de humedad de la materia prima utilizada es del 50 % para astillas de madera, del 9 % para pasta kraft comprada, del 45 % para pasta destintada (DIP) y del 0,2 % para pigmentos. El contenido de humedad del producto final es del 4-5 %.
- 2) Los aditivos se expresan como soluciones comerciales que contienen distintas cantidades de agua. Como agentes químicos de blanqueo se utilizan: 30 kg/t H₂O₂, 15 kg/t NaOH, 15 kg/t de silicato sódico y 3 kg/t DTPA. Como aditivos se utilizan: 43 kg/t de aglomerantes sintéticos (látex), < 8 kg/t de almidón, 1 kg/t de agente de retención (poliacrilamida), agentes fijadores, poli DADMAX, estabilizantes de dureza, diversos biocidas.
- 3) Las emisiones a la atmósfera se han podido calcular a partir de las emisiones generadas en la planta de energía externa (principio de combinación de calor y electricidad) que suministra electricidad y vapor a la fábrica de papel. Toda la electricidad requerida para la planta de TMP y el 75% del calor necesario para toda la instalación se basan en el suministro externo. El gas natural se utiliza para secado por infrarrojos. El fuel-oil se utiliza sólo para la calefacción de las naves.

Tabla 4.2: Valores medios anuales (año de referencia: 1997) de los niveles de consumos y emisiones de un fábrica alemana para la fabricación de papel de impresión que contiene pasta mecánica (LWC, ULWC, HWC) basado en TMP con blanqueo oxidante (60 % del material fibroso). Producción total de la fábrica: 370.000 t/a de papel de impresión; Los efluentes se tratan en un tratamiento biológico de dos etapas (lodo activado)

Los consumos totales típicos de una fábrica de CTMP se indican en la Tabla 4.3.

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Madera	1090	kg/t	Pasta CTMP	1000	kg/t
Na ₂ SO ₃	25 (20 - 30)	kg/t	Exceso de energía	600 - 1200 ¹⁾	kWh/t
DTPA	2 (1 - 2,5)	kg/t	Emisiones		
Agentes de blanqueo (H ₂ O ₂)	10 - 40	kg/t	NOx	250	g/t
Agentes químicos para el tratamiento del agua bruta	0 - 2	kg/t	SO ₂	240	g/t
Silicato sódico	8 - 30	kg/t	Polvo	50	g/t
Energía			DQO	15 (12 - 25)	kg/t
			DBO ₅	1 (0.5 - 2)	kg/t
			Sólidos en suspensión	0.5 (0.1 - 2)	kg/t
			AOX	0	g/t
Restos de madera	600	kWh/t	Tot-N	400 (300-500)	g/t
Fuel-oil	200	kWh/t	Tot-P	10 (5 - 50)	g/t
Electricidad comprada	1800 (1500-3000)	kWh/t	Agua residual	20 (10-30)	m ³ /t
			Agua de refrigeración	0 - 20	m ³ /t
Demanda de agua			Residuos		
			Desechos y lodo	30 (15 - 40)	kg/t
			Cenizas	7	kg/t
			Residuos peligrosos (ej: aceites, mezclas o disolventes usados)	10	kg/t
Nota:					
1) Las cifras hacen referencia al caso en que no se aplica secado, es decir, producción integrada de pasta y papel. La energía calorífica puede aprovecharse en la máquina de papel.					

Tabla 4.3: Valores medios anuales de niveles de consumos y emisiones de fábricas de CTMP finlandesas. Los valores hacen referencia a una fábrica no integrada construida en 1985 con algún equipo modernizado; capacidad de producción: 110.000 t/a de CTMP blanqueada (CSF 400) para papeles higiénicos. Los valores entre paréntesis reflejan los niveles típicos de las fábricas de CTMP. Los efluentes se tratan en una planta de tratamiento biológico (lodo activado).

4.2.2 Niveles de consumos y emisiones derivados de las unidades de proceso

En la fabricación de pasta mecánicas y quimicomecánicas, los principales focos de preocupación medioambiental son los efluentes de aguas residuales, el consumo relativamente alto de energía, que se genera a menudo in situ, y los residuos y el lodo de diversas partes del proceso.

A continuación se discuten los consumos más relevantes de materias primas y de emisiones al agua, al aire y al suelo (residuos) así como aspectos de la energía. Se cubren los aspectos siguientes:

- Consumo de madera
- Consumo de agua
- Emisiones de aguas residuales
- Emisiones a la atmósfera de refinós, generación de energía y calderas de corteza
- Generación de residuos sólidos
- Consumo de productos químicos
- Consumo de energía
- Ruido

En cuanto a las cifras reportadas de emisiones y consumos, debe tenerse en cuenta que, debido al uso de distintos métodos de medición en los diversos Estados Miembros, los datos no siempre son estrictamente comparables de un país a otro (ver ANEXO III para más información sobre este aspecto, pero los diversos métodos usados no alteran las conclusiones apuntadas en este documento).

4.2.2.1 Consumo de madera

En la producción de pastas mecánicas, la madera debe ser suministrada en troncos debido a la construcción de las máquinas de desfibrado. En procesos de fabricación de pastas TMP y de CTMP, la madera se utiliza en forma de astillas y por lo tanto ambos procesos pueden utilizar rollizos o astillas de serrerías, o de la industria de contrachapados o conglomerados.

Los altos rendimientos son característicos de la fabricación de pasta mecánica en la que las pérdidas que ocurren durante el proceso, principalmente en forma de sustancias leñosas disueltas, son bajas. El consumo de madera está normalmente entre 2,4 m³/ADt y 2,6 m³/ADt para pasta mecánica, 2,3 m³/ADt y 2,8 m³/ADt para TMP y 2,8 m³/ADt y 3.0 m³/ADt de pasta quimicotermomecánica [CEPI, 1997b].

4.2.2.2 Utilización del agua

En los procesos de fabricación de pasta mecánica, los sistemas del agua son generalmente bastante cerrados para mantener temperaturas de proceso elevadas. El agua fresca se utiliza solamente para sellado y refrigeración, ya que el exceso de aguas clarificadas de la máquina de papel se utiliza generalmente para compensar el agua que sale del circuito con la pasta (5-10 m³/tonelada de pasta) y los residuos. Para una fábrica de TMP las fuentes de emisiones al agua son la manipulación de la madera, la limpieza y el blanqueo (ver figura 4.3).

La mayoría de las fábricas de pasta mecánica son fábricas integradas, es decir, la gestión de su agua y de su energía está estrechamente relacionada con la fábrica de papel que fabrica diversas calidades de papel estucado o sin estucar. La Tabla 4.4 muestra los rangos típicos de utilización global de agua para los procesos de fabricación de pasta mecánica (GW), TMP y CTMP.

Proceso	m ³ /ADt de pasta
Mecánico	5 - 15
TMP	4 - 10
CTMP	15 - 50

Tabla 4.4: Consumo de agua en la fabricación de pasta mecánica. No se incluye el consumo de agua de la fábrica de papel

En la Figura 4. se muestran las fuentes de emisiones al agua y las principales sustancias preocupantes de una fábrica de CTMP. Se aplica un estricto sistema de agua a contracorriente, es decir, se utiliza agua de lavado limpia para la última prensa de lavado y se conduce hacia el flujo de la fibra. El filtrado altamente contaminado de la primera prensa se envía al tratamiento de efluentes. La corriente líquida después de la separación de las fibras puede tratarse por flotación para extraer los sólidos del agua antes de enviarla también a la planta de tratamiento de aguas residuales. Las aguas de sellado y de refrigeración se recogen y se utilizan como agua de proceso. Si el volumen del tanque de agua blanca es suficiente, es decir, no se requiere adición de agua fresca para mantener los niveles del tanque, se requiere un consumo de unos 10 m³ de agua fresca por tonelada de pasta. Si las características del producto final requieren un contenido bajo de extractivos (en el caso de pasta para cartón o pasta fluff) o finos (en caso de la

pasta fluff), puede ser necesaria más agua fresca. Por otra parte, un tratamiento interno del agua blanca de la primera etapa de lavado mediante una unidad de flotación o floculación da lugar a un consumo de agua por debajo de 10 m³/t. La unidad de flotación / floculación elimina extractivos y finos así como un 40 - 50 % de la DQO.

4.2.2.3 Emisiones de aguas residuales

La Figura 4. 6 ofrece un esquema de las emisiones al agua de las fábricas de CTMP.

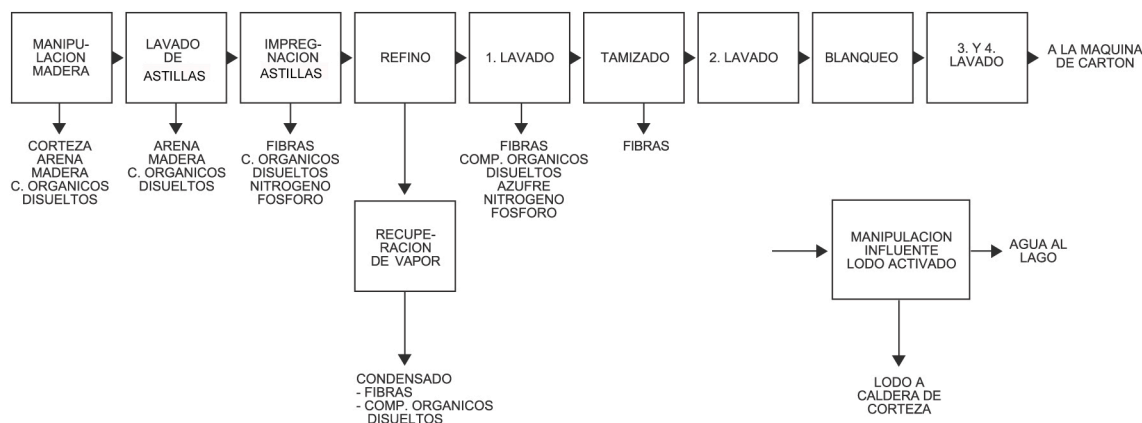


Figura 4. 6: Emisiones del agua de una fábrica de CTMP

Las emisiones al agua están dominadas por las sustancias orgánicas que consumen oxígeno, que se pierden en la fase acuosa en forma de sustancias orgánicas disueltas y dispersadas. Un rendimiento del 92-97 % significa que 30-80 kg/tonelada de madera en forma de sustancias sólidas y disueltas se pierden durante el proceso. La producción depende de la entrada de energía y de la temperatura del proceso, así como del uso de productos químicos. Las especies de madera, las variaciones estacionales y las condiciones de almacenaje de la madera también influyen en la cantidad de sólidos disueltos. Durante el desfibrado mecánico, la estabilidad de la celulosa y la lignina no se ve afectada, pero en el agua de proceso se disuelven y dispersan carbohidratos simples, hemicelulosas, ligninas, extractivos (como ácidos grasos y resinosos), proteínas y sustancias inorgánicas como nitrógeno y fósforo.

Al disminuir el rendimiento y aumentar la temperatura, la carga orgánica del agua del desfibrado aumenta.

En la tabla 4.5 se detallan las cargas específicas medidas en forma de DBO₅, DQO y nutrientes (fósforo y nitrógeno) para diversas pastas.

Proceso de desfibrado	Rdto. [%]	DBO ₅ [kg/t]	DQO [kg/t]	Nitrógeno [g/t]	Fósforo [g/t]
GW	96-97	8.5-10	20-30	80-100	20-25
PGW	95-96	10-13	30-50	90-110	20-30
PGW-S	95-96	11-14	45-55		
RMP	95-96	10-15	40-60	90-110	20-30
TMP	94-95	13-22	50-80	100-130	30-40
CTMP (CTMP blanqueada)	92-94 (91-93)	17-30 (25-50)	60-100 (80-130)	110-140 (130-400)	35-45 (50-60)

Tabla 4.5: Cargas específicas típicas como DBO₅, DQO y nutrientes en el agua de la fabricación de pasta mecánica de abeto noruego (*Picea abies*) antes del tratamiento externo. [Finnish BAT Report, 1997 y cifras entre paréntesis basadas en información personal de fábricas finlandesas de CTMP]. La DBO₇ ha sido convertida a DBO₅ mediante la fórmula $DBO_7/1,16 = DBO_5$ propuesta en el mismo informe

Si la pasta mecánica se blanquea en un paso alcalino con peróxido, las emisiones de contaminantes orgánicos aumentan considerablemente debido a la alcalinidad durante el blanqueo. La pérdida de rendimiento en conexión con el blanqueo con peróxido es de 15-30 kg/tonelada, que corresponde a una carga adicional de aproximadamente 10-30 kg O₂/tonelada medidos como DQO respectivamente.

Los valores más elevados de la tabla superior están relacionados con pastas mecánicas blanqueadas al peróxido. Mientras que en fábricas de TMP, usando sólo hidrosulfito como agente blanqueante, se han medido niveles de DQO de 2.500 – 3.000 mg O₂/l relativos a un caudal de agua de la fábrica de TMP de 3-4 m³/t (máquina de papel no incluida). Una fábrica de pasta mecánica ha detectado concentraciones de DQO antes del tratamiento entre 1.700 y 2.000 mg O₂/l.

La descarga del nitrógeno en la fabricación de pasta mecánica se origina en la madera y los agentes quelantes (ej: EDTA, DTPA) utilizados en el blanqueo. Una dosificación de 2-3 kg EDTA/tonelada de pasta produce una descarga adicional de 150-220 g nitrógeno/tonelada de pasta. La descarga de fósforo depende de la madera. Las emisiones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) son bajas pero pueden tener un impacto negativo debido a la eutrofización.

Un 20-30% de la corteza (referido a corteza seca) es soluble en agua, y de ella el 50-60 % corresponde a sustancias fenólicas y alrededor del 25% a hidratos de carbono solubles. Dependiendo del almacenaje de la madera, pueden también encontrarse ácidos carboxílicos y alcoholes en el efluente de la planta de descortezado. Algunos compuestos descargados de fábricas muestran efectos tóxicos sobre organismos acuáticos antes del tratamiento, como por ejemplo algunos de los componentes extractivos como ácidos resinosos que pueden lixiviar de la corteza en la manipulación de la madera. Las aguas residuales de descortezado se tratan generalmente, junto con otras corrientes de aguas residuales, en plantas de tratamiento externas.

Los aditivos usados para la fabricación de papel pueden causar una parte medible de la descarga orgánica después del tratamiento ya que algunas sustancias son fuertemente degradables.

Las emisiones de sustancias coloreadas pueden tener un efecto negativo sobre las especies vivas del medio receptor, ya que reducen la transparencia del agua.

Las emisiones después del tratamiento de las fábricas dependen principalmente del diseño y de la operación de los procesos que causan la mayor parte de descargas, así como de la planta de tratamiento de aguas residuales aplicada. La eficacia del tratamiento biológico de aguas residuales en las fábricas de pasta mecánica es similar a la de las fábricas de pasta química. La reducción de la DQO es sin embargo normalmente más alta, con niveles entre el 70 y el 90%. Por otra parte, en varias plantas se emplea el tratamiento terciario que limpia el efluente, reduciendo aun más las descargas. Esto es particularmente cierto para contaminantes asociados con los SST.

Por otra parte, se proporcionan valores mucho más altos para fábricas que emplean tratamientos de efluentes menos eficaces.

Proceso de fabricación	Caudal m ³ /t	DBO ₅ kg/t	DQO kg/t	tot-P g/t	tot-N g/t	SST kg/t
CTMP	8-40	0,5-9	12-30	5-50	200-500	0,1-12
TMP	15-25	0,2-1,7	2- 8	5-15	60-160	0,5-1,5

Tabla 4.6: Emisiones alcanzadas con tratamiento con lodo activado en fábricas de pasta mecánica
[Comentarios de la EPA sueca e información de fábricas de CTMP finlandesas]

Para las plantas de CTMP hay algunas alternativas de tratamiento de las aguas residuales: el tratamiento con lodo activado en una o dos etapas con o sin tratamiento químico; tratamiento interno del agua blanca de la primera etapa más tratamiento con lodo activado para otros

efluentes; evaporación y combustión de las aguas residuales contaminadas y del tratamiento con lodo activado del resto; una combinación de tratamiento anaerobio y aerobio de las aguas residuales. El tratamiento con lodo activado es actualmente la técnica más común y, si está diseñado correctamente, permite alcanzar fácilmente una reducción de la DBO del 98% y una reducción de la DQO del 85%. La razón de que el tratamiento anaerobio no se utilice más comúnmente para los efluentes de fábricas de CTMP es que los sistemas anaerobios son relativamente sensibles a las perturbaciones.

Hay un número creciente de fábricas de papel en Europa que fabrican y utilizan no sólo un único tipo de pasta, sino diversos tipos de pastas en un mismo sitio. Por ejemplo, una fábrica de papel que fabrica principalmente papel prensa y papeles de impresión SC puede utilizar una combinación de materias primas como pasta mecánica (desfibrado mecánico y TMP), pasta destintada de papeles reciclados y una cierta cantidad de pasta química comprada.

En este tipo de fábricas el sistema del agua está estrechamente ligado entre los distintos procesos. Una fábrica de papel alemana, que fabrica papel prensa y papeles SC a partir de 45.000 t TMP/a, 85.000 t/a de pasta mecánica, 220.000 t/a de DIP, 45.000 de pasta kraft comprada y 93.000 de pigmentos, ha informado que los agentes contaminantes orgánicos antes del tratamiento son 14 kg DQO/t y 6,3 kg DBO₅/t respectivamente. Después del tratamiento biológico en un sistema de lodo activado se han medido los siguientes valores: DQO: 3,4 kg/t, DBO₅: 0,1 kg/t, caudal total de agua: 12 -13 m³/t; nitrógeno: 0,2-4,2 mg/l, fosfato: 0,3-1,3 mg/l, AOX: 0,11 mg/l.

4.2.2.4 Emisiones a la atmósfera

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Las emisiones atmosféricas de la fabricación de pasta mecánica están vinculadas principalmente a las emisiones de COVs. Las fuentes de emisiones de COVs son la evacuación del aire de los reguladores del lavado de astillas y otros reguladores, así como del lavado espumoso en el que se condensa el vapor liberado del desfibrado mecánico contaminado con componentes volátiles de la madera.

Las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles dependen de la calidad y frescura de la materia prima (madera) y de las técnicas aplicadas. Las sustancias emitidas incluyen ácidos acéticos, ácidos fórmicos, etanol, pinenos y terpenos. Una fábrica alemana de TMP ha notificado las concentraciones siguientes de sustancias orgánicas **antes** del tratamiento externo:

Etapas de proceso	Emisión de sustancias orgánicas
Lavador de espuma	- C orgánico total: 6.000 mg/m ³ (máximo valor individual: 9600 mg/m ³) - pinenos ¹⁾ : 13.000 mg/m ³
Lavado de astillas de madera	- C orgánico total: 300 mg/m ³ - pinenos ¹⁾ : 500 mg/m ³
Evacuación del aire de otros reguladores	- C orgánico total: 150 mg/m ³ - pinenos ¹⁾ : 50 mg/m ³
1) Principalmente pinenos (C ₁₀ H ₁₆), aunque también se incluyen otras sustancias orgánicas volátiles de la clase III de las Instrucciones Técnicas Alemanas sobre Control de la Calidad del Aire; si el flujo total de masa es > 3 kg/h, la concentración de masa no debe exceder 150 mg/m ³	

Tabla 4.7: Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de una fábrica de TMP alemana antes del tratamiento. Una fábrica de CTMP informó de 200 g de terpenos por tonelada de pasta antes del tratamiento

Hay distintas opciones para reducir las emisiones de COV. La recuperación de terpenos de los condensados contaminados que contienen principalmente terpenos o la incineración del gas de escape en la planta de energía o en un horno separado son alternativas disponibles. En ese caso,

se emite 1 kg COV/t del proceso. Puede haber algunas emisiones de COVs del tratamiento de aguas residuales, y también se producen emisiones no cuantificadas de los montones de astillas.

En la Figura 4.7 se presenta un esquema de las emisiones a la atmósfera de una fábrica de CTMP.

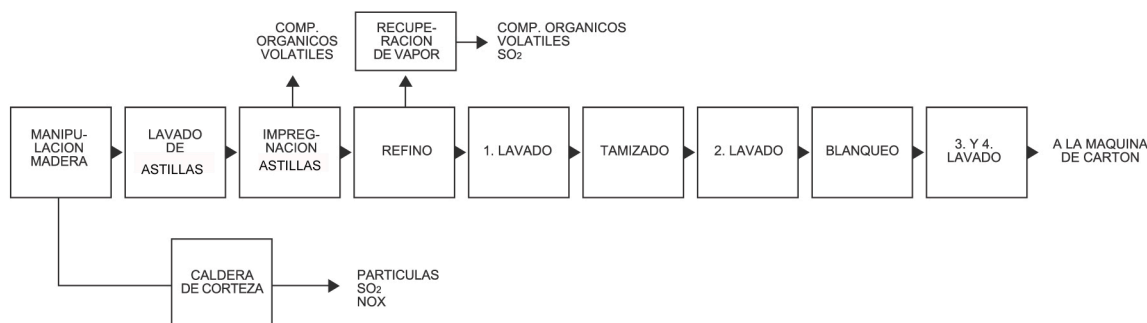


Figura 4.7: Emisiones a la atmósfera de fábricas de CTMP

Las emisiones atmosféricas tienen su origen principalmente en la impregnación de astillas y la recuperación de vapor (COVs), así como en las calderas de corteza en las que se queman residuos de madera (partículas, SO₂, NO_x).

Emisiones de la generación de energía

Al igual que en otras fábricas de pasta y papel, la fabricación de pasta mecánica genera emisiones a la atmósfera que no están relacionadas con el proceso, sino que están relacionadas principalmente con la generación de energía por la combustión de diversos tipos de combustibles fósiles o de residuos de madera renovables. Los combustibles fósiles usados son carbón, corteza, fuel-oil y gas natural. En una fábrica de papel integrada típica que utilice desfibrado mecánico, se genera vapor a alta presión en una planta de energía. La energía se transforma parcialmente en electricidad en un turbogenerador de contrapresión, y el resto se utiliza en el secado del papel. Las plantas de energía que queman combustibles sólidos tienen precipitadores electrostáticos para la eliminación de partículas de los humos. La emisión de dióxido de azufre se limita utilizando combustibles selectos. Según las condiciones locales, hay fábricas de papel en Europa que utilizan diversas cantidades de energía de fuentes externas.

Emisiones de las calderas de corteza

En la producción de pastas mecánicas de refino, la corteza quitada se quema generalmente en calderas de corteza. Junto con la corteza pueden incinerarse partes de los desechos y del lodo. Hay algunas fábricas de pasta mecánica que no utilizan rollizos como materia prima sino astillas de madera de serrerías.

4.2.2.5 Generación de residuos sólidos

El residuo sólido eliminado de los procesos de fabricación de pasta mecánica consiste en corteza y residuos de madera del descortezado, del lavado y del tamizado de astillas (aproximadamente un 1,5 % de desecho), de los desechos de fibra (lodo primario), ceniza de la producción de energía y exceso de lodo del tratamiento biológico externo de aguas residuales. Los residuos que contienen madera se queman generalmente en la caldera de corteza. Generalmente las cenizas se desechan o se utilizan en el sector de materiales de construcción.

La principal fracción de residuos consiste en distintos tipos de lodo, especialmente lodo primario que contiene fibra y exceso de lodo del tratamiento biológico de aguas residuales. La cantidad de residuos para desecho puede reducirse aumentando la capacidad de deshidratación de la prensa de lodo. Si el lodo debe ser transportado para tratamiento adicional, por ejemplo

incineración, es razonable secar el lodo con el exceso de calor de proceso (es decir, aire caliente) hasta un contenido de materia seca del 75 %.

Las opciones para su uso ulterior dependen de las cantidades y de las calidades del lodo producido. El lodo primario puede utilizarse como material adicional en la fabricación de ladrillos o puede incinerarse in situ. A fin de tener soluciones adecuadas para el tratamiento ulterior del lodo y de los desechos, es razonable conservar los distintos tipos de lodo por separado.

Un análisis químico del lodo primario y secundario de una fábrica alemana de pasta mecánica y papel mostró los resultados siguientes:

Parámetro	Unidad	Lodo primario	Exceso de lodo
Contenido materia seca	%	47,9	31,7
Sólidos volátiles	% SS	33,2	48,3
TCO	% SS	19	23
Arsénico	mg/kg SS	1,6	2,3
Plomo	mg/kg SS	41	22
Cadmio	mg/kg SS	< 0,67	< 0,67
Cromo _{total}	mg/kg SS	24	17
Cobre	mg/kg SS	238	71
Níquel	mg/kg DS	5,7	7,5
Mercurio	mg/kg DS	0,08	0,09
Zinc	mg/kg DS	141	135

Tabla 4.8: Composición del lodo primario de los tanques de sedimentación y composición del exceso de lodo de la planta de lodo activado. Informe de una fábrica alemana de pasta mecánica (GW & TMP)

4.2.2.6 Consumo de productos químicos

Los principales productos químicos utilizados para la fabricación de pasta mecánica son los agentes de blanqueo y, en el caso de CTMP, los agentes químicos empleados para la impregnación de las astillas.

Si se aplica blanqueo con ditionito (NaHSO_3), se mezcla con la pasta una carga máxima de unos 8 – 12 kg de ditionito por tonelada de pasta. En la mayoría de fábricas se agrega un agente quelante de metales (ej: EDTA, DTPA).

El blanqueo oxidativo con peróxido (H_2O_2) se realiza en un rango de pH de 10-10,5. El pH tiene que ajustarse con hidróxido sódico (NaOH). La máxima cantidad económica de peróxido es de un 3 - 4% (solución al 50%) de la cantidad de pasta. Se agrega silicato sódico (1,5 - 4 % de la cantidad de pasta) para tamponar el pH y estabilizar el peróxido. Los agentes quelantes (ej: EDTA, DTPA) se utilizan para formar complejos con los metales pesados (Fe, Mn, Cu, Cr), lo que evita que la pulpa se decolore y el peróxido se descomponga. La dosificación de agentes quelantes es de unos 5 kilogramos por tonelada de pasta. El EDTA y el DTPA son fuertemente degradables y contienen nitrógeno, que aparecerá en las aguas residuales. La pasta blanqueada se acidula por último con ácido sulfúrico o dióxido de azufre a un pH de 5-6.

Las gamas de productos químicos usados varían ampliamente, ya que dependen del proceso principal utilizado para el blanqueo de la pasta mecánica. Por ejemplo, si se utiliza blanqueo reductor con ditionito, es H_2O_2 usado, H_2O_2 , NaOH , NaSiO_3 y $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{SO}_2$ no se utilizan en absoluto ("0"). Además, la calidad de la madera es un factor importante. El desfibrado de astillas de serrerías produce una menor blancura inicial de la pasta (5 - 6 puntos más bajo) que el desfibrado de astillas de madera de rollizos frescos. Por lo tanto, este último requiere menos

productos químicos de blanqueo para alcanzar una blancura comparable. Para la pasta de madera fresca, un blanqueo menos contaminante puede ser suficiente.

Sustancias	Cantidad de productos químicos utilizados para GWP [kg/t]	Cantidad de productos químicos utilizados para TMP [kg/t]	Cantidad de productos químicos utilizados para CTMP [kg/t]
NaHSO ₃	0 - 12	0 - 12	-
H ₂ O ₂	0 - 30	0 - 40	0 - 40
NaOH	?	0 - 20	0 - 25
NaSiO ₃	0 - 40	0 - 40	0 - 40
EDTA/DTPA	0 - 5	0 - 5	0 - 5
H ₂ SO ₄ /SO ₂	-	-	0 - 10
Na ₂ SO ₃	-	-	25 - 30

Tabla 4.9: Consumo de los productos químicos principales en kg/t para calidades blanqueadas de pasta mecánica. Todos los consumos de productos químicos se expresan como soluciones comerciales con diversas cantidades de agua

En las fábricas integradas de pasta mecánica pueden usarse muchos otros aditivos, según el producto de papel final (para más información sobre el uso de aditivos, ver ANEXO I).

4.2.2.7 Consumo de energía

El consumo de energía específica en la fabricación de pasta mecánica depende del proceso de desfibrado particular, de las características de la materia prima y, en gran medida, de las demandas de calidad de la pasta fijadas por el producto final. El valor de desgote (DesgoteEstándar Canadiense o Canadian Standard Freeness = CSF) caracteriza las propiedades de drenaje de la pasta y se utiliza generalmente para especificar la calidad de la pasta. Un valor bajo de desgote indica una pasta de drenaje lenta con un alto grado de fibrilación. Para la fabricación de una pasta con un menor desgote (una mejor resistencia) el aporte de energía para el desfibrado o el refino aumenta. Además de las características de drenaje, la distribución entre las fibras largas y el material fino en una pasta específica, así como y la suavidad de las fibras, se controlan por el aporte de energía. El tipo de papel y cartón en el que se utiliza la pasta mecánica determinan los requisitos de desgote, blancura y otras características. El papel de impresión que contiene pasta mecánica, el papel de revista, como por ejemplo el papel de revista LWC o SC (desgote 20-60 ml CSF) y el papel prensa (desgote 80-150 ml CSF) son los productos más comunes. Las pastas también se utilizan en cartulina (desgote 450-750 ml CSF), papel tisú (300 ml CSF) y fluff (700 ml CSF).

Sólo una parte del trabajo mecánico aplicado en la desfibradora o el refino se utiliza para liberar las fibras de la madera. El resto de la energía aplicada se convierte por la fricción en calor y una parte de la misma puede recuperarse en forma de agua caliente o vapor que pueden utilizarse para el secado del producto final. El mayor potencial de recuperación de energía del desfibrado mecánico está limitado a la parte del proceso que se realiza a presión. La cantidad de energía recuperable no es un porcentaje constante del aporte de energía total en todo el rango de escurrimiento, ya que, por ejemplo, una pasta con un desgote más bajo implica más refino secundario o terciario a presión atmosférica. La Tabla 4.10 muestra los rangos típicos de consumo de energía y de los índices de recuperación.

Así, para la pasta mecánica por ejemplo, el consumo de energía va desde unos 1100 kWh/t a CSF 350 hasta unos 2000 kWh/t a CSF 40 sin recuperación de energía. La variante PGW consume entre unos 1300 kWh/t a CSF 300 hasta unos 2300 kWh/t a CSF 40, pero hasta un 30% del aporte bruto de energía puede recuperarse como agua caliente, mediante intercambio

Pasta mecánica y desgote, ml CSF	Consumo de energía (kWh/t de pasta)	Energía recuperable	
		Como agua caliente [%]	como vapor [%]
GW 350-30	1100-2200	20	
PGW 350-30	1100- 2200	30	20
PGW-S 350-30	1100-2300	30	20
RMP 350-30	1600-3000	30	20
TMP 400-30	1800-3600	20	40-45
CTMP 700-30	1000-4300	20	40-45

Tabla 4.10: Consumo de energía y recuperación de energía en fabricación de pasta mecánica [TEKES, 1997]. El consumo de energía hace referencia a pasta seca en estufa (100%). Estas cifras son sólo valores medios, que pueden desviarse en $\pm 10\%$ debido a circunstancias locales de la fábrica, así como debido a imprecisiones en la medición

con la pasta caliente. La pasta RMP permite recuperar hasta un 30% de energía como agua caliente, y la TMP hasta un total de 60-65% en forma de agua caliente y vapor. Con TMP, trabajando a una presión de unos 6 bares, el proceso produce hasta 2 toneladas de vapor por tonelada de pasta, o aproximadamente una tonelada de vapor por MWh del refino. Generalmente, la cantidad de vapor recuperado depende de la energía específica consumida y es de unas 2 toneladas por tonelada de pasta a una presión de 2 a 4 bares.

El proceso TMP consume generalmente más energía que la fabricación de pasta mecánica. Por ejemplo, la pasta mecánica utilizada para la producción de papel SC y papel prensa consume en total unos 2.200 kWh/t y 1.600 kWh/t respectivamente, mientras que la pasta TMP consume unos 3.600 kWh/t y 2.500 kWh/t respectivamente.

La Tabla 4.11 muestra el consumo de energía en forma de calor y energía eléctrica en una fábrica sueca de TMP con una producción de 500.000 t/a de papel prensa, mientras que la Tabla 4.12 muestra el balance de energía para la misma fábrica.

Departamento	Calor de proceso [MJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Manipulación de la madera	150	50
Refino	0	2.110 ¹⁾
Lavado y tamizado	0	50
Blanqueo	0	75
Preparación agentes químicos blanqueo	0	5
Tamizado de la pasta blanqueada	0	35
Energía caldera	0	25
Total fábrica de pasta	150	2.350
Preparación de la pasta	0	235
Máquina de papel	5.300 ^{1) 2)}	350
Total fábrica de papel	5.300	585
Tratamiento de efluentes	0	39
Total por tonelada de papel	5.450	2.974
Notas:		
1) En una fábrica integrada de TMP finlandesa se informó de un mayor consumo de electricidad, del orden de 2.400 kWh/t para la etapa de refino (incluido el refino de desechos) y un valor menor de 4.800 MJ/t de consumo de calor de proceso para la máquina de papel, respectivamente [Finnish comments].		
2) Una fábrica sueca de papel prensa informa de una demanda de calor de unos 4 GJ/t para el secado de papel, un requisito que puede reducirse en un 10% con la instalación futura de una prensa de zapata.		

Tabla 4.11: Consumo de energía en una fábrica integrada con una capacidad de producción de 500.000 t/a de papel prensa a partir de pasta TMP [SEPA Report 4712-4, 1997]

Departamento	Calor [MJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Fábrica de pasta		
Vapor recuperado, sólo para uso en el proceso ¹⁾	+1500	
Energía caldera, vapor de proceso (sólo corteza propia)	+1500	
Generador de turbina		+100
Suministro externo	0	+2289
Consumo	-150	-2350
Tratamiento de efluentes	0	-39
Exceso de energía de la fábrica de pasta	+2850	0
Fábrica de papel		
Consumo	-5300	-585
Suministro externo ¹⁾	+2450	+585
Total suministro externo	2450	2874
Notas:		
1) Desde el punto de vista del fabricante de papel finlandés, la recuperación de calor del proceso TMP es considerablemente mayor. Para una fábrica integrada de papel prensa de 250.000 t/a basada en el proceso TMP se informó de un valor de recuperación de calor (vapor recuperado) de 3.450 MJ/t. Así, en este caso no hay necesidad de suministro externo de calor [comentarios finlandeses]		

Tabla 4.12: Balance de energía para una fábrica integrada sueca que fabrica 500000 t/a de papel prensa a partir de pasta TMP [SEPA Report 4712-4, 1997]

Una fábrica moderna integrada de CTMP finlandesa informó de las siguientes cifras de consumo eléctrico: manipulación de madera 20 - 30 kWh/ADt, refino (CSF 450) 1.600 – 1.900 kWh/ADt, blanqueo y tamizado unos 500 kWh/ADt. En total se requieren unos 2.100 – 2.400 kWh/ADt.

El balance energético y el grado de recuperación de calor dependen entre otras cosas de los costes de la energía en el país en cuestión. Si la energía de la red pública es relativamente barata, las fábricas pueden utilizar solamente una pequeña planta de energía para la producción del vapor (ej: una caldera de corteza) que se requiere para la máquina de papel, y la fábrica de TMP puede funcionar con electricidad contratada. La energía recuperada de los refinados será suficiente para producir el calor necesario para una segunda máquina de papel. Los países con precios comparativamente más elevados de la electricidad tienden a instalar plantas de energía más grandes para la generación de electricidad in situ, lo que produce la generación de un exceso de calor (menos recuperación de calor).

En la Tabla 4.13 se recogen los valores de consumo de energía de una fábrica no integrada de CTMP finlandesa.

Departamento	Calor [MJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Fábrica de pasta		
Vapor recuperado, sólo para uso en el proceso	+ 2700	
Suministro externo	0	+1650
Consumo	0	-1600
Tratamiento de efluentes	0	-50
Exceso de energía de la fábrica de pasta	+2700	0
Secado de pasta		
Consumo	-5600	- 150
Caldera de vapor (restos de madera y fuel-oil)	+2900	+ 150
Total suministro externo	2900	1800

Tabla 4.13: Balance de energía para una fábrica no integrada de CTMP finlandesa (CSF 400 ml)

4.2.2.8 Ruido (local)

La planta de descortezado, y en menor grado la máquina de papel y los refinados, generan ruido que puede controlarse aislando convenientemente la zona de descortezado. Los camiones y otros vehículos utilizados para transportar las enormes cantidades de materias primas y productos pueden causar ruido en la vecindad de la fábrica.

4.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

En este apartado se incluyen todas las técnicas **relevantes** disponibles comercialmente en la actualidad para la prevención o la reducción de emisiones y residuos, así como para reducir el consumo de energía y de materias primas, para instalaciones nuevas y existentes. Esta lista de técnicas no es exhaustiva y puede ser ampliada en revisiones del presente documento. Estas técnicas cubren medidas de proceso y tecnología de final de línea (end of pipe) y ofrecen posibilidades de mejora para alcanzar la prevención y control integrados de la contaminación.

En la Tabla 4.14 se recopila un resumen de técnicas para la reducción de las emisiones de la fabricación de la pasta química y quimicomecánica. En las filas se recopilan las distintas técnicas disponibles.

Se ha intentado indicar los posibles efectos sobre otros medios de cada técnica en la misma tabla. Puede concluirse que no es tarea fácil describir los efectos sobre otros medios de forma que no cause ningún conflicto. Hay muchas "zonas grises" en la evaluación de los efectos sobre otros medios. Además, pueden depender de otras técnicas, que pueden estar ligadas a una medida dada, a la referencia con la cual se compara una técnica y también al límite del sistema considerado. Por lo tanto, la evaluación cualitativa de los efectos sobre otros medios debe tomarse solamente como ayuda para los operarios o inspectores acerca de los efectos secundarios que podría producir una medida, y no solo es un punto de partida a la hora de considerar posibles desplazamientos de la contaminación. Los resultados de la evaluación no deben considerarse como imperativos. Además, la prevención y las medidas de control pueden evitar algunos de ellos. Además de otras cosas, el efecto sobre otros medios también dependerá de las condiciones específicas de cada fábrica. Por lo tanto, es difícil dar una definición general.

Sin embargo, la tabla puede indicar a qué medios ambientales (agua, aire, residuos, energía) está dirigida una medida. Los párrafos correspondientes, que están debajo, proporcionan la discusión detallada de cada técnica con más explicaciones.

Las fábricas de pasta mecánica, con muy pocas excepciones, están integradas con una fábrica de papel. Por lo tanto, hay una cierta superposición entre la fabricación de pasta mecánica y la preparación de pasta por una parte, y la fabricación de papel y los procesos asociados por otra. En estos casos se hará referencia a los capítulos respectivos. Esto es especialmente cierto para el consumo y la circulación de agua. No pueden describirse separadamente de la fábrica de papel.

Por último, algunas de las medidas y principios para la mejora del comportamiento medioambiental pueden aplicarse a fábricas de papel que trabajan con pasta mecánica suministrada, así como a otras fábricas de papel. En estos puntos se harán referencias cruzadas para evitar repeticiones innecesarias y para mostrar las semejanzas y diferencias entre la producción de diversas calidades de papel.

En las columnas, la tendencia de los efectos causados por diversas técnicas sobre las emisiones, el consumo de las materias primas y el funcionamiento de la fábrica se indican de forma cualitativa usando flechas hacia arriba "↑" y hacia abajo "↓". Las flechas hacia abajo "↓" indican ahorro de materias primas o de energía y una reducción de emisiones en los diversos medios, agua, atmósfera y suelo. que ventilan y que manchan. Las flechas hacia arriba "↑" indican un aumento de emisiones, del consumo y de los impactos sobre el proceso de producción. Algunas de las medidas para la prevención y el control de la contaminación presentadas en esta sección afectan a más de un medio ambiental (como agua, atmósfera o suelo) a la vez. Algunas técnicas pueden tener un impacto positivo y/o negativo en otros medios ambientales o sobre el consumo de materias primas y energía (efectos sobre otros medios).

Los efectos previstos serán mostrados usando las flechas. Una flecha entre paréntesis "(↑)" indica sólo un ligero aumento – a menudo despreciable – del consumo de energía, del consumo

de materias primas o de las emisiones al medio ambiente al aplicar una determinada medida. Los aspectos económicos (inversiones, costes operativos) no se incluyen en la tabla pero se explican en el texto. Los datos sobre economía pueden dar solamente una idea general e indicar los niveles de costes. Variarán con el diseño del conjunto de la planta y dependerán entre otros del tamaño de la fábrica y del acoplamiento de una medida con el resto del equipo de la fábrica.

Cada técnica incluye una marca de referencia, que ayuda a identificar la sección correspondiente del texto en la que cada técnica individual se discute en detalle.

Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	Efectos sobre los niveles de consumos y emisiones (efectos sobre otros medios)					
	Consumo prod. químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Emisiones : agua	Emisiones : aire	Residuos sólidos	Comentarios
4.3.1 Control de emisiones del almacén de madera	0	0	↓	0	0	
4.3.2 Descortezado seco	0	E ↑ en descortezado A ↓	↓ DQO, ↓ SST, ↓ caudal	0	0	
4.3.3 Minimización de las pérdidas por rechazos	0	E ↓	↓	0	↓	
4.3.4 Minimización del desecho de rechazos	0	E ↓ incineración E ↑ deshidratación	0	(↑)	↓	
4.3.5 Lavado eficaz y control de proceso	↓ blanqueo	(↑) lavado (electr.)	↓	0	0	Principalmente CTMP
4.3.6 Recirculación de agua en fábricas integradas de pasta y papel	0	A ↓	↓	0	0	
4.3.7 Tratamiento de efluentes de fábricas de CTMP. Cierre de los circuitos de agua mediante evaporación y combustión de los concentrados	0	↓ (W), ↑ (E)	↓	(↑)	↓	Sólo CTMP
4.3.8 Instalación de cogeneración de calor y electricidad	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.9 Recuperación de calor de los refinados	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.10 Eliminación de las emisiones de COVs de las emisiones de vapor	0	0	0	↓	0	
4.3.11 Incineración con emisión optimizada de residuos sólidos y recuperación de energía	0	E ↓	0	(↑)	↓	
4.3.12 Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para el almacenaje de líquidos concentrados o calientes	0	0	↓	0	0	Principalmente CTMP
4.3.13 Tratamiento biológico de aguas residuales	↑	E ↑	↓	↓ olor	(↑)	Los residuos sólidos pueden quemarse
4.3.14 Tratamiento terciario de aguas residuales	↑	E ↑	↓	0	(↑)	Los residuos sólidos pueden quemarse
Notas: ↑ = aumento; ↓ = reducción; 0 = sin efecto (o despreciable); (↑) o (↓) = baja influencia según las condiciones						

Tabla 4.14: Resumen de las técnicas disponibles en fábricas de pasta mecánica y químicomecánica y su impacto sobre el medio ambiente y el funcionamiento de la fábrica respectivamente

4.3.1 Control de emisiones del almacén de madera

Todavía no se han recibido datos.

Esta técnica se considera relevante para la fabricación de pasta mecánica, ya que la madera para este tipo de pasta debe mantenerse fresca y evitar que se seque. Es frecuente rociar los troncos de madera con agua para evitar que se sequen.

4.3.2 Descortezado seco

Ver 2.3.1.

4.3.3 Minimización de las pérdidas por rechazos utilizando etapas eficaces para su manipulación

Descripción de la técnica:

Básicamente hay dos métodos disponibles para la separación de contaminantes de la pasta:

- Depuradores centrífugos (centricleaners), en los que se separan las partículas más densas que las fibras.
- Depuradores a presión equipados con agujeros o ranuras, en los que se separa el material de mayor tamaño.

Los rechazos de los depuradores centrífugos y de los depuradores a presión contienen asimismo una gran cantidad de material fibroso. Este material se recupera agregando varios tamices o centrífugas en serie. Con esta disposición es posible ahorrar cantidades considerables de materia prima y reducir la carga de sólidos en suspensión que va al tratamiento de efluentes.

Tamizado y limpieza de la pasta

El proceso de tamizado en la fabricación de pasta mecánica tiene un objetivo distinto que en la pasta química, donde los rechazos pueden retirarse de la línea de fibra. Aquí la finalidad principal es separar el material y, después de su tratamiento apropiado, devolverlo a la línea principal de fibra. El tratamiento de los rechazos es específico de cada fábrica y hay muchas soluciones posibles. A menudo los sistemas de tamizado y limpieza se basan en principios de conexión en cascada. Estos sistemas tienen la desventaja de ser menos controlables que los sistemas de alimentación hacia delante (feed forward).

La pasta se limpia y se tamiza con depuradores a presión y depuradores centrífugos (centricleaners). El tamizado se realiza con agujeros (diámetro 1-2 mm) o ranuras (0,15-0,35 mm de ancho) a una concentración del 1,3 % o superior. El funcionamiento a una consistencia del 3 % ha producido en algunos casos un nivel reducido de grumos de fibras del 60 % en comparación con la tecnología de tamizado convencional de baja consistencia.

Los depuradores centrífugos (centricleaners) se utilizan a menudo como suplemento de los depuradores a presión. El material rechazado es diferente del rechazo del tamizado, y consiste en partículas rígidas con una superficie específica pequeña. La desventaja principal de los depuradores centrífugos es la baja consistencia de la pasta (0,5-0,7 %), que corresponde a volúmenes del agua de 150 -200 m³/ADt. Sin embargo, la mayor parte de esta agua puede ser recirculada y utilizada para otros fines en la fábrica de pasta. Hoy en día muchas fábricas están reconsiderando los depuradores centrífugos en la línea de pasta, y también se consideran como alternativa en las fábricas de papel.

Refino de rechazos

Para devolver los rechazos tamizados y limpios a la línea principal de fibra, por lo general se refinan en 1-2 etapas entre los discos giratorios de refino. La desintegración inicial de los haces gruesos de fibra en el refino se produce en la zona de las barras trituradoras, donde el material de gran tamaño se convierte en fibras individuales. Las fibras pasan a los huecos por la fuerza centrífuga y se tratan de forma intensiva a una alta consistencia de la pasta (30-45 %).

La cantidad de rechazo puede ser del orden del 20-30 % y el consumo de energía de un 10-40 % de la demanda energética específica total de la fabricación de pasta mecánica. Si se requiere una recuperación y reciclaje eficaz de los rechazos, pueden diseñarse líneas de TMP para, por ejemplo, el refino de un 20% de rechazos, calculado en base la capacidad de la línea de fibra.

Los rechazos finales del tamizado y de la limpieza que no pueden ser devueltos a la línea de fibra se evacúan del proceso como residuos sólidos o se incineran en una caldera.

Un aspecto importante es el modo en que los rechazos de un depurador se devuelven a la línea principal de fibra. En la conexión en cascada, después de la separación, los rechazos se reciclan a un punto anterior al de la separación (a contracorriente). Esto producirá un alto volumen de aguas circulantes, especialmente en sistemas con altos caudales de rechazos. La ventaja de la conexión en cascada es que el riesgo de un contenido demasiado alto de impurezas en el caudal de producto aceptado se reduce al mínimo.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la adición de etapas de depuración y el refino de rechazos pueden aplicarse en fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: reducción de las pérdidas de fibra y disminución de la generación de residuos en un cierto porcentaje. El porcentaje de reducción depende de la eficacia de uso de la materia prima antes de adoptarse medidas para su mejora.

Efectos sobre otros medios: el refino de rechazos aumenta el consumo de energía. El vapor de un refino de rechazos no se suele recuperar. Por otra parte, los rechazos han pasado ya la primera etapa de refino, con un consumo intensivo de energía, por lo que en total sólo se ahorrará energía si se reducen las pérdidas por rechazos. Por consiguiente, el balance neto de energía de estas medidas es positivo. Los residuos del proceso se reducen.

Economía: los costes de inversión para una capacidad de pasta de 700 ADt/d son normalmente de 0,8 – 1,1 MEuros, y los costes operativos de 0,3 – 0,5 MEuros/a.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el motivo principal de aplicación de esta técnica es aumentar la eficiencia de consumo de materia prima y de energía. En segundo lugar, la carga de SST a la planta de tratamiento de efluentes, que normalmente se recupera en el tanque de sedimentación, se reduce.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía
[CEPI, 1997b]

4.3.4 Minimización del envío de rechazos a vertedero mediante incineración con recuperación de energía

Descripción de la técnica: los rechazos y el lodo generado durante la fabricación de pasta y el tratamiento de aguas deben deshidratarse antes de su desecho o tratamiento ulterior. La deshidratación se realiza mediante filtros banda o de tornillo. La deshidratación intenta eliminar el máximo posible de agua del lodo. Para esta operación hay disponibles distintos tipos de equipos mecánicos.

- Filtros banda (Prensas de doble tela)
- Prensas de tornillo
- Centrífugas

La mayoría de las nuevas instalaciones durante los últimos 10-15 años han sido los filtros banda que tienen una función fiable y producen valores bastante elevados de materia seca, de un 40-50 % con lodo de fibra y de un 25-40 % con mezcla de lodo de fibra y lodo biológico/(químico).

Las prensas de tornillo pueden utilizarse de dos maneras, bien para aumentar el contenido de materia seca después de la deshidratación en los filtros banda, lo que permite obtener un aumento del 10 % de materia seca, bien para deshidratación directa cuando puede obtenerse un contenido de materia seca más elevado en comparación con la deshidratación con prensa de cinta.

Después de su deshidratación, el lodo y los rechazos pueden ser incinerados para una ulterior reducción de la cantidad de residuos de la fabricación de pasta mecánica a enviar a vertedero. Hay disponibles las opciones siguientes:

- Incineración junto con corteza en calderas de corteza.
- Incineración separada del lodo.

Para la combustión, particularmente de lodos con contenidos de materia seca mas bien bajos, la caldera de lecho fluidizado es actualmente la mejor opción para las instalaciones nuevas. Puede funcionar con 100 % de lodo, aunque el uso de un combustible auxiliar es más común (como carbón o fuel-oil). El requisito del combustible auxiliar depende del contenido de materia seca y de ceniza del lodo. Generalmente, se requiere un mínimo de un 35-40 % de materia seca para combustión espontánea.

La incineración separada del lodo con un hogar de parrilla móvil se ha utilizado también con éxito. Para una discusión detallada de la incineración con recuperación de energía, ver sección 4.3.11.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la incineración en calderas de corteza se ha probado y se aplicado a plena escala productiva en una serie de fábricas. Las calderas de corteza de tipo parrilla pueden convertirse en calderas de lecho fluidizado, aunque lamentablemente con costes sustanciales de inversión y de parada.

Los incineradores separados son también tecnología probada, pero consumen generalmente gran cantidad de combustible auxiliar, y los incineradores estándar de lodo no tienen una sección de recuperación de calor, lo que significa que no puede producirse vapor o energía eléctrica.

Por lo que respecta a la deshidratación de lodo, todos los tipos de prensas se han utilizado con buenos resultados. Desde hace algunos años se ha observado una aplicación creciente de las prensas de tornillo, debido a un interés creciente en la incineración de lodo, que requiere elevados contenidos de materia seca, pero que implica también costes de inversión adicionales.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: según el concepto de manipulación de rechazos, los residuos de los rechazos pueden reducirse significativamente. Normalmente, de los incineradores sólo salen cenizas, que pueden desecharse en vertedero o utilizarse para otros fines (ej: industria de la construcción).

Efectos sobre otros medios: con la incineración en calderas de corteza, el contenido de energía por encima de la evaporación de agua de los rechazos puede ser recuperado.

En la deshidratación de lodo, las emisiones al agua aumentan a través de la deshidratación del lodo, y normalmente son conducidas al sistema de lodo activado. Dichas emisiones deben tenerse en consideración al planificar el tratamiento de efluentes. La generación de energía es proporcional al contenido de materia seca del lodo deshidratado, si se incinera el lodo.

Experiencias operativas: estos procesos se han venido utilizando desde hace varios años en fábricas modernas. La incineración en calderas de corteza es más común que en incineradores separados, debido a la mala economía calorífica de esta última alternativa.

Economía: los costes de inversión para un incinerador nuevo de lodo y rechazos son de unos 5-7 MEuros, y los costes operativos de 0,5 – 0,6 MEuros/año. La modernización de una y los costes operativos serían de 0,3 – 0,4 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de la técnica: el motivo principal para adoptar esta medida es reducir los residuos a enviar a vertedero.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [J. Pöyry, 1992]

4.3.5 Lavado eficaz y control de proceso

Esta técnica es particularmente relevante en la fabricación de pasta quimicotermomecánica (CTMP).

Descripción de la técnica: el proceso de lavado en la fabricación de pasta CTMP es en principio similar al lavado de la pasta química, pero los requisitos de eficacia son generalmente menos exigentes. El propósito principal es separar el material orgánico disuelto en el refino de fibras. El lavado es a menudo específico de cada fábrica, y hay muchas soluciones alternativas posibles en función del tipo de equipo de lavado, etc.

El lavado de pasta CTMP es, sin embargo, algo más difícil que el lavado de pasta química, y requiere más capacidad del equipo de lavado. En la práctica, esto significa una mayor área superficial en los filtros de lavado por tonelada de pasta. La eficacia de lavado es generalmente del 65-70 % calculada a partir del material orgánico recuperado. Esto corresponde típicamente a una etapa de lavado, que puede realizarse con filtros de lavado, prensas de doble tela o prensas de tornillo.

Con el lavado mejorado es posible aumentar la eficacia de lavado al 75-80 % instalando más equipo de lavado en serie. El equipo de lavado es generalmente igual que el equipo de la primera etapa de lavado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: con el lavado mejorado sería posible concentrar el material orgánico en el mismo volumen de efluentes y reducir el arrastre a la máquina de papel o cartón. Esto puede ser una ventaja, si los efluentes se tratan ulteriormente por separado de los efluentes del papel o del cartón, por ejemplo en un tratamiento anaerobio.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes sobre otros medios.

Experiencias operativas: el lavado mejorado se practica sólo en unas pocas fábricas integradas en el mundo.

Economía: los costes de inversión son normalmente de 3-5 MEuros en fábricas nuevas, y de 2-3 MEuros en fábricas de pasta existentes de 700 ADt/d. No se prevén costes operativos adicionales importantes.

Motivo principal de aplicación de la técnica: el lavado mejorado puede crear mejores circunstancias para un tratamiento anaerobio de la fracción de efluentes de CTMP, si lo hay.

Los aspectos de calidad del cartón y el papel acabado pueden también dar lugar a que se considere el uso de esta tecnología.

Plantas de referencia: algunas plantas en Europa y Norteamérica.

Bibliografía: [CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1997b]

4.3.6 Recirculación de agua en fábricas de pasta y papel

Descripción de la técnica: el grado de recirculación del agua dentro del proceso de fabricación de pasta depende en gran medida de la idoneidad para reutilización de una fracción específica de agua, así como del nivel de contaminantes que se permite acumular en el proceso. En cualquier caso, debe haber puntos de salida para vertidos a alcantarillas y para la eliminación de contaminantes en el tratamiento de efluentes. En fábricas no integradas, se utiliza agua fresca como agua de aporte normal. En fábricas integradas, el agua blanca de la máquina de papel cubre la mayor parte de los requisitos de agua de proceso.

Dentro del proceso de fabricación de pasta mecánica, las corrientes candidatas para reciclaje son diversos filtrados, prensados o similares de la manipulación de astillas, así como el agua blanca turbia o clara generada por el equipo de recuperación de fibra. Estas corrientes son enviadas a las aplicaciones específicas según su disponibilidad e idoneidad. Hay muchos factores que influyen en el grado apropiado de reciclaje de agua en la fabricación de pasta. Por lo que respecta a la acumulación de compuestos indeseables en las corrientes, los mismos son generados por el tratamiento previo de la madera o de las astillas, así como por el refinado y el blanqueo, y en fábricas integradas hay una cierta parte aportada por el flujo a contracorriente del agua blanca de la máquina de papel.

En los puntos de proceso donde se disuelven materiales, debe haber también dilución para eliminar con eficacia los compuestos indeseables del material de madera o de la pasta. De lo contrario son arrastradas a las etapas de proceso sucesivas con efectos adversos. Además, en el reciclaje y descarga de aguas puede ser necesaria una cierta concesión para alcanzar un equilibrio económico. Por ejemplo, la descarga de agua del proceso de fabricación evacuando a la alcantarilla agua blanca, más clara en vez de turbia, permite una mejor captura del material de fibra de la pasta, pero también retiene más compuestos resinosos indeseados en el mismo. En términos generales, la selección apropiada de la reutilización del agua es complicada, ya que hay que tener en cuenta el color del agua de proceso, el pH o el contenido de sólidos en suspensión, incluidos los residuos de los agentes químicos de blanqueo empleados, que pueden causar reacciones químicas indeseadas o incluso un mayor consumo de agentes químicos para la fabricación de pasta.

Los aspectos que constituyen la base de la reducción del consumo de agua y del reciclaje en la fabricación de pasta son:

- Uso del principio de flujo de agua a contracorriente, cuando sea viable.
- Mejora de la recuperación de fibra evacuando agua limpia en lugar de turbia, y en fábricas integradas mediante la entrada del exceso de agua blanca de la fábrica de papel.
- Recalcular los volúmenes de los tanques, especialmente de los volúmenes de agua blanca, para hacer frente a fluctuaciones del proceso, arranques y paradas.
- Espesamiento a una alta consistencia de la pasta antes de su transferencia al secado (o a la máquina de papel), que es eficaz tanto en fábricas no integradas como integradas, aunque por motivos ligeramente distintos.
- Uso de agua blanca clara en las duchas de limpieza del equipo y, si es aceptable, como agua de dilución.

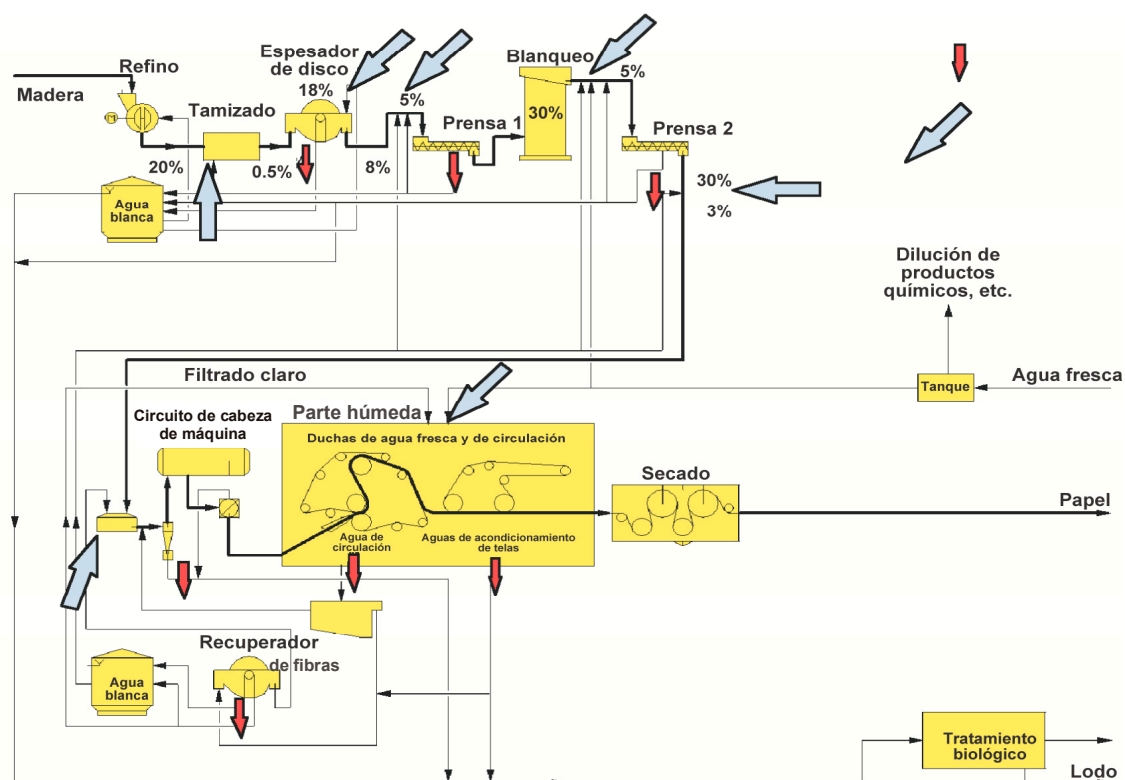


Figura 4.8: Principales fuentes y sumideros de agua en una fábrica integrada de pasta mecánica y papel [Edelmann, 1997]

En la Figura 4.8 se indican las principales fuentes y sumideros de agua en una fábrica integrada de pasta y papel. Como se muestra, se introduce agua fresca en el proceso de fabricación de papel, principalmente a través de las duchas de la sección de formación de la máquina de papel y de la sección de prensas, tras lo cual es alimentada corriente arriba a diversos procesos de lavado y dilución. Los circuitos de agua están claramente separados por pasos de espesamiento, después de los cuales la pasta se diluye con algo de agua fresca para ajustar su consistencia y se diluye la pasta con agua limpia antes de que entre en el siguiente circuito.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la recirculación reforzada del agua puede aplicarse en fábricas existentes; en fábricas nuevas muchos de los conceptos descritos se aplican eficientemente.

Debe realizarse la evaluación de la idoneidad de determinadas corrientes para una reutilización específica con el fin de evitar el efecto adverso sobre el proceso en sí y sobre el producto. Las fábricas existentes pueden requerir una reorganización de las capacidades de sus tanques de filtrado, agua blanca y pasta, con el fin de mantener el consumo de agua fresca de aporte y las pérdidas de efluentes a un mínimo.

Dado que la temperatura del agua en la fabricación de pasta se eleva en función del grado de cierre de los circuitos de agua, en las fábricas existentes pueden surgir problemas en el blanqueo de la pasta y en el funcionamiento de equipos como bombas centrífugas. Así pues, también es necesaria una evaluación del balance energético.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: con un cierre eficaz, que en fábricas integradas significa también la reutilización a contracorriente del agua blanca de la máquina de papel, se reducen la descarga de efluentes y las pérdidas de fibra a la alcantarilla. El grado de reducción del agua depende de la calidad del papel o cartón.

Monitorización de emisiones: se recomienda la monitorización en línea del caudal combinado de efluentes de la fábrica de pasta y la monitorización en laboratorio de sólidos en suspensión y

disueltos, pH, temperatura y contenido orgánico en forma de DBO₅ o DQO. También puede usarse un medidor en línea de sólidos en suspensión o de turbidez.

Efectos sobre otros medios: es posible retener más materia disuelta o coloidal con la pasta mediante la reutilización eficiente del agua en la fabricación de pasta. Esto debe compensarse en la máquina de papel para evitar por ejemplo un aumento en las averías de la maquinaria, cambios en la retención de la pasta en la parte húmeda.

Experiencias operativas: los principios discutidos pueden utilizarse con ligeros efectos adversos o sin ningún impacto en el proceso de fabricación de pasta.

Economía: dado que la mayoría de las fábricas de pasta mecánica están integradas con producción de papel, las medidas para mejorar la reutilización del agua están normalmente vinculadas a la reducción del consumo de agua tanto en la fabricación de pasta como en la fabricación de papel.

Los costes de inversión para una fábrica integrada con una producción de 700 ADt/a y que pretende conseguir una reducción del consumo de agua fresca desde 20 m³ hasta 10 m³ son de unos 10-12 MEuros.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción del caudal y de los sólidos en suspensión de los efluentes es el componente clave para fomentar la puesta en práctica. Unas aguas residuales más concentradas pueden tratarse de forma más eficaz y requieren menores costes de inversión y costes de operación.

Plantas de referencia: numerosas fábricas modernas en todo el mundo aplican una recirculación eficiente de agua. También hay muchas fábricas antiguas que han aplicado las medidas descritas de forma más selectiva.

Bibliografía:

[CEPI, 1997b], [Edelmann, 1997]

4.3.7 Tratamiento de efluentes de fábricas de CTMP. Cierre de los circuitos de agua mediante evaporación y combustión de los concentrados

Descripción de la técnica: hay diversas alternativas de tratamiento de las aguas residuales de las plantas de CTMP:

- Tratamiento con lodo activado en una o dos etapas con o sin tratamiento químico (ver 4.3.13). El método del lodo activado es actualmente el más común y es muy eficaz si está correctamente diseñado. Puede alcanzarse fácilmente una reducción de la DBO del 98% y una reducción de la DQO del 85%. Una desventaja de utilizar este método son las concentraciones bastante altas de nutrientes en el efluente. Por lo tanto, algunas plantas de CTMP han tenido que completar el tratamiento con un tratamiento químico adicional (ver 2.3.14).
- Tratamiento químico interno del agua blanca en la primera etapa de lavado más tratamiento con lodo activado del resto. Hay una planta de CTMP que trata esta agua blanca con un producto químico, que permite eliminar extractivos y finos en una etapa de la flotación posterior. Al mismo tiempo se informó de una reducción de la DQO del 40-50%. Una desventaja de este método son los costes bastante elevados de productos químicos.
- Combinación de un tratamiento anaerobio y aerobio de las aguas residuales. Hay sólo una planta en Suecia (SCA, Östrand) que utiliza esta técnica. El motivo de que el tratamiento

anaerobio no se utilice más comúnmente es que es muy sensible a las perturbaciones (principios, ver 3.3.6 y 5.3.5).

- Evaporación de las aguas residuales más contaminadas y combustión de los residuos más tratamiento con lodo activado del resto. Para la evaporación de las aguas residuales se ha desarrollado un nuevo evaporador (ver Sección 4.5.1), denominado evaporador Zedivap. Esta nueva técnica de evaporación se considera como emergente. El primero está ahora en funcionamiento en una planta sueca de CTMP y está en fase de optimización con mejora continua de la situación. El concentrado se quema en una caldera de recuperación de una fábrica adyacente de pasta kraft. La alternativa de la evaporación es más adecuada en un caso así, cuando hay que aumentar la capacidad de pasta y la planta de tratamiento biológico se está quedando demasiado pequeña. El condensado de esta planta de evaporación puede utilizarse en la planta de CTMP como agua de proceso, lo que reduce considerablemente el consumo de agua fresca. La evaporación es también una alternativa si el tratamiento terciario se considera necesario, es decir en los casos en los que hay que reducir las concentraciones de nutrientes en el efluente.
- Es también posible evaporar la totalidad de los efluentes e incinerar los concentrados en una caldera de recuperación. Esto da lugar a una descarga cero de efluentes líquidos. El Millar Western Pulp (Lago Meadow) Ltd., en Saskatchewan, Canadá, una fábrica "greenfield" de 240.000 t/a en ese periodo, produce desde 1992 pasta CTMP blanqueada sin descarga de efluentes. La fábrica de CTMP convierte la fibra corta de álamo, mediante el proceso de Peróxido Alcalino (APP), en la pasta comercial más fina para fabricar papel tisú y papel de escritura. Su sistema de efluente cero se describe más adelante, dado que contiene una serie de innovaciones que son de interés general para el sector. Ha abierto la puerta para su uso en otras aplicaciones industriales en las que el medio receptor del agua no puede asimilar con eficacia una descarga industrial.

El sistema de reciclaje de agua del Lago Meadow se compone de seis distintas operaciones, que se muestran en la Figura 4.9 y la Figura 4.10.

- Eliminación de sólidos en suspensión (clarificadores Krofta incluida una opción para usar balsas de sedimentación)
- Evaporación con Recompresión Mecánica del Vapor (1,5 veces más capacidad que el caudal diseñado, para tener flexibilidad y capacidad de absorción)
- Concentración con vapor
- Incineración de concentrados
- Limpieza de destilados para uso general de la fábrica
- Tratamiento del agua del lago para el proceso.

Como se muestra en la Figura 4.9, la única agua que debe ser repuesta es la que se pierde a través de la evaporación, que es de unos 2 m³/ADt.

La Figura 4.10 muestra el concepto de tratamiento de los efluentes, incluidos los caudales principales de agua a través de los distintos pasos de tratamiento.

Todas las corrientes de agua de proceso se bombean al tratamiento primario, que sirve para eliminar los sólidos en suspensión. Los sólidos capturados se desecan y se incineran. El agua clarificada puede almacenarse en balsas exteriores que proporcionan capacidad de reserva entre la fábrica de pasta y los evaporadores.

El agua clarificada se pasa a los evaporadores de recompresión mecánica del vapor (RMV), donde la concentración de sólidos totales aumenta desde el 2,5% hasta el 35%. El destilado de los evaporadores de RMV se separa en fracciones internamente para evitar la contaminación del destilado limpio, que representa el 85% del destilado producido. La fracción de destilado que tienen la mayoría de los compuestos orgánicos volátiles se separa de la mayoría de esos compuestos orgánicos en un separador de vapor, para su incineración en la caldera de

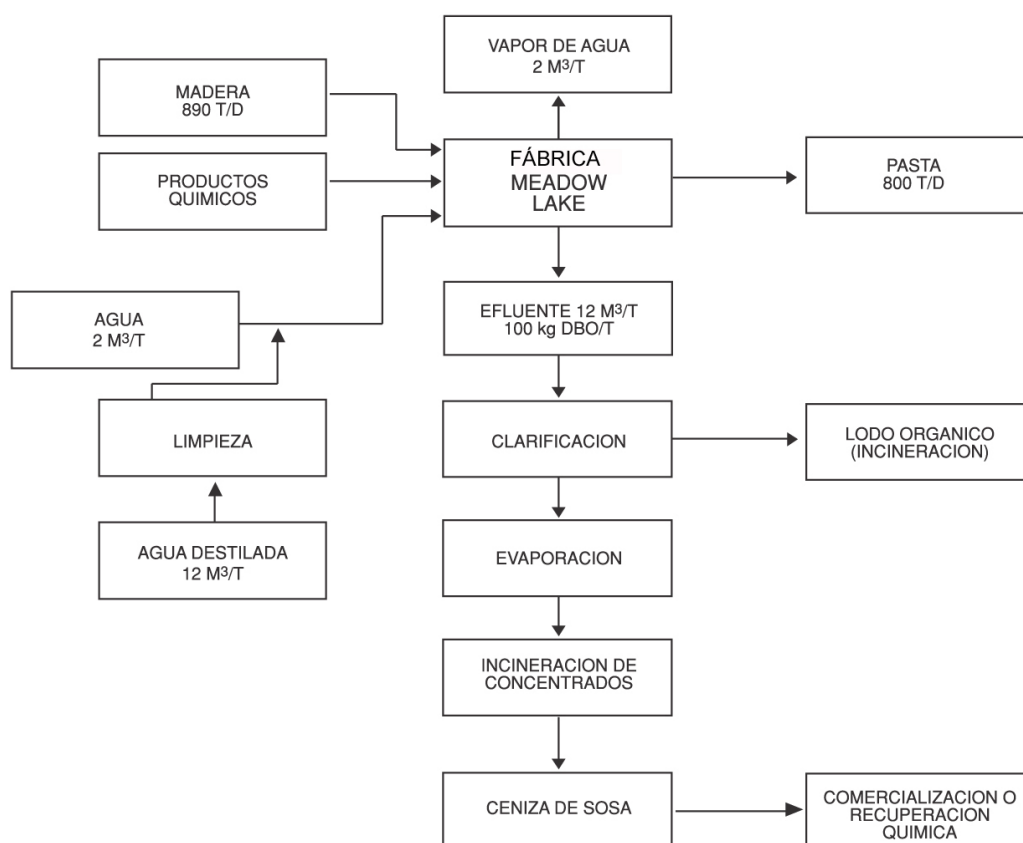


Figura 4.9: Sistema de reciclaje de agua de la fábrica de CTMP del Lago Meadow. Se utiliza tecnología de evaporación para cerrar el circuito de agua y conseguir un nivel cero de efluentes [Evans, 1992]

recuperación. La mayoría del destilado del evaporador puede utilizarse directamente en la fábrica de pasta a 65 ° C. Sin embargo, hay una cierta demanda de agua a 20 - 30 ° C. Para poder atenderla, parte del destilado se enfría, y las pequeñas fracciones de compuestos orgánicos volátiles se eliminan en una balsa de estabilización biológica.

El nivel de sólidos del concentrado de los evaporadores de RMV se aumenta hasta un 70% de materia seca en dos concentradores con vapor, y se incineran en una caldera de recuperación química. El material fundido del horno de recuperación se enfría y solidifica en una cinta transportadora, y luego se deposita en un almacén.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. El cierre de la planta de CTMP es posible para fábricas nuevas y existentes. La limitación es el elevado coste de inversión de la planta de evaporación y posible recuperación (como en el Lago Meadow). El concepto descrito fue construido para una fábrica “greenfield” y requiere mucho espacio, que las fábricas existentes no suelen tener. La solución dependerá de las condiciones locales y suele ser distinta para las fábricas de pasta CTMP comercial y para las fábricas de pasta CTMP integradas. Al usar evaporadores, el blanqueo de la pasta CTMP debe ser modificado. Por ejemplo no pueden usarse silicatos sódicos debido a las incrustaciones.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: no hay efluentes al agua.

Monitorización: la monitorización del proceso y del equipo es de la máxima importancia en una instalación con nivel cero de efluentes. Se han aplicado diversos programas de prueba con monitorización dinámica de los índices de obstrucción, así como un sistema de gestión con certificación ISO 9002. Estos programas se complementan mediante un laboratorio analítico para mantener una vigilancia estricta de la instalación. Un ejemplo es el programa de

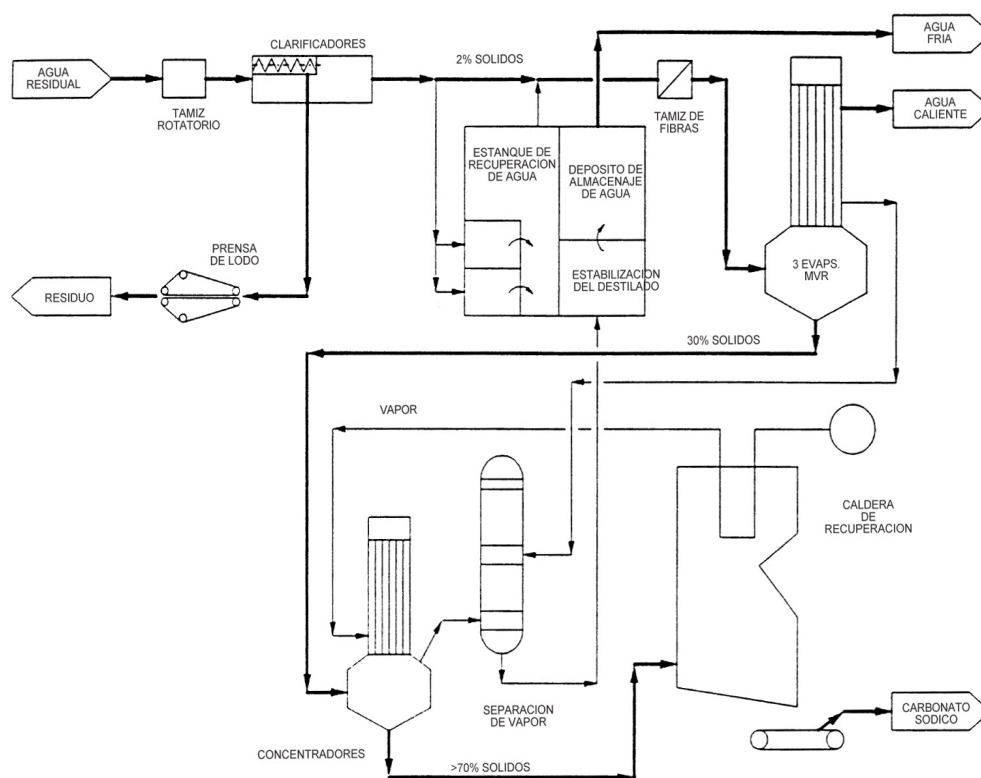


Figura 4.10: Concepto del proceso con nivel cero de efluentes líquidos [Ward, 1993]

monitorización de metales que detecta los iones en el sistema y permite realizar un trabajo proactivo en los aspectos de corrosión, obstrucción e incrustaciones.

Efectos sobre otros medios: no había disponible información sobre el balance energético en comparación con un sistema convencional. El circuito de residuos sólidos no es todavía cerrado, pero tampoco lo es en sistemas convencionales. No se conocen otros efectos sobre otros medios.

Experiencias operativas: el sistema de reciclaje de agua no produce pérdidas en la producción de pasta y no tiene impacto negativo en la calidad de la pasta. La compañía ha desarrollado algunos métodos propios de implicación de los empleados en las decisiones de gerencia. La formación era un aspecto crucial para un arranque con éxito en el Lago Meadow. Los nuevos empleados recibieron un mínimo de tres meses de formación en sus puestos antes de intentar la puesta en funcionamiento. La instrucción constante para el desarrollo de la capacidad laboral ha mantenido a la plantilla en el liderazgo de la tecnología y de las prácticas de trabajo. Las directrices de seguridad por encima de todo han logrado el compromiso de los empleados con este programa esencial que mantiene la moral alta y las primas de seguro bajas. Regularmente se forman pequeños equipos que tienen capacidad y la autoridad para realizar cambios en el proceso cuando puede demostrarse la ventaja de tales cambios.

Economía: el sistema tiene costes de explotación competitivos con sistemas de agua y tratamiento de efluentes secundarios de pasta CTMP blanqueada convencional. Después del periodo de optimización, los costes operativos del tratamiento de efluentes en el centro del Lago Meadow están ahora por debajo del coste de un tratamiento secundario convencional. Sin embargo, en la fase de puesta en funcionamiento se registraron elevados costes de inversión por el gran tamaño de la evaporación y las amplias dimensiones de la planta de recuperación, así como por la capacidad de almacenaje de los efluentes (durante 3 días). El atractivo del concepto de nivel cero de efluentes líquidos se ve aumentado por el potencial de recuperación de

productos químicos y de energía, que puede utilizarse para reducir el coste de producción y amortizar los costes de inversión. No hay disponibles datos sobre costes específicos. Los cambios en las normativas sobre efluentes acuosos no afectan a las fábricas con nivel cero de efluentes, lo que supone una ventaja económica.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el centro del Lago Meadow fue seleccionado principalmente por su proximidad al suministro de fibra, infraestructuras y personal. Sin embargo, el agua era escasa y el posible medio receptor del agua es pequeño y, debido al clima árido y a los inviernos duros en la zona, el río deja de fluir ocasionalmente. Un sistema convencional de tratamiento de efluentes habría requerido la perforación de pozos que extrajeran de un acuífero subterráneo para proporcionar bastante agua de dilución para diluir los efluentes y mantener la corriente del río durante todo el año. Esta opción no era aceptable para los dueños de la empresa, por lo que se tomó la decisión de aplicar la tecnología de nivel cero de efluentes. Puede afirmarse que la comercialización de una pasta con un nivel cero de efluentes líquidos tiene ciertas ventajas para los consumidores medioambientalmente conscientes.

Plantas de referencia: los ejemplos son las plantas de Meadow Lake y Chetwynd in Canadá. Stora Fors, en Suecia, ha puesto en marcha una planta de evaporación para una parte del total de aguas residuales.

Bibliografía:

[Ward, 1993], [Evans, 1991], [Evans, 1992], [Evans, 1993], [Fromson, 1993], [Sweet, 1993]

4.3.8 Aplicación de Cogeneración de Calor y Electricidad (CCE)

Ver 5.3.9. Que la cogeneración sea o no rentable depende del balance de energía de la fábrica y el modo en que se produce la electricidad de la red. La dificultad puede ser comparar la energía de producción hidroeléctrica, nuclear, o con carbón, fuel-oil, gas o biocombustible.

4.3.9 Recuperación de calor de los refinados

Todavía no se ha recibido información.

4.3.10 Eliminación de las emisiones de COVs de las emisiones de vapor

Todavía no se ha recibido información.

4.3.11 Incineración de residuos sólidos con emisiones óptimas y recuperación de energía

Descripción de la técnica: en las fábricas de pasta mecánica, la mayoría integradas también con fábricas de papel, hay una gran variedad de residuos sólidos – corteza, residuos de madera, lodo residual de la pasta y rechazos del tamizado – que deben ser desechados. La corteza se utiliza fácilmente como combustible en la caldera auxiliar de la fábrica, pero los lodos han sido tradicionalmente desechados en vertedero. Una alternativa viable al desecho en vertedero, que se está convirtiendo en un ejercicio costoso y más limitado para las fábricas, es la incineración de estos residuos de lodo. En tal incineración es necesario aplicar técnicas de incineración respetuosas con el medio ambiente para reducir al mínimo las emisiones de partículas, SO₂ y NO_x.

Dado que los lodos representan residuos que suelen tener un menor poder calorífico que los combustibles sólidos propiamente dichos, como corteza o madera, su incineración en una caldera especial sólo para lodo no es suficiente. En la práctica, las fábricas que utilizan corteza,

madera, turba o carbón como combustible para la producción de vapor y energía obtienen rentabilidad quemando los lodos de fabricación de pasta y de papel en la misma caldera con combustibles sólidos de alto poder calorífico. Esto también se ve acentuado por el hecho de que los lodos, a menos que tengan una consistencia superior al 50% y un bajo contenido en ceniza, requerirían de todos modos de un combustible de apoyo para poder eliminarlos correctamente por combustión.

La tecnología respetuosa con el medio ambiente más conveniente para la incineración del lodo y de los rechazos de la fabricación de pasta es la misma que para madera, corteza y turba. No obstante, puede haber diferencias en ciertas características específicas en la preparación o la combustión del lodo.

Las calderas se utilizan para suministrar el vapor que se utilizará directamente como vapor de proceso para la calefacción y secado, pero en un número creciente de casos también para la producción de energía eléctrica. Sin embargo, cuando la caldera es pequeña y su propósito principal es desechar el lodo con una cantidad mínima de combustible de apoyo, las calderas no pueden producir económicamente más que vapor de baja presión para calefacción en el proceso o las instalaciones.

En la incineración de lodos de fábricas de pasta y papel, los objetivos medioambientales pueden cumplirse mediante la aplicación de una caldera apropiada y, según se requiere en ocasiones, una serie de tratamientos previos del combustible.

En la incineración de lodo de papel y de rechazos, pueden utilizarse tanto calderas convencionales de parrilla como calderas de lecho fluidizado. No obstante, la tecnología de lecho fluidizado es más versátil por su mayor flexibilidad, mayor eficacia y bajas emisiones.

El poder calorífico de la corteza del descortezado húmedo o de turba con una humedad del 40 - 60% es de 4,5-10,5 MJ/kg. Por contra, los lodos de pasta deshidratada mecánicamente tienen un menor poder calorífico que asciende a 2,5-6,0 MJ/kg debido a que con frecuencia tienen mayor humedad y contenido de ceniza. El poder calorífico de los residuos de pasta secos puede alcanzar unos 20 MJ/kg. Cuanto más alta es la humedad del combustible, más baja es la economía global de la caldera y también más difícil es su operatividad, a menos que se aplique una tecnología eficiente. Una caldera de lecho fluidizado es menos sensible a la humedad del combustible que una caldera de combustión en parrilla. Dado que algunos lodos de papel tienen con frecuencia un contenido de ceniza del 20-30 %, que en los peores casos con residuos de destintado alcanza el 60 %, es muy probable que surjan problemas operativos como la obstrucción de la parrilla a causa de la ceniza en las calderas con combustión en parrilla. Las cantidades elevadas de ceniza pueden causar también el deterioro de la eficacia del sistema de lecho fluidizado, pero en mucha menor medida. La combustión mejora cuanto menor es la cantidad proporcional de ceniza o lodo.

La principal diferencia entre la combustión en parrilla y la tecnología de lecho fluidizado está en el método de transferencia térmica. En la combustión en parrilla, las partículas del combustible se calientan principalmente por radiación. Esto hace que la temperatura y el tiempo de combustión sean muy importantes, y el rendimiento del sistema puede caer fácilmente cuando aumenta la humedad del combustible. Las variaciones en la sequedad del lodo en la entrada de la caldera de combustión en parrilla causan problemas para mantener una combustión eficiente debido a descensos de temperatura. En las calderas de lecho fluidizado, el método principal de transferencia térmica es por conducción, lo que, con ayuda del lecho de arena fluidizado del interior de la caldera, estabiliza la capacidad calorífica del sistema y la hace menos sensible a la humedad del combustible y a las fluctuaciones del poder calorífico.

La combustión en una caldera de lecho fluidizado tiene lugar a una temperatura más baja, típicamente del orden de 750-950 °C, que la requerida en la combustión en parrilla. Esto es beneficioso para la reducción de emisiones gaseosas. Además, la transferencia térmica por unidad de superficie es un poco más alta con los sistemas de lecho fluidizado.

Hay dos tipos principales de sistemas de lecho fluidizado: calderas de lecho fluidizado de burbujeo (BFBC) y de circulación (CFBC).

En las calderas BFBC, el lecho de arena del interior de la caldera se fluidiza y se mantiene en la parte inferior de la caldera, a excepción de una pequeña parte que escapa del lecho. Esta fracción que escapa, así como el posible combustible parcialmente quemado, se recupera en un ciclón y se devuelve al lecho. En las calderas CFBC, el lecho de arena se extiende más allá de la primera parte de intercambio de calor, después de la cual la arena se separa de los gases de combustión en un ciclón grande y se devuelve al fondo del lecho.

Desde el punto de vista de la eficacia, ambas tecnologías de lecho fluidizado son buenas. Sin embargo, si el combustible tiene un alto contenido en carbón, el tipo de lecho de circulación es mejor para la prevención de la concentración excesiva de calor, generado por el carbón que se quema en el lecho.

El poder calorífico del lodo y los resultados globales de la combustión pueden mejorarse aplicando una deshidratación, como una prensa de tornillo. El objetivo de sequedad buscado debe ser del 45 % si el contenido de ceniza está por debajo del 30 %, de lo contrario debe ser mayor, llegando por ejemplo al 65-70 % con un contenido de ceniza del 50 %. Cuando la cantidad de lodo es alta y el porcentaje de todos los combustibles está por encima del 30 %, la trituración del lodo seguida de peletizado o briquetado puede ser una forma económica para aumentar su densidad de forma suficiente para hacer la combustión más fácil. El lodo y otros combustibles sólidos pueden alimentarse alternativamente o de forma adicional mediante un tratamiento de precalentamiento. El secado indirecto utiliza vapor a presión baja o media, generado en la fábrica, que en el mejor de los casos podría utilizarse en otra parte como vapor de baja presión. El método de secado directo utiliza los gases de combustión como fuente de calor.

La mejora de la combustión global es específica de cada caso. Puede conseguirse agregando un sistema eficiente de eliminación de humedad del combustible para ciertos combustibles sólidos, mediante la deshidratación mecánica de los materiales de combustión o secándolos con calor. En general, cuando la humedad inicial del combustible es del orden del 45-50 %, se ha registrado una mejora del 10-15 % en la economía del calor aumentando la sequedad al 55-60 %. Evidentemente, cuanto más alta es la humedad del combustible que entra en la caldera, más elevado es el caudal de gases de combustión.

Las emisiones de calderas de lecho fluidizado pueden satisfacer mejor las demandas rigurosas que las calderas de combustión en parrilla. Los sistemas de lecho fluidizado permiten el control de emisiones de SO_2 y NO_x in-situ, además de ser más simples y eficaces que las de combustión en parrilla.

Para el control del SO_2 , la ceniza de la caldera contiene ya algo de calcio que se fija al azufre presente en el combustible. La reducción adicional de SO_2 se obtiene mediante inyección de la cal en la caldera, obteniendo una relación Calcio:Azufre del orden de 1-3. Un elevado exceso de calcio permite hasta un 80-95 % de eliminación de azufre a la ceniza de la caldera, valor que todavía es más elevado en las calderas de lecho fluidizado de circulación (CFBC). La captura óptima del azufre ocurre a una temperatura de combustión de unos 850 °C. La desventaja de la inyección de la cal es el aumento de la cantidad de ceniza.

En calderas de combustión en parrilla no hay medios internos eficaces para controlar las emisiones de SO_2 .

También pueden aplicarse métodos externos de eliminación de azufre y SO_2 . Hay disponibles métodos húmedos o semihúmedos, ambos aplican líquido de lavado alcalino para fijar al azufre, y también existen métodos secos. Los métodos secos son menos eficaces que el control realizado

de la combustión en lecho fluidizado, la inyección de cal en la caldera o los métodos húmedos externos.

La emisión más baja de NO_x de las calderas de lecho fluidizado se debe especialmente a la menor temperatura de combustión que se utiliza. Los quemadores de bajo nivel de NO_x pueden producir una reducción adicional del NO_x.

Puede ser necesario un cierto compromiso entre la reducción de SO₂ y NO_x. Esto sucede por ejemplo debido a que, al aumentar las emisiones de NO_x, más alto es el exceso de calcio en la caldera tras la inyección de cal. Además, la formación mínima de NO_x en la combustión tiene lugar a unos 960 °C, mientras que la eliminación óptima de SO₂ mediante inyección de cal se alcanza a temperaturas más bajas.

Las emisiones de CO e hidrocarburos se mantienen a niveles insignificantes evitando hacer funcionar la caldera con sobrecarga y manteniendo un exceso de oxígeno en la combustión.

Las emisiones de partículas de la caldera se controlan eficazmente mediante un precipitador electrostático, que con un buen diseño proporciona una captura casi total.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la aplicación o la mejora de calderas de lecho fluidizado para la combustión de residuos de madera o la eliminación de sólidos puede aplicarse en fábricas existentes y nuevas. La capacidad de control del proceso de combustión y el margen de maniobra por lo que respecta al combustible sólido usado y las variaciones de calidad es superior a la de las calderas de combustión en parrilla.

Las mejoras en las calderas de combustión en parrilla, junto con la mejora de la recuperación de calor y la limpieza externa de los gases de combustión, pueden mejorar sus características económicas y medioambientales, pero no al nivel de los sistemas de lecho fluidizado.

Cuando una parte importante del combustible de la caldera es lodo, la economía neta del calor es baja. En fábricas en las que también se utilizan otros combustibles sólidos para producción de vapor o electricidad, se obtiene una mejor eficacia de proceso quemando el lodo como combustible minoritario junto con los mismos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones de las calderas modernas de lecho fluidizado que queman lodos de la fabricación de pastas y rechazos con combustibles de apoyo pueden ser controladas y optimizadas eficientemente. La variedad de combustibles o de combinaciones utilizadas, los métodos de control adicionales aplicados en las calderas y las distintas formas de expresión de los límites establecidos por los reglamentos nacionales, hacen que la comparación caso por caso del funcionamiento de la caldera sea difícil.

Todavía no se han recibido datos sobre las emisiones alcanzables.

Monitorización de emisiones: la monitorización de emisiones con medidores en línea de compuestos gaseosos está ganando popularidad debido a su mayor fiabilidad y menor coste a medida que su uso se hace más común. La monitorización de temperaturas en múltiples puntos y del oxígeno de la caldera es también beneficiosa.

Efectos sobre otros medios: la reducción de residuos puede aumentar las emisiones a la atmósfera.

Experiencias operativas: las calderas de lecho fluidizado se han utilizado con éxito durante 10-15 años, y con los diseños actuales han demostrado tener muchas ventajas sobre las de combustión en parrilla.

Economía: la modificación de una caldera de corteza existente para incineración de lodo y rechazos cuesta 0,5-0,7 MEuros en una fábrica integrada de 700 ADt/d, siempre que la caldera tenga ya capacidad adicional para quemar estos residuos. Los costes operativos adicionales para la incineración de residuos son de 250.000- 350.000 Euros/año.

Una caldera separada de lodo y rechazos para una fábrica del mismo tamaño cuesta 5-7 MEuros, y sus costes operativos son de 500.000-600.000 Euros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el principal motivo de aplicación es la reducción del desecho de material orgánico en vertedero.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa Septentrional y Occidental.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [Paper and Timber, 1993]

4.3.12 Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para almacenar líquidos concentrados o calientes del proceso

Descripción de la técnica: el uso de grandes tanques de almacenaje intermedio para líquidos calientes en la producción de pasta mecánica (GW) o termomecánica (TMP) no es relevante en la mayoría de los casos, ya que estas pastas se producen casi exclusivamente en fábricas integradas. Normalmente, gran parte del agua de proceso usada en estos procesos se recibe como exceso de agua blanca de una máquina de papel o cartón. El consumo de agua de la fabricación de pasta GW y TMP es bajo en comparación con la fabricación de papel, por lo que normalmente hay una pérdida continua del exceso de agua contaminada a la alcantarilla.

La producción de pasta quimicotermodomecánica (CTMP) tiene una situación ligeramente distinta, dado que la mayoría de las fábricas son no integradas y producen pasta comercial. Al igual que en otros procesos de fabricación de pasta mecánica, dentro del proceso se producen y reciclan diversas calidades de agua blanca. En fábricas integradas, el exceso de agua blanca de la máquina de papel o cartón se alimenta como relleno al sistema de agua de la fabricación de CTMP, mientras que en las fábricas no integradas se consume agua fresca. Cuando se aplica blanqueo, el reciclaje de agua utilizando el filtrado de blanqueo, por ejemplo en la impregnación de las astillas, mejora la reutilización del agua. El exceso de agua contaminada se desecha al alcantarillado, por ejemplo del lavado de astillas, del exceso de agua blanca o a veces también del lavado intermedio en el refinado de pasta.

En la fabricación de pasta CTMP, en contraposición al proceso químico, hay menos posibilidades de encontrar formas de recuperación rentable de rebosamientos o vertidos, así como menos motivos para disponer de grandes tanques de almacenaje de agua. Pese a la aplicación del clásico principio de flujo de agua a contracorriente para conseguir un bajo consumo de agua fresca, el resto todavía debe desecharse en la alcantarilla. No obstante, las capacidades de los tanques de proceso deben tener suficiente volumen para suministrar agua durante las puntas de caudal, especialmente en la dilución y lavado de pasta. Estas puntas ocurren principalmente cuando se pone en funcionamiento una línea de fabricación, durante fluctuaciones a corto plazo en el equilibrio entre la producción de pasta y papel, o por ejemplo cuando se para la fabricación de pasta cruda pero la de pasta blanqueada sigue en funcionamiento.

El efluente de la fabricación de CTMP es, debido al tratamiento químico de las astillas, más contaminado que los efluentes de GW y TMP, lo que hace necesaria una gestión más cuidadosa del nivel de los tanques para reducir al mínimo las cargas máximas que recibe el tratamiento externo de efluentes. En el refinado de pasta TMP y CTMP, la conversión de la energía eléctrica en vapor disminuye la acumulación de calor en el agua del sistema de fabricación. En las

fábricas donde el vapor se utiliza eficientemente para el calentamiento de agua o el secado de la pasta o el papel, la necesidad de liberación ocasional de vapor podría verse reducida. En otras fábricas se reduce la necesidad de refrigeración del vapor con agua y envío a alcantarilla de esta fracción caliente, manteniendo un volumen más grande de agua en la producción.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la evaluación y optimización de los volúmenes necesarios de los tanques puede realizarse en fábricas existentes y nuevas. Para fábricas existentes, los datos de funcionamiento de diversas situaciones de producción facilitan la determinación de los procedimientos apropiados de gestión de los tanques y la necesidad del aumento de sus volúmenes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los impactos medioambientales son normalmente bajos, pero la funcionalidad de la planta de tratamiento externa mejora con una menor frecuencia de descargas de vertidos.

Monitorización de emisiones: se requieren sondas de nivel para los depósitos principales de agua, especialmente para el control de desbordamientos.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes.

Experiencias operativas: con un mejor cierre de la fábrica, el control de las corrientes contaminadas y calientes a las alcantarillas se ha acentuado. No obstante, la optimización interna de las fábricas para gestionar estas corrientes se realiza muchas veces a través de una mejora o cambio en los procedimientos operativos y no tanto por mejoras en las instalaciones de almacenamiento de líquidos.

Economía: los costes de inversión son muy específicos de cada caso. Suponiendo un uso de 2.000 m³ de agua adicional (0,5 – 0,6 MEuros) y algunos tanques, tuberías, electrificación e instrumentos adicionales, los costes de inversión adicionales son de 100.000-250.000 Euros. Los costes operativos son bajos, y son principalmente de mantenimiento.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: estas medidas son promovidas por su efecto sobre un mejor control de las fluctuaciones en el proceso de fabricación, y en cierto grado por su impacto medioambiental.

Plantas de referencia: numerosas fábricas modernas en todo el mundo.

Bibliografía
[CEPI, 1997b]

4.3.13 Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios

Descripción de la técnica: los principios del tratamiento de aguas residuales son los mismos que los descritos en 2.3.13, 5.3.6. y 6.3.10. El proceso dominante para el tratamiento de aguas residuales de fábricas de pasta mecánica es el proceso de lodo activado. Se utilizan preferiblemente procesos de dos etapas. Algunas fábricas aplican oxígeno puro en una primera etapa, seguida por una segunda etapa aireada "normalmente". Algunas fábricas utilizan una primera etapa con carga alta seguida por un segundo tanque de aireación de baja carga. Una fábrica ha notificado una etapa de biofiltración después de un sistema de lodo activado de dos etapas. En principio, el efluente de las fábricas de pasta mecánica puede tratarse también de forma eficaz anaerobiamente, ya que las concentraciones en las aguas residuales están a menudo por encima de 2000 mg DQO/l. Sin embargo, en la mayoría de los casos los efluentes de las fábricas de pasta y papel se tratan con métodos aerobios, a excepción de los efluentes de fábricas de CTMP u otras corrientes concentradas de efluentes, para los cuales en ocasiones se aplica el tratamiento anaerobio (ver 4.3.7).

Existen gran cantidad de diseños de procesos y plantas con el proceso de lodo activado. Estas alternativas pueden ser diferentes en cuanto al diseño de la balsa de aireación, el clarificador, el equipo de aireación, así como el reciclaje de lodo. Un diseño de proceso especial es el lodo activado con oxígeno puro, en el que se utiliza oxígeno puro o aire enriquecido con oxígeno en vez de aire normal.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: el proceso puede aplicarse en fábricas existentes y nuevas, así como en fábricas nuevas de pasta mecánica (y papel). En las fábricas existentes es conveniente aplicar algún tipo de medidas de reducción del consumo de agua para reducir los costes de inversión.

El proceso de lodo activado se utiliza a menudo, cuando se requieren eficacias de tratamiento altas o muy altas. En este último caso, sin embargo, un proceso biológico en dos etapas es una buena opción.

Las plantas de lodo activado se utilizan ampliamente en la industria de la pasta y el papel. Como estimación aproximada, el proceso de lodo activado se utiliza en un 60-75% de todas las plantas de tratamiento biológico de efluentes de esta industria. Éste es también el proceso más comúnmente usado en plantas de reciente construcción.

Las *ventajas* del proceso de lodo activado son el potencial de eficacias de tratamiento altas o muy altas, las posibilidades de controlar el proceso (particularmente el consumo de oxígeno), y la demanda relativamente baja de espacio.

Las *desventajas* son la elevada producción de lodo biológico residual y los altos costes operativos. Una balsa de homogeneización antes del tratamiento biológico puede reducir los trastornos y el riesgo de inestabilidad en el funcionamiento.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: Las eficacias de tratamiento son variables, según el tipo de efluente, el diseño de la planta y las condiciones operativas. Los valores típicos son del orden del 90-98 % de eliminación de DBO (normalmente 95+ %) y de un 75-90 % de eliminación de DQO.

La eficacia global de eliminación de sólidos en suspensión totales (SST) del tratamiento primario y secundario es de un 85-90%.

Efectos sobre otros medios: la planta de tratamiento de efluentes produce lodo que después de su deshidratación puede quemarse, proporcionando en algunos casos un poder calorífico positivo. Las aguas residuales tratadas están bastante limpias para su reutilización en algunos puntos del proceso de producción. El problema es que normalmente la planta de tratamiento de aguas residuales está situada tan lejos de la fábrica que el reciclaje no es económico.

Experiencias operativas: las plantas de lodo activado se han utilizado durante muchos años en todo tipo de plantas y en fábricas nuevas de pasta mecánica (y papel) con buenos resultados.

Economía: los costes de inversión para una planta de tratamiento con lodo activado totalmente nueva son de unos 10-12 MEuros para una fábrica integrada nueva de pasta mecánica de 700 ADt/d. Estos costes incluyen también el tratamiento primario necesario y la manipulación del lodo. Los costes operativos correspondientes son de 0,9-1,2 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el proceso de lodo activado se utiliza preferiblemente cuando se requieren eficacias de tratamiento altas o muy altas.

Plantas de referencia: numerosas plantas en todo el mundo para todo tipo de efluentes.

Bibliografía:

[CEPI, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [SEPA-report 4713-2, 1997]

4.3.14 Tratamiento terciario de aguas residuales

Ver Sección 6.3.11.

4.4 Mejores Técnicas Disponibles

4.4.1 Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se llama de nuevo la atención del lector al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector; para las fábricas integradas de pasta mecánica y quimicomecánica y de papel, las principales preocupaciones son el consumo de agua, las descargas de aguas residuales (DQO, DBO, sólidos en suspensión, N, P), el consumo de energía (vapor y electricidad), residuos sólidos como rechazos, lodo y ceniza, las emisiones a la atmósfera de generación de energía (SO₂, NO_x, CO₂, polvo), el ruido, el calor residual al agua y a veces el olor; los tres últimos son impactos de carácter local;
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento ambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico relevante ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse que esto significa que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumos asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe entenderse que significa que puede esperarse que el nivel se alcance durante un período de tiempo substancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica en relación con respecto a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar tales factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTDs generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales de MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información de guía a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumo alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

La fabricación de papel a partir de pasta mecánica no es un solo proceso sino una serie de procesos unitarios, a menudo ligados e interdependientes. Por lo tanto, es siempre una combinación adecuada de técnicas la que constituye MTD para las fábricas de pasta mecánica y papel. El orden de prioridad y la selección de las técnicas o las combinaciones de técnicas depende de las circunstancias locales.

Las mejores técnicas disponibles abajo indicadas son, si no se indica lo contrario, aplicables a plantas nuevas y existentes. En las fábricas de pasta y papel, la aplicabilidad de una técnica está menos influenciada por el hecho de si una fábrica es nueva o existente. Las fábricas de pasta y papel se caracterizan por el hecho de que la maquinaria se reforma en lugar de ser sustituida por completo. La reforma y el desarrollo modular de las plantas significa que cada instalación es un producto único de su localización e historia. Por otra parte, hay una serie de procesos unitarios que son comunes en todos los países.

Los criterios a considerar en la determinación de las MTD en los casos específicos son más bien que los costes específicos para fábricas más pequeñas son relativamente más altos (economía de escala). Otros factores a considerar son las limitaciones de espacio, que algunas fábricas antiguas pueden afrontar, o la falta de adecuación del material o de la configuración de equipos antiguos que no son compatibles con un mayor grado de cierre de los circuitos de agua. Un mayor cierre del sistema del agua se combina en general con una mayor complejidad del sistema, que necesita ser monitorizado, controlado y comprendido. En ocasiones, las fábricas más pequeñas podrían no disponer del conocimiento necesario para gestionar y controlar soluciones de proceso más complejas con la máxima eficacia posible.

4.4.2 MTD para fábricas de pasta mecánica y quimicomecánica y papel

A continuación se detallan las técnicas o la combinación de técnicas que se consideran como MTD para fábricas de pasta mecánica y quimicomecánica y papel. La lista siguiente de MTD no se considera exhaustiva, y cualquier otra técnica o combinación de técnicas que alcancen el mismo (o mejor) funcionamiento pueden también ser consideradas; tales técnicas pueden estar

en fase de desarrollo o ser técnicas emergentes o ya disponibles y no estar descritas en este documento. Para las fábricas integradas de pasta mecánica y papel, se hace referencia a la Sección 6.4 donde se da más información sobre MTD para la fabricación de papel. Si no se indica lo contrario, los datos hacen referencia a valores medios anuales.

Medidas generales

1. Formación, educación y motivación del personal y operarios. La formación del personal puede ser una forma muy rentable de reducir el impacto medioambiental de las fábricas.
2. Optimización del control de procesos. Para poder reducir distintos contaminantes de forma simultánea y mantener bajas las emisiones, se requiere un control de proceso mejorado. El objetivo de los controles es mantener el proceso en el punto operativo deseado.
3. Para mantener la eficacia de las unidades técnicas de las fábricas de pasta y las técnicas de eliminación asociadas a un alto nivel, debe asegurarse un mantenimiento suficiente.
4. Un sistema de gestión medioambiental que defina claramente las responsabilidades de los aspectos medioambientalmente relevantes en una fábrica, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, listas de chequeo y otra documentación relevante.

Medidas para reducir las emisiones al agua

1. Descortezado seco de madera. Las técnicas secas utilizan menos circulación de agua en la etapa del descortezado. Los sistemas de agua en las plantas de descortezado se mantienen muy cerrados. Los sólidos se eliminan del agua de circulación, que sólo se utiliza para el lavado de troncos y la separación del material indeseable. Una parte del agua clarificada se envía al tratamiento de aguas residuales.
2. Sistema de circulación de agua en el sistema de fabricación de pasta mecánica. Con el fin de mantener la acumulación de sustancias disueltas y dispersadas a un nivel aceptable, los circuitos de agua son abiertos en un cierto grado.
3. La separación eficaz de los sistemas de agua de la fábrica de pasta y de la fábrica de papel mediante el uso de espesadores. Un sistema de eliminación de agua después de la fabricación de papel produce una disminución significativa de contaminantes en el sistema de agua de la máquina de papel. El filtrado del espesamiento se devuelve al proceso de fabricación. Esta medida evita que los contaminantes disueltos de la madera viajen por todo el proceso de fabricación de papel. El aislamiento de los procesos individuales permite eliminar la contaminación dentro de cada unidad de proceso en la que se generan.
4. Sistema de aguas blancas a contracorriente desde la fábrica de papel a la fábrica de pasta, según el grado de integración.
La recirculación del agua de proceso desde la máquina de papel a la fábrica de pasta puede no ser posible cuando la fábrica tenga dos o más máquinas de papel que fabriquen distintos tipos de papel cuyas aguas blancas sean incompatibles, o cuando se fabrique papel coloreado.
5. Uso de tanques intermedios suficientemente grandes para almacenaje de aguas del proceso (principalmente para CTMP).
6. Tratamiento primario, secundario biológico, y/o en algunos casos, precipitación química secundaria o floculación de las aguas residuales.

Cuando sólo se aplica tratamiento químico, las descargas de DQO serán algo mayores, aunque compuestas principalmente de materia degradable. Las aguas de pasta mecánica y blanqueo sin tratar son tóxicas para los organismos acuáticos. Un tratamiento biológico bien gestionado puede eliminar la mayor parte de la toxicidad de estos efluentes. Por consiguiente, además de las medidas integradas en el proceso y el tratamiento primario, el tratamiento biológico secundario se considera MTD para fábricas de pasta mecánica y quimicomecánica y papel. Las plantas de lodo activado compuestas por balsa de homogeneización, balsa de aireación, clarificador secundario y manipulación de lodo muestran excelentes resultados para el tratamiento de estos efluentes. Las plantas de lodo activado de baja carga, con una carga de lodo

inferior a 0,15 kg DBO/(kg MLSS*d) y tiempos de retención típicos en la balsa de aireación de alrededor de un día, se consideran MTD. Pueden alcanzar altas eficacias de eliminación (DQO: 75-90%; DBO: 95+%) y ser un sistema de tratamiento estable. Algunas fábricas han conseguido también buenos resultados (>85% de reducción de DQO) con tratamiento biológico de alta carga. Para fábricas de CTMP, hay tres medidas adicionales que se consideran MTD:

1. Lavado eficaz entre la fábrica de pasta y la fábrica de papel. Esta medida reduce el arrastre de sustancias disueltas y dispersas de la fabricación de pasta y el blanqueo. Si no perjudica la calidad de la pasta ni del papel o a otras máquinas de papel que utilicen la misma pasta, el agua de circulación de la fábrica de papel puede usarse como agua de lavado. El filtrado de lavado se devuelve al agua de circulación de la fábrica de pasta.
2. Tratamiento de efluentes mediante sistemas de tratamiento biológico en una o dos etapas con o sin tratamiento químico, o tratamiento químico interno del agua blanca de la primera etapa de lavado más tratamiento con lodo activado del resto. Una combinación de tratamiento aerobio y anaerobio del agua residual se considera también un sistema de tratamiento eficaz. Por último, la evaporación del agua residual más contaminada y la combustión del concentrado más el tratamiento biológico del resto puede ser una solución para la modernización de fábricas.
3. Para fábricas nuevas o que aumenten significativamente su capacidad, la evaporación de corrientes parciales seleccionadas de aguas residuales muy contaminadas para facilitar el tratamiento biológico, o de la totalidad de los efluentes, seguida de la incineración de los concentrados, se considera MTD.

Para las fábricas de pasta integradas con fábricas de papel (como es el caso de la mayoría de fábricas), además de las medidas relacionadas con la fabricación de pasta mecánica, hay que considerar las medidas descritas en el capítulo correspondiente sobre fabricación de papel (capítulo 6). No obstante, las emisiones asociadas con el uso de las MTD que se indican a continuación incluyen la producción de pasta y de papel.

La eficacia de cada una de estas medidas varía considerablemente con las prácticas de diseño y de funcionamiento en las distintas fábricas. Para que una medida pueda ser considerada como MTD debe también estar bien diseñada y gestionada. En la Tabla 4.15 se indica un posible rango de emisiones de las fábricas de pasta mecánica y papel antes del tratamiento biológico. Las fábricas suponen algunos ejemplos reales que funcionan con diversas condiciones de proceso y configuraciones del sistema de agua. Los rangos de emisiones podrían dar una indicación de las emisiones al agua si no se aplicara ningún tratamiento biológico. En realidad, todas estas fábricas tienen tratamiento de efluentes primario y secundario. La lista de fábricas es una selección de fábricas de las que había datos disponibles, y como tal no pretende ser exhaustiva. Incluye fábricas de diversos países en Europa. Los datos se derivan de la información proporcionada por los miembros de grupo de trabajo, comunicaciones personales y [Zippel, 1999]. El método de análisis es el el usado en el país respectivo. La eficacia del tratamiento biológico de los efluentes de las fábricas de pasta se discute más adelante.

Hay que tener en cuenta que algunos fábricas están utilizando una mezcla de fibras, como un cierto porcentaje de fibra recuperada, diversos tipos de pasta mecánica, y también en ocasiones pequeñas cantidades de pasta química comprada. Esto puede conducir a variaciones significativas en las cargas iniciales de contaminación.

El grueso de la contaminación es causada por el desfibrado mecánico. Los distintos procesos de fabricación de pasta causan disoluciones muy diversas de las sustancias de la madera en las aguas de proceso. La concentración típica en las aguas residuales de producción de pasta mecánica es de 2000 y 2500 mg/l. Para la producción de TMP cabe esperar una concentración más alta, entre 2000 y 3500 mg/l (o superior).

Fábricas	DQO [kg/ADt]	Tot N [kg/ADt]	Tot P [kg/ADt]	Caudal [m³/ADt]	Producción 97 [ADt/a]	Comentarios
Steyrerstuhl, AT, Papel prensa	18 ¹⁾ -35	n/d.	n/d.	17-20	450000	SGW con blanqueo reductivo, TMP con blanqueo en 1 o 2 etapas + 50% DIP
Fábrica 2, DE	19	n/d.	n/d.	16	n/d.	TMP, no hay información adicional disponible
Fábrica 3, DE, LWC	17	n/d.	n/d.	13	n/d.	TMP, no hay información adicional disponible
Fábrica 4, DE, LWC	12	n/d.	n/d.	15	n/d.	GW, no hay información adicional disponible
Fábrica 5, DE	18	n/d.	n/d.	14	n/a	GW, no hay información adicional disponible
Fábrica 6, DE	7	n/d.	n/d.	10	n/a	GW, no hay información adicional disponible
Fábrica 7, DE	9	n/d.	n/d.	16	n/a	GW, no hay información adicional disponible
Norske Skog Saugbrugs NO, Papel SC ^{2) 3)}	63	n/d.	0,04	n/a.	530.000	55% PM (blanqueada con peróxido), 12 % PQ, 33% relleno
Norske Skog Follum, NO, Papel prensa y MFC ^{2) 3)}	90	n/d.	0,04	n/a.	350.000	> 95% PM (SGW y TMP, un 70% blanqueada con peróxido), < 5% PQ
<p><i>Notas explicativas:</i> n/d. = no disponible; MFC = Estucado Acabado en máquina de papel ; PQ = pasta química comercial, PM = Pasta mecánica producida in situ, LA = Lodo activado 1) El extremo inferior del rango hace referencia a blanqueo con ditionito, que normalmente se realiza en el rango de pH de 5-6. No aumenta notablemente la cantidad de material orgánico disuelto. El extremo superior del rango hace referencia a blanqueo con peróxido de hidrógeno alcalino. 2) Una elevada alcalinidad causa una amplia disolución de las sustancias de la madera. Por consiguiente, el blanqueo con peróxido de hidrógeno alcalino produce una carga adicional de 5-15 kg DBO/t y 15-40 kg DQO/t, que es del mismo orden que en el desfibrado mecánico en sí. La descarga de fósforo aumenta en 20-35 g/t, y la descarga de nitrógeno puede aumentar hasta 400-500 g/t [Papermaking Science and Technology, 1999]. 3) Las cifras indicadas para las dos fábricas noruegas son los niveles de descarga antes de cualquier tratamiento (antes del tratamiento primario) y por consiguiente no son comparables con las otras cifras.</p>						

Tabla 4.15: Ejemplos de niveles medios anuales de emisiones al agua tras el tratamiento primario de algunas fábricas de pasta mecánica y papel en Europa (año de referencia: 1997)

La CTMP produce también una disolución perceptiblemente más alta de las materias de la madera que la TMP. Suponiendo un consumo específico de agua entre 10 y 20 m³/ADt, la concentración de DQO del total de aguas residuales totales de la fabricación de pasta y de la fabricación de papel varía normalmente entre 600 y 2000 mg/l antes del tratamiento biológico.

En fábricas integradas, las aguas residuales del departamento de fabricación de pasta se mezclan con agua de otras partes de la fábrica (e.g. aguas residuales de estucado, agua de la producción integrada de DIP) y se tratan en una planta de tratamiento común. Típicamente, la carga de DQO antes del tratamiento biológico varía entre menos de 10 kg DQO/t y 35 kg DQO/t (con una pequeña parte de TMP blanqueada con peróxido). Para fabricación de TMP predominantemente blanqueada con peróxido se obtienen también las cargas más altas de DQO (hasta 90 kg/t antes de cualquier tratamiento (primario)).

Para fábricas de pasta mecánica y papel, es difícil que presenten niveles de emisiones que se asocien con el uso de las MTD antes del tratamiento biológico, ya que la carga de contaminación depende considerablemente de las condiciones de desfibrado (ej: temperatura), de las secuencias de blanqueo aplicadas (niveles de pH) y de las materias primas usadas (especie de madera, almacenaje). La configuración y el grado de cierre de los circuitos de agua (flujos a contracorriente, uso de espesadores, clarificación de proceso del agua) es otra influencia importante. Por lo tanto, los datos sobre la cantidad y composición de sustancias disueltas y dispersadas en las aguas de proceso de la fábrica antes del tratamiento varían y no son suficientemente cualificados para extraer conclusiones generales. Otra dificultad es que el sistema de agua del departamento de fabricación de pasta mecánica está conectado con el sistema de agua de la fabricación de papel, lo que causa interferencia entre los dos sistemas.

La Tabla 4.16 muestra los niveles de emisiones de algunas fábricas de pasta mecánica en Europa que han aplicado un conjunto de medidas de MTD integradas en el proceso, aunque no necesariamente todas ni en toda su extensión, así como tratamiento biológico de aguas residuales. Las emisiones entre paréntesis se indican en forma de concentraciones.

Fábricas integradas de pasta mecánica y papel	Niveles alcanzados después del tratamiento biológico (medias anuales)						Materias primas o tipo de tratamiento de aguas residuales
	DQO [kg/Adt]	DBO ₅ or 7 [kg/Adt]	SST [kg/Adt]	Total P [kg/Adt]	Total N [kg/Adt]	Caudal ³⁾ [m3/Adt]	
Enso summa, FI, Papel prensa	1,8 (75 mg/l)	0,21 (9 mg/l)	0,3 (13 mg/l)	0,007	0,07	24	sin información
UPM Kaipola, FI, Papel prensa /LWC	2,8 (150 mg/l)	0,1 (5 mg/l)	0,3 (16 mg/l)	0,005	0,07	19	sin información
Steyrermühl, AT, Papel prensa	2,5 (125 mg/l)	< 0,2 (10 mg/l)	< 0,2 (10 mg/l)	< 0,01	< 0,03	17-20	SGW, TMP + 50% DIP, LA baja carga
Braviken, SE, Papel prensa	2,0 (135 mg/l)	n./d.	0,39 (26 mg/l)	0,004	0,1	15	TMP + RCFP; trat. biológico + precipitación química
Kvarnsveden, SE, Papel prensa, SC	2,0 (135 mg/l)	n./d.	0,22 (15 mg/l)	0,002	0,054	15	TMP + GWP; trat. biológico + precipitación química
Fábrica 2, DE, estucado (ej: LWC)	0,85 (65 mg/l)	< 0,1 (8 mg/l)	0,15 (12 mg/l)	0,006	0,04 (N inorg.)	13	30% PQ comprada, 30% PM, 30% cargas, DIP, biofiltro 2 etapas
Fábrica 3, DE, LWC	0,8 (95 mg/l)	0,1 (12 mg/l)	0,07 (8 mg/l)	0,01	0,04 (N inorg.)	8.5	30% PQ comprada, 30% PM, 10% DIP, 30% cargas, LA
M-S Kirkniemi, FI, LWC	2,0 (180 mg/l)	0,15 (14 mg/l)	0,5 (45 mg/l)	0,003	0,04	11	LA + precipitación química
Ortviken, SE, Papel prensa, LWC	2,0 (105 mg/l)	n./d.	0,29 (15 mg/l)	0,004	0,10	19	TMP; trat. biológico + precipitación química
Myllykoski, FI, LWC/SC	3,4 (180 mg/l)	0,3 (16 mg/l)	0,5 (25 mg/l)	0,011	0,06	19	Lodo activado + precipitación química
UPM Jämsänkoski, FI, SC	2,4 (160 mg/l)	0,06 (4 mg/l)	0,4 (25 mg/l)	0,006	0,09	15	Lodo activado + precipitación química
M-S Lielähti, FI, CTMP no integrado	15 (650 mg/l)	1,1 (48 mg/l)	1,6 (70 mg/l)	0,025	0,31	23	Lodo activado
Rockhammar, SE, CTMP no int.	12	n./d.	0,8	0,007	0,2	20	Trat. biol. + precip. química
Waggeryd, SE, CTMP no int.	22	n./d.	2	0,03	0,9	19	Tratamiento biológico
Fors, SE, CTMP integrado	20	n./d.	1,5	0,03	0,2	16	Trat. biol. + precip. química
Notas explicativas: PQ = pasta química comercial, MP = Pasta mecánica producida in situ, LA = lodo activado, n./d. = no hay datos disponibles La lista de fábricas es una selección de fábricas de las que había disponibles o se han facilitado datos, y por consiguiente no pretende ser exhaustiva. Los datos se derivan de informes medioambientales disponibles, estadísticas del Instituto Finlandés de Medio Ambiente, informe del SEPA 4987 (datos de 1998) y de comunicaciones personales. El método de análisis es el utilizado en el país correspondiente. En Suecia y Finlandia, los valores de DBO se indican como DBO ₇							

Tabla 4.16: Ejemplos de niveles de emisiones alcanzados después del tratamiento biológico de fábricas integradas de pasta y papel en Europa que fabrican papel con contenido de pasta mecánica (año de referencia: 1997)

Suponiendo un adecuado diseño y capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como un sistema adecuado de funcionamiento y control por operarios cualificados, en la tabla 4.17 se reflejan los datos **después** del tratamiento biológico que están asociados con el uso de las MTD.

Para las fábricas que blanquean con peróxido de hidrógeno alcalino, los niveles de emisiones asociados con las MTD están más bien en el extremo superior del rango y en algunos casos específicos incluso superiores (ej: si la composición de fabricación consiste predominantemente en pasta TMP blanqueada con peróxido). Por otra parte, las fábricas integradas de pasta mecánica y papel que utilizan una cantidad significativa de pasta química comercial como suministro de fibra pueden alcanzar valores más bajos, de hasta 1 kg de DQO por la tonelada de papel producida.

Otras calidades de pasta mecánica y fábricas de papel

En las fábricas de pasta mecánica que están integradas con una fábrica de papel, los datos de los efluentes para el producto final incluyen la contribución de la planta de pasta y de la fábrica de papel. En la mayoría de las fábricas de papel que producen calidades que contienen pasta, la pasta química requerida (si se requiere) se supone que debe ser adquirida a fábricas externas. La

Parámetro	Unidades	Fábricas integradas de pasta mecánica y papel como papel prensa ¹ , papel LWC ² , papel SC ³
DBO	kg/t de papel	0,2 – 0,5
DQO	kg/t de papel	2,0 – 5,0
SST	kg/t de papel	0,2 – 0,5
AOX	kg/t de papel	< 0,01
Total P	kg/t de papel	0,004 – 0,01
Total N	kg/t de papel	0,04 – 0,1
Cantidad de aguas residuales	m ³ /t de papel	12 – 20
Notas explicativas:		
1) Se supone que > 50% de las fibras consiste en pasta mecánica fabricada en la fábrica. En las fábricas de papel prensa de Europa se utilizan distintas mezclas de composición de fabricación. La composición de fabricación puede ser por ejemplo 50-60% de pasta TMP blanqueada, 40-50% de DIP.		
2) Se supone que > 50% de las fibras consiste en pasta mecánica fabricada en la fábrica. En las fábricas de papel LWC en Europa pueden encontrarse distintas mezclas de suministros de fibras. La composición de fabricación puede ser por ejemplo 30-40% de pasta kraft blanqueada comercial, y 50-60% de PGW o TMP		
3) Se supone que > 50% de las fibras consiste en pasta mecánica fabricada en la fábrica. En las fábricas de papel SC de Europa se utilizan distintas mezclas de composición de fabricación. La composición de fabricación puede ser por ejemplo 10-20% de pasta kraft blanqueada comercial, 80-90% de PGW o TMP. Un 20-45% de la materia prima consiste en cargas y colas.		

Tabla 4.17: Niveles de emisiones asociados con las MTD como medias anuales para la fabricación de papel con contenido de pasta mecánica (> 50% pasta mecánica). Los valores corresponden a fábricas integradas después del tratamiento biológico. Se incluyen las emisiones de la máquina de papel. Las MTD para fabricación de papel se describen en la Sección 6.4.

contribución de la desintegración de esta pasta química a la carga total de efluentes es insignificante en comparación con la contribución de la fábrica de pasta mecánica. Sin embargo, algunas fabricas de papel y cartón que producen papel LWC o cartón (ej: cartón para briks o para cajas plegables) están integradas con fábricas de pasta química. En tales casos, hay que agregar las emisiones de la fabricación de pasta kraft según la composición de fabricación. Ver los niveles de referencia de MTD para fabricación de pasta kraft presentados en la Sección 2.4.

Los niveles de emisiones asociados a MTD para las fábricas integradas de **cartón** (>50% de pasta mecánica) serán bastante similares a los de las fábricas de papel LWC. La composición de fabricación para un cartón de múltiples capas puede ser por ejemplo de un 25-30 % de pasta kraft blanqueada, y un 70-75 % de TMP; las cargas y la capa de estucado pueden representar un 10-25 %. No obstante, hay muchas otras mezclas de suministros en las fábricas europeas de cartón.

Los niveles de emisiones asociados a MTD para fábricas integradas de papel tisú con contenido de pasta mecánica (>50% de pasta mecánica) deben ser del mismo orden que para las fábricas de papel prensa o papel SC. En Europa hay sólo unas pocas fábricas de papel tisú con contenido de pasta mecánica. La composición de fabricación para papel tisú con contenido de este tipo de pasta puede consistir por ejemplo en un 50-60 % de pasta mecánica blanqueada y un 40-50 % de pasta química comercial. No se presentan niveles de emisiones de MTD específicos para esta calidad de papel.

Por contra, los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD para la fabricación de **CTMP** son considerablemente distintos, ya que el fabricación de CTMP produce una disolución considerablemente mayor de materias de la madera que el de TMP. Los niveles de emisiones MTD después del tratamiento se indican en la Tabla 4.18.

La Tabla 4.17 y la Tabla 4.18 deben estudiarse junto con las siguientes explicaciones adicionales:

Demanda química de oxígeno (DQO): el índice de reducción de DQO está en función de los tipos y las cantidades de efluentes tratados (e.g. TMP blanqueada con peróxido, producción de SGW con blanqueo reductor, producción de DIP, efluentes de estucado), de la construcción y la hidráulica de la planta de tratamiento y del ajuste apropiado de los parámetros de funcionamiento. Las aguas residuales de la fabricación de pasta mecánica son más fácilmente

Parámetros	Unidades	CTMP ¹
DBO	kg/ADt	0.5-1.0
DQO	kg/ADt	10.0-20.0
SST	kg/ADt	0.5-1.0
AOX	kg/ADt	-
Total P	kg/ADt	0.005-0.01
Total N	kg/ADt	0.1-0.2
Cantidad de aguas residuales	m ³ /ADt	15-20
Notas explicativas:		
1) Las emisiones hacen referencia a producción no integrada de CTMP. Tratamiento previo con sulfito sódico alcalino o neutro, rendimiento de refino 94-95% [datos de J.Pöyry, 1998 y datos de fábricas]		

Tabla 4.18: Niveles de emisiones asociados con MTD como medias anuales para la fabricación de CTMP. Los valores hacen referencia a fábricas no integradas después del tratamiento biológico. No se incluyen las emisiones de la máquina de papel. En las fábricas integradas hay que agregar las emisiones de la fabricación de papel, según se describe en la Sección 6.4, según cuota de producción

degradables que las de la fabricación de pasta química. Mediante plantas bien diseñadas y controladas y una baja carga es posible conseguir índices de eliminación de DQO del 75-90 %. Por consiguiente, por lo general es posible alcanzar niveles de emisión de 2 - 5 kg DQO/ADt en fábricas que producen papel que contiene pasta mecánica.

Por consiguiente, por lo general es posible alcanzar niveles de emisión de 2 - 5 kg DQO/ADt en fábricas que producen papel que contiene pasta mecánica. La concentración medida en efluentes de estas fábricas es del orden de 125 - 200 mg DQO/l. Las fábricas de CTMP descargan aguas residuales más concentradas. Debido al tratamiento químico previo de las astillas, las fábricas de CTMP tienen emisiones más elevadas al agua.

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅ o ₇): en plantas de tratamiento bien diseñadas, la DBO se elimina casi totalmente (95% + de eliminación) de las aguas residuales de las fábricas de pasta mecánica cuando la relación de carbono-fósforo-nitrógeno y el suministro de oxígeno se mantienen suficientes y bien controlados.

Una concentración de DBO en efluentes tratados por debajo de 25 mg/l (a menudo cerca del límite de detección) se asocia con las MTD. Según el caudal de agua, esto corresponde a 0,2 kg DBO₅/ADt y 0,7 kg DBO₅ /ADt.

Total sólidos en suspensión (SST): en condiciones normales de funcionamiento, el agua del clarificador secundario es bastante clara y su contenido de sólidos en suspensión es del orden de 20 a 30 mg/l. Esto corresponde a descargas de 0,2 – 0,5 kg SST/ADt. Los valores dependen de la carga superficial del clarificador secundario y de las características de la biomasa.

Fósforo y nitrógeno (Tot-P y Tot-N): normalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C: P: N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Es necesario encontrar y mantener un equilibrio entre los compuestos de N y P entrantes que están disponibles para biomasa y la cantidad de nutrientes agregados, si los hay, lo cual requiere un ajuste fino de la alimentación de nutrientes. Cuando el sistema está bien optimizado, se alcanzan valores de fósforo por debajo de 0,5 mg tot-P/l y de nitrógeno de 1 - 5 mg tot-N/l. Las cargas correspondientes son 0,005 – 0,01 kg P/ADt y 0,05 – 0,2 kg N/ADt respectivamente.

Medidas para reducir las emisiones a la atmósfera

Calderas auxiliares: según el balance energético real de la fábrica, el tipo de combustibles externos usados y el destino de posibles biocombustibles como corteza y restos de madera, habrá que considerar además las emisiones atmosféricas de las calderas auxiliares. Los niveles de emisión asociados con las MTDs de calderas auxiliares que incineran sus propios biocombustibles y diversos combustibles fósiles se indican en la Tabla 4.19. Las emisiones totales a la atmósfera son muy específicas de cada instalación (ej: tipo de combustible, demanda energética, producción de electricidad). Hay que destacar que las calderas auxiliares dentro de la industria de la pasta y el papel son de un tamaño muy variable (desde 10 hasta más de 200 MW). Para las más pequeñas basta con utilizar combustible bajo en S y técnicas de combustión con costes razonables, mientras que para las más grandes se aplican también medidas de control. Esta diferencia se refleja en la tabla siguiente. El rango más alto se considera MTD para instalaciones pequeñas, y se alcanza aplicando sólo medidas de calidad del combustible; los niveles más bajos (entre paréntesis) se asocian a medidas de control adicionales como SNCR y “scrubbers” y se consideran como MTD para instalaciones más grandes.

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel-oil pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (ej: corteza)
mg S/MJ de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50-100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO _x /MJ de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 -60 ²	60 -100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/Nm ³	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂	10 - 40 ⁴ at 3 % O ₂	10-30 3% O ₂	< 5 3% O ₂	10 - 30 ⁴ at 6% O ₂
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas a fuel-oil o carbón dependen de la disponibilidad de fuel-oil y carbón con bajo contenido de azufre. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; sólo en instalaciones grandes. 4) Valores asociados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos eficaces. 5) Cuando se utiliza un lavador; sólo se aplica a instalaciones grandes.					

Tabla 4.19: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTDs para distintos combustibles

Emisiones de COVs

Debido a la elevada temperatura de desfibrado, una parte de los compuestos volátiles de la madera se evapora durante los procesos. La cantidad y la composición de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) dependen en gran medida del contenido de resina de la madera. En los casos en que se utilizan especies de madera con alto contenido extractivo y las emisiones generadas de COVs no se recuperan suficientemente en las unidades de recuperación de calor y el lavador inicial para el vapor de TMP, la recogida y tratamiento ulterior de los compuestos volátiles se considera como MTD. El aire de escape que contiene COVs puede incinerarse en las calderas existentes.

Emisiones de la incineración de residuos

Es MTD el uso de tecnología de lecho fluidizado en la caldera de residuos sólidos. Los gases de combustión se limpian según los requisitos fijados para la incineración de la composición de entrada del combustible correspondiente.

Medidas para reducir los residuos sólidos

La mayoría del material sólido que forma los flujos de residuos se crea durante el descortezado (corteza, pérdida de madera, astillas y serrín por el descortezado). Otros residuos sólidos consisten en pérdidas de fibra durante la fabricación, y el lodo del tratamiento primario y secundario de aguas residuales. En muchas fábricas todos estos residuos con alto contenido orgánico se recuperan y se queman en calderas auxiliares. Generalmente, las medidas siguientes se consideran como MTD:

La minimización de la generación de residuos sólidos y la recuperación, reciclaje y reutilización de estos materiales en la medida de lo posible:

1. Recogida separada de las fracciones residuales en origen y, en caso necesario, almacenaje intermedio de residuos / desechos para hacer posible una manipulación apropiada de los productos residuales restantes.
2. Incineración de todo el material orgánico no peligroso (corteza, restos de madera, lodo efluente, etc.) en calderas auxiliares con emisiones optimizadas, diseñadas especialmente para la combustión de combustibles húmedos de bajo poder calorífico (como por ejemplo calderas de lecho fluidizado).
3. Utilización externa de residuos / desechos como sustitutos en explotación forestal, agricultura u otras industrias, si es posible.
4. Minimización del envío de rechazos a vertedero.

Hay que señalar que hay poca información detallada y fiable disponible sobre las cantidades alcanzables de residuos sólidos. Hay carencia de datos estadísticos y se utilizan distintos términos para las diversas fracciones de residuos en Europa. Algunos países aportan datos sólo de los residuos sólidos - sobre todo los residuos sólidos inorgánicos - que ya no pueden ser reciclados o ser reutilizados, sino que deben ser desechados en vertedero. Esto implica que todos los residuos orgánicos que tienen un poder calorífico razonable o que pueden incinerarse sin riesgo de emisiones peligrosas en la caldera auxiliar de una fábrica están ya excluidas de las cantidades indicadas de residuos sólidos (corteza y restos de madera, lodo primario y biológico del tratamiento de aguas residuales). Por lo tanto, el residuo sólido desechado en vertedero incluye principalmente cenizas de caldera, algunos rechazos de madera y corteza y diversos residuos de limpieza y residuos de tipo doméstico.

Por los motivos arriba indicados, no se presentan valores de cantidades alcanzables de residuos sólidos no peligrosos.

En todas las fábricas se genera una pequeña cantidad de residuos peligrosos. En esta categoría se incluyen residuos de aceite y grasa, aceites hidráulicos y de transformador usados, baterías de desecho y otros equipos eléctricos de desecho, disolventes, pinturas, residuos con biocidas y productos químicos, etc.. Normalmente representan 0,05-0,1 kg/t de producto.

Medidas de ahorro de energía

En general en este sector se considera que las MTD suponen el uso de tecnologías energéticamente eficientes. Hay disponibles numerosas opciones de ahorro de energía en muchas etapas dentro del proceso de fabricación. Estas medidas están normalmente vinculadas a inversiones para sustituir, remodelar o modernizar el equipo de proceso. Hay que destacar que la mayoría de las medidas de ahorro de energía no se aplican sólo por el ahorro de energía. La eficacia de producción, la mejora de la calidad del producto y la reducción de los costes globales son la base más importante para las inversiones.

Para reducir el consumo de energía se hallan disponibles las siguientes medidas:

1. Aplicación de un sistema para supervisar el consumo y el aprovechamiento de la energía. Sobre la base de una información fiable de aprovechamiento de la energía pueden tomarse las medidas apropiadas. La gestión de la energía incluye fijar, controlar, estudiar y revisar los objetivos de aprovechamiento de la energía.
2. Modernización del equipo. Al sustituir el equipo, optar por equipos que consuman menos energía con posibilidades de control de proceso automatizado en lugar de sistemas manuales convencionales. Los sistemas con control automatizado pueden controlarse de forma más eficiente y pueden producir ahorros más precisos de proceso y energía (ver también Sección 6.3).

3. Minimización de las pérdidas mediante etapas eficaces de manipulación de rechazos y refino de rechazos. Si los paquetes de fibras (grumos) y las fibras gruesas sin desfibrar se separan de la línea de proceso principal, la energía, que ya se consumió para el primer desfibrado / refino, se perdería. La reducción de las pérdidas por rechazos después del desfibrado y del refino principal, y el refino ulterior de los grumos y fibras gruesas para que adquieran las propiedades del nivel de calidad requerido, disminuyen pues el consumo específico de energía.
4. Uso de sistemas eficaces de recuperación de calor (se aplica sólo a TMP y CTMP). En el refino de TMP se generan grandes volúmenes de vapor, ya que alrededor de dos tercios de la energía eléctrica de refino se transforma en energía térmica en la forma de vapor saturado caliente. Las impurezas presentes en el vapor de TMP hacen necesaria la unidad de recuperación de calor, ya que no es posible el uso directo del vapor de TMP. El vapor de TMP se separa de las fibras en ciclones y después se condensa produciendo vapor limpio de vaporización. El vapor limpio se utiliza normalmente en la máquina de papel.
5. Aplicación de cogeneración de calor y energía donde la relación entre energía eléctrica y vapor lo permita.

Para otras medidas de reducción del consumo de energía que son generalmente aplicables a las fábricas de papel, se hace referencia a la Sección 6.3. Las principales posibilidades de mejora discutidas en esta sección, como la optimización de la deshidratación en la sección de tela mediante la instalación de una prensa de nip (prensor) ancho y el uso de tecnologías energéticamente eficaces. También ahí se menciona la reducción del uso directo del vapor mediante una cuidadosa integración de proceso a través del análisis de compresión.

En muchos países europeos, la información sobre balances energéticos de las fábricas integradas de pasta y papel está poco a disposición del público. En Europa se utilizan distintos esquemas de divulgación del consumo de energía. La demanda energética también depende en cierta medida de las condiciones locales. Por lo tanto es difícil presentar valores de consumo de energía asociados con el uso de las MTD. Los rangos de consumo de energía indicados en la Tabla 4.20 deben tomarse sólo como indicación sobre los requisitos aproximados de calor y energía de proceso en fábricas de pasta mecánica y papel energéticamente eficientes. Es posible que se agreguen otros ejemplos de fábricas energéticamente eficientes con sus condiciones específicas en una próxima revisión de este BREF.

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/Adt ¹⁾	Consumo de energía eléctrica (neto) en MWh/Adt
Fábrica integrada de papel prensa acabado en máquina (100% TMP)	- 1,3 ²	2,2
Fábrica integrada de papel prensa SC (100 % TMP)	- 0,3 ²	2,1
Fábrica integrada de papel prensa (>50% pasta mecánica)	0-3,0	2,0-3,0
Fábrica integrada de papel LWC (>50% pasta mecánica)	3,0-12,0	1,7-2,6
Fábrica integrada de papel SC (>50% pasta mecánica)	1,0-6,0	1,9-2,6
Fábrica integrada de cartón (>50% pasta mecánica)	3,5-13,0	2,3-2,8
Fábrica de CTMP no integrada	0	2,0-3,0
Notas explicativas: (-) indica un exceso Las unidades pueden convertirse de MWh a GJ según los factores 1 MWh = 3,6 GJ y 1 GJ = 0,277 MWh Datos de [J.Pöyry, 1998], [SEPA Report 4712-4, 1997], [Finnish BAT Report, 1997] 1) El consumo de calor neto del proceso depende principalmente del tipo de refino y del grado de recuperación de calor. 2) Los valores sólo pueden alcanzarse si la recuperación de calor, la sección de prensado de la máquina de papel y el consumo de electricidad se aplican y gestionan de un modo ideal. En los procesos existentes, esta situación se da raramente.		

Tabla 4.20: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción de papeles que contienen pasta mecánica por tonelada de producto

Atenuación del ruido

MTD es la reducción de los niveles de ruido audibles en la vecindad de las fábricas de papel. Las medidas aplicadas dependerán en gran medida del problema específico de ruido de cada fábrica y de los objetivos fijados. Normalmente serán mucho más estrictos si la fábrica es adyacente a una zona residencial.

Consumo de productos químicos

Ver Sección 6.4.

4.5 Técnicas Emergentes

4.5.1 Uso de nuevas técnicas de evaporación como "riñón" para la limpieza interna del agua de proceso

Descripción: en el desfibrado mecánico, la mayor parte del material orgánico liberado durante la producción viene de unas pocas fuentes (e.g. agua del filtrado de la deshidratación de la corteza, caudal separado del agua de la circulación de descortezado, del material orgánico disuelto durante el desfibrado / refino, filtrado de blanqueo). Actualmente, en la mayoría de las fábricas, el tratamiento de aguas residuales se hace conjuntamente para todos los efluentes de la fábrica, que es una manera útil de conseguir un funcionamiento estable en el tratamiento biológico. Recientemente, algunas fábricas han introducido nuevos conceptos, que se centran en el tratamiento interno de las corrientes residuales parciales concentradas o más problemáticas mediante otras técnicas. Así, se intenta separar los contaminantes más cerca de su lugar de origen para reducir el tamaño del equipo de tratamiento de aguas necesario. Fundamentalmente, para reducir la cantidad de contaminantes pueden usarse las técnicas de microflotación, filtración con membrana, oxidación química, evaporación y combinaciones de estas técnicas. El consumo de energía y los costes de inversión y explotación en la aplicación dada tendrán una influencia crucial en la elección del sistema de tratamiento. Para las fábricas de pasta mecánica y papel la evaporación multiefecto al vacío parece ser especialmente prometedora, ya que hay disponibles cantidades suficientes de calor residual para hacer funcionar el sistema de tratamiento.

Estado de desarrollo: dos fábricas de pasta mecánica en Suecia y Finlandia han construido recientemente una planta de evaporación para tratar una parte importante del efluente de TMP (StoraEnso Kotka, FI) y de CTMP (Stora Fors, SE). Ambas fábricas están utilizando una nueva clase de Evaporador Multiefecto de cocorriente denominado ZEDIVAP™ para producir agua pura para su reutilización. Como superficies de transferencia térmica se utilizan láminas de película descendente (falling film) de flujo libre. Todavía se están realizando trabajos de optimización en ambas fábricas.

Implicaciones ambientales: esta nueva aplicación de técnicas avanzadas de aguas residuales abre la puerta a reducciones significativas de los volúmenes y cargas de efluentes en el medio receptor. El proceso utiliza las corrientes de calor residual disponibles en la fábrica y el propio calor latente del efluente. En este caso, el consumo de electricidad de la planta de evaporación es aproximadamente del mismo orden que en los sistemas biológicos convencionales. La demanda energética total depende del número de efectos. Por ejemplo, una planta con 10 efectos necesita solamente un 10% de la energía de un solo efecto. Sin embargo, la manipulación y el tratamiento de los concentrados todavía están esperando una solución satisfactoria. En la actualidad hay soluciones muy específicas de ciertas instalaciones (la combustión de concentrados en la caldera de recuperación de fábricas de pasta kraft adyacentes). Un requisito previo para el uso de esos sistemas es que se siga una estricta gestión del agua en todos los departamentos de la fábrica.

Consideraciones económicas: las técnicas modernas para la limpieza y reutilización interna de aguas de proceso pueden ser tan rentables como la purificación tradicional de las aguas residuales (tratamiento biológico). [Edelmann, 1999] ha compilado cifras de consumo de energía, así como los costes de inversión y explotación de las principales opciones de tratamiento, que se muestran en la tabla siguiente. Sin embargo, la justificación económica de esta técnica dependerá de las condiciones específicas de la fábrica en cuestión.

Métodos de tratamiento del agua	Consumo de electricidad kWh/m ³ agua	Capacidad típica (m ³ /d)	Costes de inversión Euro/(m ³ /d)	Costes operativos Euro/(1000 m ³)
Tratamiento químico del agua bruta	0,30	30000	170	73
Tratamiento biológico de efluentes	1,20	30000	620	136
Microflotación	0,23	10400	20	104
Ultrafiltración	2,60	5000	470	153
Evaporación multiefecto	1,34	3600	840	35
Compresión mecánica de vapor	13	3600	1360	328
Torre de refrigeración	0,12	39000	130	3
Nota: Las cifras se basan únicamente en el coste del equipo, y no se incluyen los costes totales de los proyectos o los costes de aplicación local.				

Bibliografía: [Edelmann, 1999], [Gartz, 1996], [Gartz, 1998], [Wigsten, 1995], [Legnerfält, 1997]

4.5.2 Nuevos proyectos de TMP energéticamente eficientes

Descripción: el proceso de TMP consume grandes cantidades de energía eléctrica, del orden de 1600-3200 kWh/ADt. El proceso muestra una gran flexibilidad en muchos aspectos, no es probable que la industria cambie los procesos existentes de TMP a PGW (aparte de algunos casos), que consume menos energía (unos 600-1200 kWh/ADt menos) que la producción de TMP para las mismas calidades.

Por consiguiente, mucho trabajo de desarrollo se ha centrado en la reducción del consumo de energía en el proceso de TMP. Ha habido ensayos piloto prometedores, como el proceso multietapa KCL, que indica que pueden obtenerse reducciones significativas de energía de un 10-15% (200-450 kWh/t) cambiando la estrategia de refinado. Esta afirmación no puede verificarse totalmente en la fase actual. Sin embargo, desde mediados de los 90 hay también algunas aplicaciones a escala de fábrica de procesos de TMP energéticamente eficientes (RTS, Thermopulp®).

Estado de desarrollo: hay dos nuevos sistemas de TMP en el mercado, el proceso RTS y el proceso Thermopulp®, que consumen substancialmente menos energía que los procesos "normales" de TMP. A mediados de los 90, varias líneas del proceso Thermopulp® entraron en funcionamiento en Europa y Norteamérica. La primera instalación de RTS fue en Perlen Papier AG, Suiza, en 1996. Ambos sistemas pueden considerarse como técnicas disponibles, aunque normalmente sólo se instalarían en fábricas nuevas o cuando se substituya el equipo existente.

Implicaciones medioambientales: el denominado proceso "RTS" reduce el consumo de energía en el refinado aumentando la velocidad de los discos. La operación a alta velocidad se restringe a la primera etapa del refinado. Al mismo tiempo, la temperatura se aumenta durante esta etapa. La "R" corresponde al tiempo de retención, la "T" a la temperatura, y la "S" a la velocidad (Speed). La primera experiencia a plena escala productiva sugiere que con este sistema puede conseguirse una reducción del consumo de energía del orden del 15% con respecto a la TMP convencional. El consumo específico de energía de la primera explotación comercial de RTS es de 1,85 MWh/ a un nivel de desgote de 94.

En el proceso Thermopulp®, la primera etapa de refinado se realiza a una temperatura relativamente baja. La presión y la temperatura se elevan antes de segunda etapa de refinado, que se realiza a presión y temperatura muy elevadas (hasta 700 kPa y 170°C). Se han notificado ahorros de energía del 10-20%. El consumo específico de energía a escala productiva en una fábrica norteamericana es de 1,75 MWh/t a un desgote de 160.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles. Los ahorros de energía deben compararse con los costes de inversión. Es de esperar que la nueva tecnología se irá aplicando sólo de forma gradual debido al tiempo de vida útil de los equipos y plantas actuales.

Bibliografía: [SEPA-Report 4712-4, 1997], [Paper Science and Technology, 1999]

5 PROCESO DE PAPEL RECUPERADO

La fibra recuperada se ha convertido en una materia prima imprescindible para la industria de fabricación de papel, representando cerca de un tercio de las materias primas totales debido al precio favorable de las fibras recuperadas en comparación con las calidades correspondientes de pasta comercial, así como debido a la promoción del reciclaje de papel en muchos países europeos. En Europa hay un índice medio de utilización de papel recuperado del 43 %. No obstante, hay que tener en cuenta que el mantenimiento del ciclo de la fibra se basa en la aportación de una cierta cantidad de fibras primarias para asegurar la resistencia y otras características del papel a producir.

Para un aprovechamiento eficaz del papel recuperado, es necesario recoger, seleccionar y clasificar los materiales en calidades adecuadas.³ Por lo tanto, después de su recogida, el papel recuperado es llevado a los almacenes de recuperación, donde se selecciona. Los materiales impropios como plásticos, papeles laminados etc. se eliminan antes de su embalado del mejor modo posible. El papel recuperado clasificado es compactado generalmente por máquinas de embalado. El papel recuperado industrial de grandes productores se suministra normalmente para su proceso a almacenes de papel recuperado integrados en la fábrica de papel.

5.1 Procesos y técnicas aplicados

El sistema de proceso del papel recuperado varía según la calidad del papel a producir, como por ejemplo papel de embalaje, papel prensa o papel tisú, así como el tipo de composición de fabricación utilizado. Generalmente, los procesos de fibras recicladas (FRC) pueden dividirse en dos categorías principales:

- Procesos con limpieza exclusivamente mecánica, es decir, *sin productos que incluyan destintado*, como testliner, papel ondulado, cartón con o sin estucar.
- Procesos con limpieza mecánica y *destintado*, que comprenden productos como papel prensa, papel tisú, papel para impresión y copia, papeles para revista (SC/LWC), cartón con o sin estucar o DIP comercial.

En las fábricas de papel europeas se aplican muchos sistemas distintos de proceso de papel recuperado. Sin embargo, todos se basan en pasos de proceso similares que pueden combinarse de forma diversa para cumplir su tarea específica. Todos los sistemas de proceso tienen como objetivo el desfibrado, desagregado y eliminación de impurezas, es decir, la separación eficaz del material fibroso y las impurezas y contaminantes. Las plantas de fibras recicladas se componen de "bloques básicos" similares diseñados para la tarea específica. Estas etapas típicas del proceso de fibras recicladas son como sigue:

Almacenaje del papel recuperado

El papel recuperado se entrega normalmente a la fábrica de papel en forma de balas o fardos que se mantienen juntos mediante alambres o flejes metálicos. Las balas o fardos se abren cortando los alambres o los flejes, que se recogen y se venden como residuos de metal. En algunas fábricas, el papel recuperado también se suministra como material suelto en grandes contenedores o mediante descarga a granel. El papel recuperado se almacena en los almacenes de papel recuperado, integrados en la fábrica de papel.

Desintegración del papel recuperado seco

El papel recuperado se pone en un desintegrador (pulper) junto con agua caliente o agua blanca, y se procede a su desagregación con agitación mecánica e hidráulica, dando como resultado su desintegración en fibras. Después de la desintegración, el papel recuperado tiene una

³ CEPI publicó en febrero de 1999 la "Lista Europea de Calidades Estándar de Papel y Cartón Recuperado". Esta lista da una descripción general de las calidades estándar, definiendo qué contienen y qué no contienen.

consistencia como pasta de papel para el tratamiento subsiguiente. A menudo se agregan algunos aditivos para la preparación de pasta, tales como agentes de destintado y NaOH. Generalmente, la separación de tintas comienza ya en la fase de desintegración. Hay disponibles diversas soluciones técnicas para los distintos tipos de materias primas y productos. Hay tres tipos de pulpers: de baja consistencia (LC: 4-6% MS), alta consistencia (HC: aprox. 15 -20% MS) y pulpers de tambor. Los hay discontinuos y continuos. Los contaminantes y los rechazos pesados son retirados continuamente durante el funcionamiento por un dispositivo de pesados (ej: placa de tamizado) y enviados a un transportador de rechazos, para evitar que los contaminantes se rompan en trozos pequeños o que se acumulen en el pulper. Hay un uso creciente de pulpers secundarios para un ulterior desfibrado, desagregado y limpieza de los rechazos pesados (HW) y ligeros (LW). Las instalaciones tienen diversas marcas, aunque todas ellas se basan en un funcionamiento similar. También se utilizan tambores de tamizado.

Normalmente, la totalidad del agua para la desintegración es agua de proceso recirculada que viene como agua blanca de la máquina de papel.

Separación mecánica de impurezas

La separación mecánica de impurezas se basa en las diferencias en las características físicas de las fibras y los contaminantes, como tamaño y densidad en comparación con las fibras y el agua. Básicamente hay equipos de tamizado con diversas dimensiones de abertura de tamiz (agujeros y ranuras) y varios tipos de hidrociclones (depuradores de alta consistencia, depuradores centrífugos etc.).

La pasta en disolución parcialmente limpia se bombea desde el pulper a los hidrociclones (depuradores de alta densidad), en los cuales las fuerzas centrífugas eliminan las partículas pesadas más pequeñas. Los rechazos de estos depuradores, así como del sistema de desecho del pulper, tienen que ser desechados generalmente en vertedero (alto contenido de materia inorgánica).

La siguiente etapa de proceso es un tamizado para separar las partículas contrarias, es decir las que son más grandes que las aberturas de las cestas perforadas de los tamices presurizados. La selección del tipo de tamiz depende del producto final y la calidad de la composición de fibra utilizada. La depuración de agujeros o en alta consistencia (consistencia 3-4%) para la eliminación de contaminantes gruesos durante la preparación de la pasta puede distinguirse de la depuración fina o de ranuras en el flujo de aproximación (consistencia del 1%) a la máquina de papel. Los dispositivos aplicados son similares en su funcionamiento pero tienen distintas aperturas de separación. Generalmente, el tamizado a una consistencia más baja es más eficiente, pero requiere instalaciones de maquinaria más amplias y consume más energía. El rechazo debe ser desechado o ser tratado.

Según la calidad de la composición a conseguir, la planta de preparación de pasta para proceso de papel recuperado debe estar equipada con máquinas adicionales tales como fraccionadores, dispersores o refinos. Un fraccionador separa la pasta en dos fracciones que permiten tratar las fibras cortas y largas de la mezcla de pasta en modos distintos. También puede aplicarse el proceso de dispersión, de alto consumo de energía, para conseguir una mejor unión entre fibras (mejores características de resistencia) en el papel producido y reducir el tamaño de las motas sucias visibles. Una planta de preparación de pasta para el proceso de papel recuperado puede equiparse opcionalmente de refinos para mejorar las características ópticas y de resistencia del papel. El refino está asociado con una demanda energética substancial.

En la figura siguiente se muestra una posible combinación del proceso de FRC con limpieza mecánica para la producción de materiales para cajas (en este caso, testliner). Hay que señalar que en la práctica cada planta está equipada individualmente con máquinas de uno o varios proveedores, según las calidades de papel recuperado usadas, las demandas de calidad del producto final, la versatilidad de la máquina de papel y las condiciones locales en relación con los aspectos medioambientales.

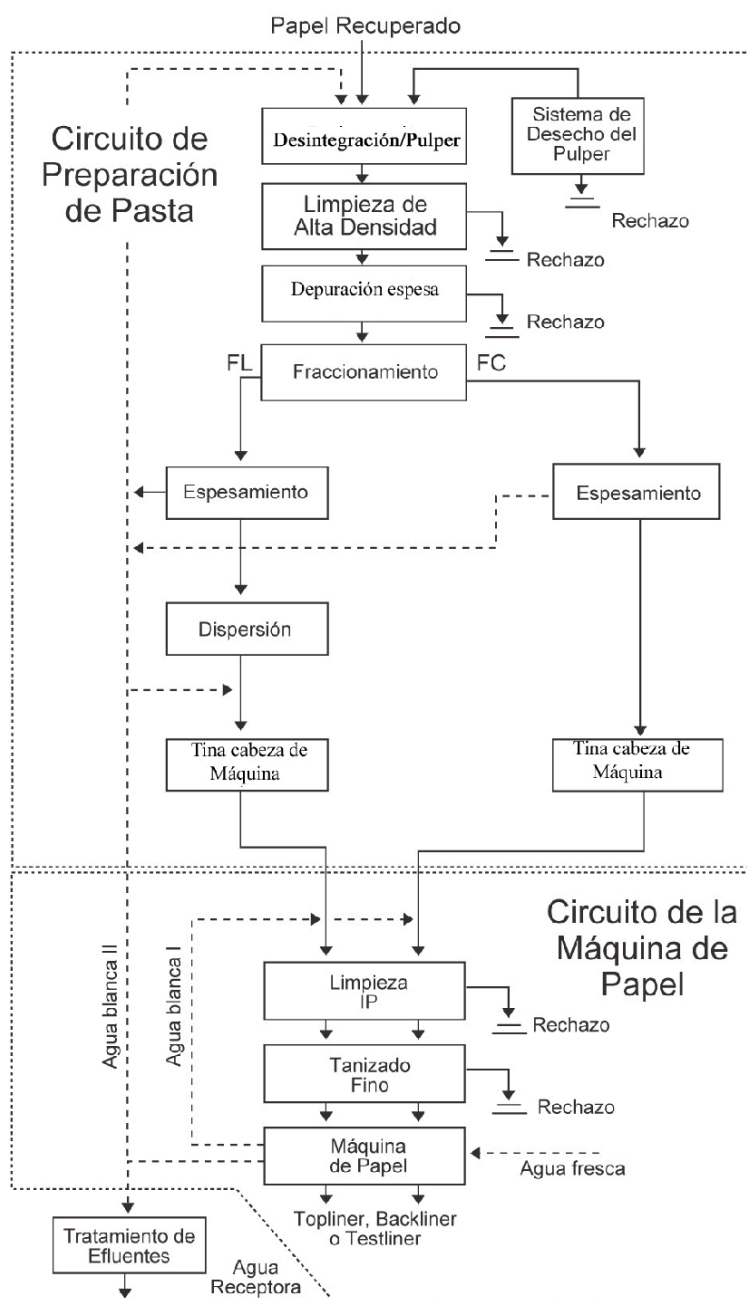


Figura 5.1: Diagrama de flujo de un concepto de planta de preparación de pasta para procesar papel recuperado para material para fabricar cajas (testliner de doble capa) [IFP, 1998]; IP = impurezas pesadas; FL = Fracción de fibras largas; FC = Fracción de fibras cortas

La preparación del papel recuperado para la fabricación de testliner y de papel ondulado es aplicada por unas 150 fábricas de papel en Europa. Es el primer mercado en cuanto a tonelaje para papel-cartón en Europa (los materiales de embalaje⁴ representan un 26% de la producción total de papel y cartón y utilizan un 86% de la pasta reciclada como promedio en Europa).

Procesos con destintado por flotación (opcional)

La eliminación de la tinta es necesaria en plantas que fabrican calidades de papel donde es importante la blancura, ej: para papel prensa, papel de impresión y escritura, papel tisú o topliner ligero a base de cartón recuperado. Los objetivos principales del destintado son el aumento de la blancura y la limpieza y reducción de “stickies”. Hay que señalar que la

⁴ Materiales de embalaje: Papeles y cartones utilizados principalmente en la fabricación de cartón ondulado. Se fabrican a partir de cualquier combinación de fibras vírgenes y recuperadas, pero la materia prima utilizada por esta industria se basa principalmente en papel y cartón recuperado. Esto incluye kraftliner, testliner, fluting semiquímico y papel ondulado.

diferencia entre calidades destintadas y no destintadas está en el proceso y no en el producto en sí mismo. Según la calidad del papel recuperado usado, los requisitos del mercado o las necesidades de producción, también los papeles y cartones para embalaje podían ser destintados.

Una planta de destintado completa incluye también las operaciones básicas anteriormente indicadas, como desintegración, tamizado y limpieza para la eliminación de los contaminantes gruesos (elementos que no son de papel como piedras, arena, metal, cuerda, vidrio, textiles, madera, hojas de plástico, clips de papel etc.). Además de la limpieza mecánica del suministro de fibras, se realiza un tratamiento químico previo de la pasta y una eliminación de las tintas de impresión en células de flotación. Un requisito previo para un destintado acertado es que las partículas de tinta se liberan de las fibras y se mantienen en dispersión. Con este fin se agregan agentes químicos de destintado, como NaOH, silicato sódico, peróxido de hidrógeno, jabones o ácidos grasos y agentes quelantes, sobre todo en la secuencia de preparación de pasta (generalmente no hay necesidad de utilizar agentes quelantes en blanqueo de papel recuperado). Las partículas de tinta dispersadas se separan luego de la mezcla de fibras mediante técnicas de flotación (multietapa). Los principios de funcionamiento del destintado por flotación son los siguientes: Se introduce aire en la pasta entrante en burbujas finas; las partículas de tinta son recogidas por las burbujas de aire y llevadas a la superficie gracias a las características químicas superficiales; la espuma cargada de tinta se retira de la superficie. Según tamaño y la construcción de las células, puede haber varias células en serie para alcanzar un tiempo de estancia apropiado para la eliminación de la tinta. Para reducir la pérdida de fibra con el lodo de destintado, la espuma de las células primarias se trata a menudo con células secundarias en cascada. La espuma de destintado y los rechazos se deshidratan por separado en una centrífuga o filtro prensa hasta un 50% de materia seca. El lodo de destintado es incinerado o desechado en vertedero.

Después del destintado, la pasta se espesa y a veces se lava usando filtro de bandas, espesadores (de disco), prensas de tornillo, y lavapastas. Después de estos pasos de limpieza, la pasta puede contener todavía pequeñas impurezas residuales, como restos de partículas de tinta de impresión, cera o “stickies”, que se derivan de colas de fusión en caliente, etc. Estas impurezas pueden dispersarse tan finamente con una dispersión que las partículas son invisibles a simple vista. Antes de la dispersión el contenido de materia seca de la pasta debe aumentarse desde un 5-12% a un 25-30%, ya que la dispersión requiere fuertes fuerzas de fricción y temperaturas elevadas de unos 95°C o más. Los dispersadores en sí son dispositivos similares a los refinados, como se describe en la sección 4.1.2. Después de la dispersión la pasta se diluye de nuevo.

El orden de la operación puede variar de una fábrica a otra, y algunos de los pasos pueden realizarse de forma reiterada.

En la Figura 5.3 se muestra un concepto de planta de destintado por flotación para la preparación de FRC para papel prensa.

Procesos con destintado por lavado y eliminación de cenizas (opcional)

El destintado por flotación es eficiente para tamaños de partícula de 5-100 µm. Las partículas de tinta que son más pequeñas que el rango óptimo para destintado por flotación pueden eliminarse mediante destintado por lavado, que es básicamente una deshidratación multietapa. Además de las tintas, también las cargas finas se eliminan mediante el lavado. El lavado se realiza a menudo en varias etapas con flujo de agua a contracorriente, es decir, el filtrado de la etapa secundaria se utiliza para la dilución de la pasta en la etapa preliminar.

Los papeles estucados son especialmente sensibles a las impurezas en el papel base sin estucar y requieren pastas de FRC muy limpias. Por lo tanto, una planta de destintado moderna para la preparación de papel recuperado para la producción de papel LWC incluye con frecuencia destintado por flotación y por lavado, ya que ambos se complementan.

Si hay que eliminar las cenizas, como por ejemplo para fabricar papel tisú o para DIP comercial, el sistema debe incluir siempre una etapa de lavado según se muestra en la Figura 5.4.

Blanqueo (opcional)

Antes de pasar a una torre de almacenamiento, la pasta se suele blanquear por medio de productos químicos de blanqueo. Generalmente se utilizan peróxido de hidrógeno (P), hidrosulfito (Y) o ácido formamidín sulfínico (FAS). Los productos químicos de blanqueo se agregan directamente en el dispersor para mantener o para aumentar la blancura. La reacción en sí se produce en una columna de blanqueo, asegurando un tiempo de estancia suficiente. Cualquier posible aumento en la blancura depende de la materia prima y del tratamiento previo de la pasta. El blanqueo con peróxido de hidrógeno se realiza en presencia de NaOH, silicato sódico y en ocasiones agentes quelantes. Para pasta de fibra secundaria casi sin pasta mecánica pueden usarse agentes de blanqueo denominados no convencionales, como oxígeno y ozono.

Por último, la pasta se bombea a tinajas de almacenaje o de mezcla. Estos depósitos sirven como depósito intermedio entre la preparación de la pasta y la máquina de papel en sí, para facilitar la continuidad de proceso. En los depósitos de mezcla se agregan los aditivos requeridos y se ajusta la consistencia correcta de la fibra para una formación apropiada de la hoja en la máquina de papel.

Purificación del agua de proceso

El agua de las etapas de deshidratación puede clarificarse en una unidad de microflotación. El agua de proceso se reutiliza luego en el proceso. La unidad de microflotación da un lodo que se espesa y se desecha o incinera. En caso de destintado por lavado, el consumo total de agua se reduce reciclando también el agua de lavado. Los sólidos deben ser eliminados del filtrado por una unidad de flotación separada.

Limpieza y deshidratación final

Distintos tipos de tamices finos y depuradores quitan los contaminantes residuales antes de que la pasta altamente diluida se alimente a la máquina de papel.

La deshidratación / espesamiento puede realizarse mediante filtros de disco y prensas de tornillo para alcanzar la consistencia requerida de la pasta, así como para mantener los circuitos de aguas blancas separados.

Manipulación de rechazos y lodo

En el proceso de papel recuperado se recogen diversos tipos de rechazos y de lodo en cantidades variables, que deben ser manipulados. Éstos se tratan en el sistema de lodo y rechazos. Puede conseguirse una reducción en la cantidad de residuos a desechar si los tipos similares de rechazos de diferentes etapas de proceso de la preparación de pasta y de los circuitos de cabeza de máquina se recogen y se tratan juntos. La recuperación de fibras también contribuye a minimizar la cantidad de residuos.

5.1.1 Ejemplos de sistemas de proceso de papel recuperado

Las distintas características de los productos requieren diferentes grados de limpieza y blancura de las pastas de FRC, y los conceptos de proceso varían consiguientemente. Por ejemplo, el destintado no es necesario en muchas calidades de cartón. Por el contrario, se requiere un proceso multietapa muy eficiente para las máquinas de papel de alta velocidad, papel fino o para calidades en las que sea importante la blancura. El grado de sofisticación de todo el proceso depende de la composición usada y de la calidad del papel a fabricar. Por lo tanto no es razonable describir "un sistema típico" de proceso de papel recuperado.

A continuación se describen más detalladamente los principales sistemas de proceso de papel recuperado que pueden distinguirse, a saber:

- Preparación de pasta de FRC para papeles y cartones de embalaje (testliner y papel ondulado).

- Preparación de pasta de FRC para papel prensa y papeles de impresión y escritura .
- Preparación de pasta de FRC para papeles LWC/SC y papel de impresión y escritura de alta calidad.
- Preparación de pasta de FRC para papel tisú y pasta destintada comercial (DIP).

Los sistemas de proceso de papel recuperado pueden diferir entre sí al utilizar distintas composiciones, y tienen impactos diversos en el medio ambiente por lo que respecta a la demanda de energía y de agua fresca, a los efluentes y a los residuos.

5.1.1.1 Papel y cartón de embalaje

Para la producción de papel o cartón de embalaje a partir de papel recuperado, como testliner y papel ondulado, sólo se aplica limpieza mecánica, es decir, no es necesario ningún proceso de destintado. Para estas calidades de papel se utilizan calidades de papel de bolsas de supermercado y de papel recuperado. El diagrama siguiente muestra un sistema para la preparación de testliner con fibras secundarias. Para la preparación de pasta para testliner se utilizan sistemas complejos de doble etapa (Figura 5.2) y sistemas de una sola etapa de menor coste. El sistema de doble etapa permite un control más fácil del proceso, lo que mejora la eficiencia de la máquina de papel, y utiliza una etapa de depuración en los circuitos de cabeza de máquina meramente como medida de seguridad (función de control). Durante la preparación de pastas, los rechazos gruesos se separan, y el tamaño de los grumos (flóculos) está precalibrado. El posterior sistema multietapa de limpieza y tamizado quita las partículas pesadas (ej: arena), los elementos planos que interfieren, los “stickies” y la arena fina, y elimina los grumos de la pasta consiguiendo una buena homogeneidad óptica. Para sistemas de testliner y fluting, algunas fábricas trabajan con circuitos de agua totalmente cerrados. Los circuitos cerrados de agua funcionan satisfactoriamente desde el punto de vista de condiciones de gestión de la planta y de una buena calidad de producto si se tratan de 3 a 4 m³ de agua de proceso por tonelada de pasta acabada en una planta de clarificación biológica integrada (ver Sección 5.3.4).

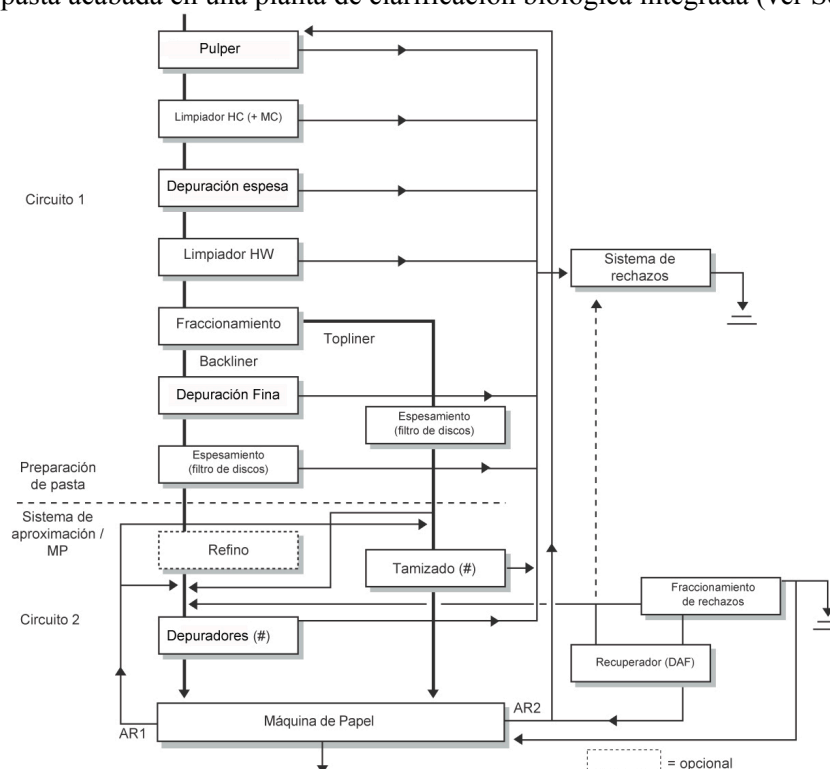


Figura 5.2: Ejemplo de un concepto de planta global para testliner (sistema de doble circuito) HC + LC = Depuradores de alta y baja consistencia; HW = Materias pesadas; DAF = Flotación por Aire Disuelto; # = Tamices de ranuras. El proceso de papel recuperado tiende a ser similar para las distintas calidades de papel de embalaje. La fabricación de cartón de alta calidad para cajas plegables suele requerir mucho más equipo que la de testliner, que a su vez requiere más equipo que la fabricación de papel ondulado o fluting.

5.1.1.2. Papel de prensa y papel simple para impresión y escritura.

El sistema que se muestra en la Figura 5.1. representa un ejemplo de una posible configuración para la producción de pasta para el papel de prensa. La materia prima usada es una típica pasta destintada que consiste en una mezcla 50:50 de periódicos y revistas. El sistema se caracteriza por una flotación y blanqueo en dos etapas, en combinación con una dispersión intermedia. Para las calidades mejores de papel prensa con demandas más altas de blancura, puede aplicarse una etapa reductora con hidrosulfito tras el espesamiento. Para la producción de papeles gráficos a partir de papel recuperado, el diseño de los circuitos de agua y de la clarificación del agua es especialmente importante.

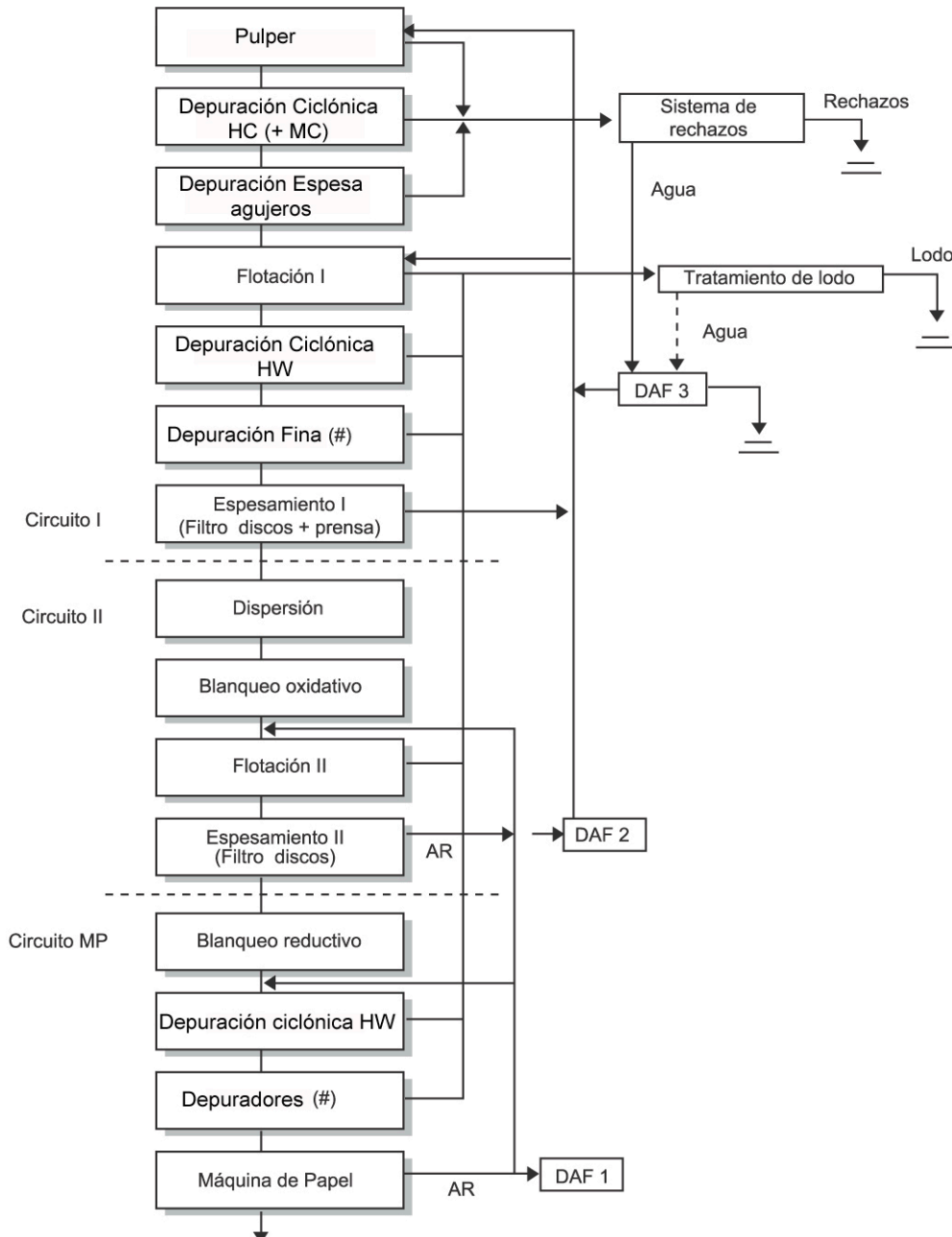


Figura 5.3: Ejemplo de un concepto de planta global para papel prensa (mejorado). Existen otros posibles conceptos y configuraciones para líneas de papel prensa; LC = Baja consistencia; MC = Consistencia media; HC = Alta consistencia; HW = Materias pesadas; DAF = Flotación por Aire Disuelto; Blanqueo oxidativo (peróxido); para dar blancura a la pasta de fibras y reducir el efecto de moteado de las fibras; Blanqueo reductivo (Hidrosulfito, FAS); para eliminación de color

Es esencial una separación sistemática de los circuitos de agua individuales basada en el principio de contracorriente. Las líneas de destintado pueden tener distintas configuraciones y puede haber dos, tres o en algunos casos cuatro circuitos de agua. Arriba se muestra un sistema de dos circuitos en el sistema de preparación de pasta, con un circuito separado para la máquina de papel. La clarificación interna de los circuitos de agua, que están separados por etapas de espesado, se realiza mediante flotación por aire disuelto (DAF) para controlar las cargas de sustancias coloidales y aniónicas en el agua de proceso y mantener los finos y las cenizas a un nivel controlable en los circuitos de proceso del agua. El lodo de la cadena de producción y de las unidades de flotación se alimenta al tratamiento de lodo. Los rechazos gruesos separados en la cadena de producción se espesan en el sistema de rechazos. El papel prensa mejorado se fabrica generalmente en sistemas de dos circuitos que alcanzan una blancura ISO de alrededor del 63% (gracias al blanqueo reductor), bajos índices de suciedad (gracias a la flotación II), un contenido de ceniza del orden de 10 - 12% (gracias a la flotación II) y una cantidad baja de “stickies” (gracias al tamizado adicional de ranuras). En comparación, el papel prensa estándar puede producirse en sistemas de un circuito, es decir, sin una etapa de flotación secundaria. Por consiguiente, la blancura es más baja (aprox. 59 % ISO ya que no hay blanqueo reductor), una mayor cantidad de motas (al no haber flotación secundaria) y el contenido de ceniza es más alto también (del orden del 14 - 15%, al no haber flotación secundaria).

Las fibras recuperadas también se utilizan para la fabricación de calidades más bajas de papel de impresión y escritura. Estas calidades recicladas contienen normalmente pasta mecánica y están destinadas para uso en oficina como papel o productos de papelería. Como sistema de proceso puede utilizarse un sistema a base de flotación similar al del papel prensa mejorado, según se muestra en la Figura 5.3. Como materia prima se utiliza una proporción bastante constante (50:50) de papel prensa y de revistas.

5.1.1.3 Papel LWC/SC

Al procesar el papel recuperado doméstico para producir pasta DIP para papeles gráficos de alta calidad con contenido de pasta mecánica, como las calidades SC y LWC, deben satisfacerse requisitos muy elevados de calidad. Esto incluye la necesidad de un nivel muy bajo de componentes perturbadores, una alta calidad superficial (es decir libre de grumos y de paquetes de fibras para asegurar una superficie lisa) y unos requisitos ópticos exigentes (ej: blancura, limpieza) del producto acabado.

La composición consiste normalmente en papel recuperado de periódicos y revistas. Los papeles SC son papeles de impresión a gran escala producidos en máquinas de alta velocidad. Uno de los criterios principales para el proceso de papel recuperado doméstico (material destintado) en los papeles de impresión a gran escala es la calidad constante. Por lo tanto, las etapas de depuración, limpieza y dispersión son muy importantes. Debido a los altos requisitos ópticos relativos a la blancura y a limpieza, es necesario un sistema de flotación y blanqueo en dos etapas.

Un concepto global de planta podía ser similar a el que se presenta para papel prensa mejorado en la Figura 5.3. En este concepto de preparación de pasta, el problema de componentes perturbadores (contaminantes coloidales, basura aniónica) que pueden perturbar el sensible mecanismo de retención en la máquina de papel se soluciona con un diseño apropiado de los circuitos de agua / clarificación del agua en la preparación de la pasta. El sistema consta de circuitos de agua claramente diferenciados, el primero de los cuales es normalmente alcalino y se extiende desde el pulper a la etapa de espesamiento antes de la dispersión. El segundo circuito termina en la etapa de espesamiento antes del blanqueo secundario. Las etapas de espesamiento, con la separación estricta de los circuitos de agua, aseguran la reducción de contaminantes en el agua de proceso. El concepto de circuitos separados se basa en el principio de que los contaminantes perturbadores no puedan viajar a través de todo el sistema de agua de proceso. Los filtrados del espesamiento, que contienen basura aniónica y contaminantes

coloidales, son clarificados por un sistema de microflotación basado en el principio de floculación y precipitación.

Las características superficiales requeridas pueden alcanzarse mediante una etapa adicional de refino para la reducción de las fibras grandes y largas de TMP que contiene el papel doméstico recuperado. El refino mejora la suavidad y la imprimibilidad del papel. El refino puede colocarse después de la etapa de blanqueo reductor en un concepto similar al que se muestra en la Figura 5.3.

Si se permite que el contenido de ceniza de la pasta acabada supere el 8 - 10 %, no hay necesidad de lavado. El uso de un lavapastas produce pérdidas relativamente altas. Por lo tanto, por motivos económicos, es mejor si puede evitarse el uso de un lavapastas.

5.1.1.4 Papel tisú y pasta de mercado

Cuando se usa papel recuperado para la producción de papel tisú de alta calidad o pasta DIP comercial, debe procesarse de manera que se eliminen no sólo los contaminantes gruesos, sino también las tintas de impresión, adhesivos, finos y cargas. Esta reducción considerable de cenizas y finos significa que se requiere un 30% - 100% más de papel recuperado en comparación con la pasta acabada, lo que significa que hay que manipular y tratar una cantidad relativamente alta de residuos. Hay ejemplos (ej: fábrica de Niederbipp, Suiza) donde todos los rechazos, incluido el lodo, se incineran in situ, generando vapor para todos los puntos de consumo de la fábrica, produciendo una reducción de los residuos a ceniza, que se utiliza como aditivo en el sector de la construcción (cemento). La principal diferencia de estas calidades en comparación con el papel prensa mencionado anteriormente (5.1.1.2) es el requisito de eliminación de cenizas (eliminación de finos y cargas) debido a los requisitos de procesabilidad y suavidad y absorbencia del producto final. Como ejemplo, según las calidades del papel recuperado utilizado como materia prima, el contenido de ceniza puede variar entre el 15% y el 38% (en el caso de papeles estucados sin pasta mecánica). A la hora de comparar las cifras de cantidades de residuos sólidos, hay que tener en cuenta el impacto directo del contenido de ceniza sobre la cantidad de residuos sólidos generados durante el proceso de papel recuperado.

Para la mayoría de los productos, como por ejemplo rollos de cocina o papel higiénico, podría utilizarse la misma materia prima que para el papel prensa, es decir, una mezcla de papel prensa y revistas o, en términos más generales, calidades medias y altas de papel recuperado. Sin embargo, si está disponible a un precio razonable, puede usarse predominantemente una composición sin pasta mecánica (papel oficina recuperado).

La Figura 5.4 muestra un esquema simplificado de la planta de preparación de papel recuperado. Las características principales del sistema son las siguientes: un pulper de alta consistencia con un sistema de descarga donde los contaminantes gruesos son retenidos por una placa perforada de tamizado y retirados inmediatamente. Los rechazos son tratados posteriormente en un tamiz de tambor perforado, y finalmente se espesan en una prensa de tornillo para rechazos. El material aceptado se trata en limpiadores de alta consistencia seguidos por un limpiador de baja consistencia como segunda etapa, que elimina principalmente la basura metálica como clips de papel, grapas, etc. La pasta se procesa ulteriormente en un sistema multietapa de tamizado y limpieza. Como en todas las plantas de preparación de pasta para proceso de papel recuperado, el principio básico en la preparación de pastas, las depuraciones ciclónicas y el tamizado es asegurar la pronta descarga de rechazos y contaminantes.

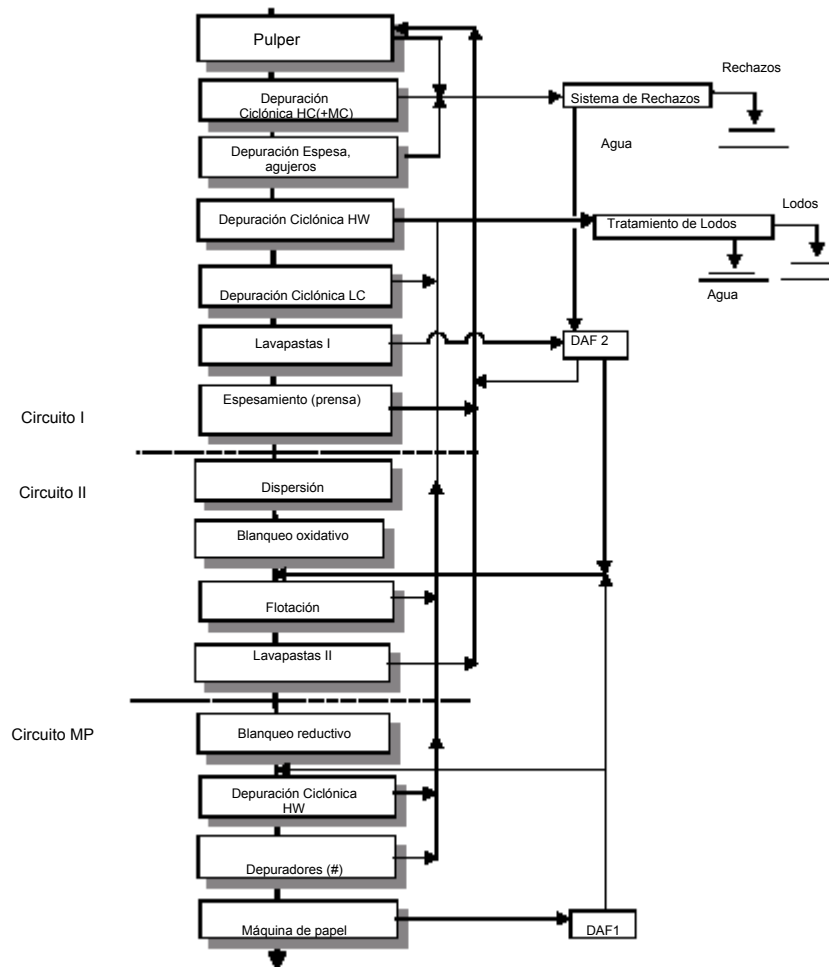


Figura 5.4: Ejemplo de un concepto global para una planta de preparación de papel recuperado para papel tisú. HC = Alta consistencia; MC = Consistencia media; LC = Baja consistencia; HW = Material pesado; DAF 1 + 2 = Flotación por Aire Disuelto 1 + 2

El lavado se realiza a una baja consistencia de pasta y comporta un uso y recirculación eficientes del agua de lavado. El agua circulante debe limpiarse, y la tinta del agua de lavado y otros sólidos deben ser eliminados mediante flotación por aire disuelto u otra tecnología eficiente de limpieza del agua. El lavado 1 sirve para eliminar la ceniza, los finos y las partículas finas de tinta, y es seguido por un filtro prensa para espesar la pasta a un 30 %. El filtrado del lavado se limpia en la unidad de flotación con la adición de floculantes catiónicos. Se eliminan la ceniza y los finos, y el agua se devuelve al sistema. La pasta se calienta mediante un husillo de calentamiento y se trata en un dispersor que separa la tinta que todavía pueda quedar adherida a las fibras, mezclando al mismo tiempo los aditivos de blanqueo. La etapa de la flotación elimina las partículas de tinta separadas por dispersión, así como motas de suciedad y “stickies”. El blanqueo secundario puede seguir al lavado 2, y la pasta se envía entonces a la torre de almacenaje o a un tamizado y limpieza finales en el flujo de aproximación a la máquina de papel. La manipulación de los rechazos y del lodo es un punto crucial para las fábricas de papel tisú de FRC debido a la cantidad relativamente alta de lodo de diversas fuentes (preparación del papel recuperado, DAF, máquina de papel tisú, planta de tratamiento biológico de aguas residuales) con un contenido de carbono orgánico de alrededor de 50.

En el Capítulo 6 puede encontrarse información adicional sobre fabricación de papel tisú a partir de fibras vírgenes.

5.2 Niveles actuales de consumos / emisiones para fábricas de papel a base de fibras recuperadas

5.2.1 Resumen de entradas / salidas

En La Figura 5.5 se presenta un resumen de las entradas de materias primas y energía, así como de las salidas de productos, residuos para reciclaje y emisiones principales (emisiones, residuos, etc.) de las fábricas de papel a base de FRC.

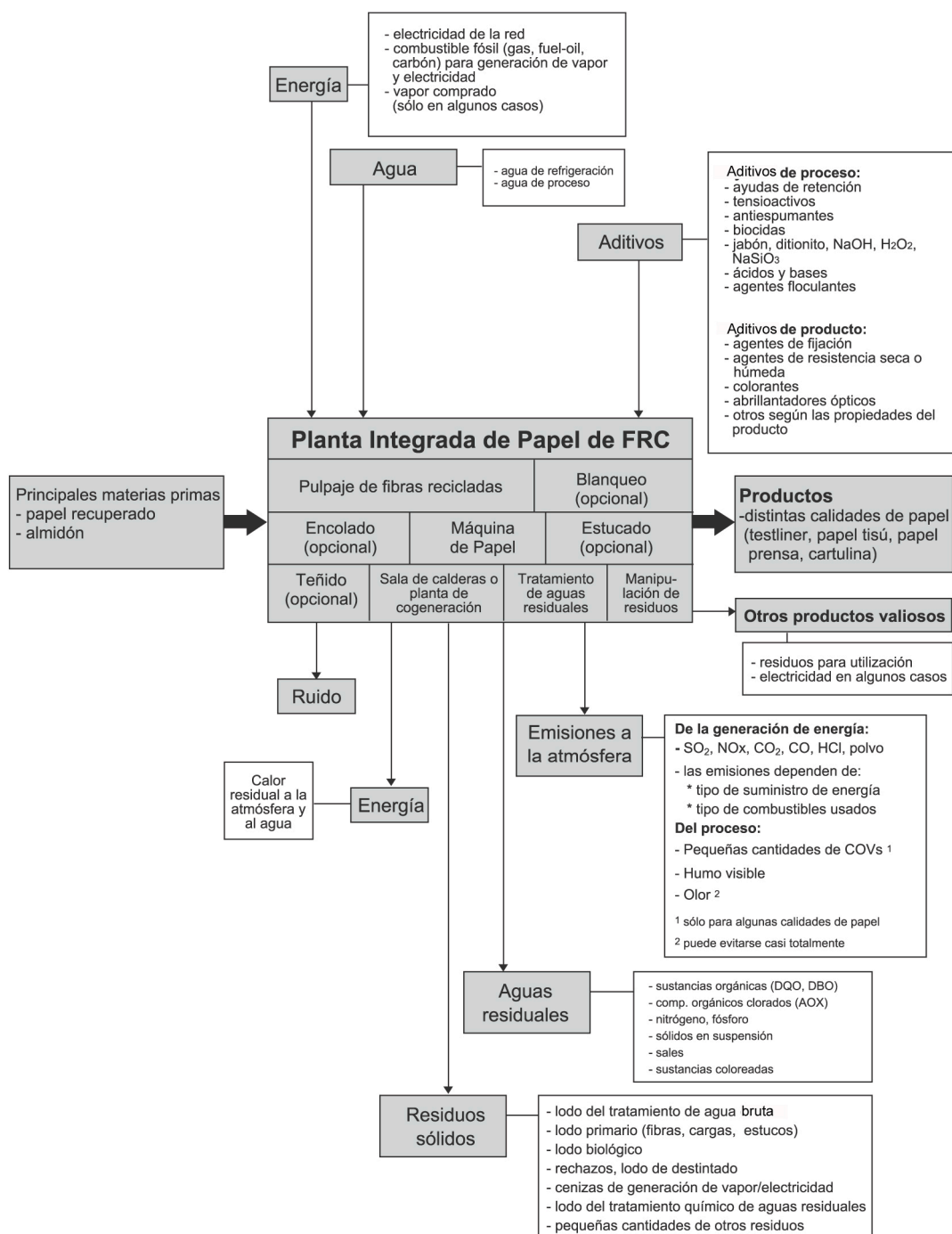


Figura 5.5: Esquema de los flujos de materia de una fábrica integrada de proceso de papel recuperado. La presencia de algunas sustancias depende principalmente de la calidad y las propiedades del papel a conseguir, así como del tipo de suministro de energía.

Según se muestra en la figura, las materias primas para la producción del papel a base de FRC consisten principalmente en papel recuperado y agua, así como algunos aditivos químicos. Se utilizan grandes cantidades de agua como agua de proceso y refrigeración. Durante la fabricación de papel se aplican diversos productos como aditivos de proceso y para mejorar las características del producto (productos auxiliares). El impacto medioambiental del proceso de papel recuperado incluye básicamente las emisiones al agua, la generación de residuos sólidos y las emisiones atmosféricas, relacionadas principalmente con la generación de energía mediante la combustión de combustibles fósiles en centrales eléctricas. Cuando se aplican técnicas de eliminación para reducir emisiones, pueden producirse efectos sobre otros medios.

En este capítulo se indican los niveles cuantitativos de los consumos y emisiones para los diversos tipos principales de fábricas de proceso de FRC. En primer lugar se presentan las cifras para los niveles totales de entrada y salida para fábricas integradas de preparación de pasta y fabricación de papel (consideradas como una caja negra), seguidas de los datos de consumos y emisiones para los principales procesos con posible impacto medioambiental (Sección 5.2.2).

La fabricación de papel en plantas a base de FRC puede subdividirse en tres partes: preparación de pasta, circuitos de cabeza de máquina / máquina de papel, y mejora del papel fabricado. La preparación de la pasta y la máquina de papel están estrechamente conectadas entre sí a través del sistema de agua de proceso (ver 5.2.2.2). La Tabla 5.1. da una descripción de las principales materias primas usadas y las emisiones durante la preparación de la pasta de papel recuperado para las principales calidades de papel que se producen en Europa. Las cifras recopiladas en la tabla abarcan exclusivamente la preparación de la pasta, es decir, no incluyen la máquina de papel subsiguiente. Ha tenido que hacerse una excepción para los caudales de agua, ya que los flujos de agua entre la preparación de la pasta y la máquina de papel están vinculados normalmente.

Los niveles globales de los consumos y emisiones para fábricas de papel completas de los principales tipos de papel a partir de fibras recuperadas se muestra en la Tabla 5.2 (testliner y papel ondulado), la Tabla 5.3 (papel prensa) y la Tabla 5.4. (papel tisú) siguientes.

Hay que tener en cuenta que los valores reales computados como valor medio de mediciones efectuadas a lo largo de un periodo anual son distintos a los que pueden encontrarse en permisos. Según los sistemas de permisos de los países, los segundos hacen referencia generalmente a periodos más cortos de 2 horas, de un día o de un mes para asegurar una verificación practicable del cumplimiento. Este periodo de tiempo específico durante el cual deben cumplirse los valores monitorizados se fija en el permiso y varía dentro de los países europeos (ver ANEXO II sobre los reglamentos nacionales e internacionales existentes). Sin embargo, los datos reales medidos e indicados en la Tabla 5.2 a la Tabla 5.4. pueden dar una buena primera impresión del impacto medioambiental relacionado con una instalación dada.

En la Tabla 5.2 se presentan los datos medios ponderados para testliner y papel ondulado. Los datos se derivan de la Base de Datos Europea para cartón corrugado que se recopiló para estudios de ciclo vital (edición 1997), publicado por el FEFCO, Groupement Ondulé and Kraft Institute. Los rangos de los parámetros presentados se basan en fábricas de papel correspondientes en Dinamarca, Francia, Alemania, Italia, Holanda, España y Reino Unido. Los datos para la producción de testliner y papel ondulado fueron recogidos de fábricas, que producen un 52 % (5,2 M toneladas) de la producción anual total de papel ondulado a partir de papel recuperado en Europa. Los datos se dan por tonelada neta de papel vendible (npv). Hay que destacar que las cifras medias ponderadas documentadas no representan cifras de una fábrica específica con una tecnología determinada.

Consumo de materias primas y emisiones al agua, residuos	Papel de embalaje	Papel prensa	Papel LWC/SC	Papel tisú y Pasta comercial
Calidad del papel recuperado (depende de la disponibilidad y precio del papel recuperado y de la calidad del producto final)	Papeles y cartones diversos clasificados, recuperados de almacenes de papel	Papel recuperado destintable (50:50 periódicos y revistas)	Papel recuperado destintable (50:50 periódicos y revistas)	Papel recuperado destintable (50:50 periódicos y revistas); papel de oficina recuperado sin pasta mecánica
Consumo eléctrico ¹⁾ - Electricidad - Energía térmica (e.g. vapor)	150-250 kWh/t 0 MJ/t	300-420 kWh/t 450-900 MJ/t (=0,2-0,4 t _{vapor} /t)	400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0,3-0,5 t _{vapor} /t)	400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0,3-0,5 t _{vapor} /t)
Agentes químicos ²⁾ - Repulpeado - Flotación I - Flotación II - Blanqueo - Floculantes usados para clarificación interna del agua de proceso y tratamiento de lodo ⁴⁾	Biocida ----- ----- ----- 0 kg/t (clarificación interna en el circuito de la máquina de papel (WW II))	0,5-1,0% H ₂ O ₂ 0,5-1,0% NaOH 1-2% Na ₂ SiO ₃ 0,3-0,6% jabón 0,2-0,4% jabón (NaOH+ácidos grasos) 1-2% H ₂ O ₂ 0,5-1,2% NaOH 1 - 1,8% Na ₂ SiO ₃ 0,4 - 1% Ditionito hasta 0,2% NaOH Agentes auxiliares floculación: 0,5-1 kg/t	0,5-1,0% H ₂ O ₂ 0,5-1,2% NaOH 1-2% Na ₂ SiO ₃ 0,3-0,6% jabón 0,2-0,4% jabón (NaOH+ácidos grasos) 1-2,5 % H ₂ O ₂ 0,5-1,5 % NaOH 1-2 % Na ₂ SiO ₃ 0,4 - 1% Ditionito hasta 0,2 % NaOH Agentes auxiliares floculación: 1,6-2,6 kg/t Floculantes: 1,5-2,5kg/t	0,0-1,0% H ₂ O ₂ 0,3-0,6% jabón ----- 1-2 % H ₂ O ₂ 0,5-1,2 % NaOH 1-1,8 % Na ₂ SiO ₃ 0,4 - 1% Ditionito hasta 0,2 % NaOH Agentes auxiliares floculación: 1,8-2,8 kg/t
Agua - Caudal de agua ⁵⁾ - Emisiones antes del tratamiento biológico de aguas residuales	0 - 4 m ³ /t _{papel} SST ³⁾ : normalmente menos de 200 mg/l DQO: 27-36 kg/t (6750-9000 mg/l) AOX: < 4 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m ³ /t _{papel} SST ³⁾ : normalmente menos de 200 mg/l DQO: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m ³ /t _{papel} SST ³⁾ : normalmente menos de 200 mg/l DQO: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m ³ /t _{papel} SST ³⁾ : normalmente menos de 200 mg/l DQO: 26-35 kg/t (2600-3500 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)
Residuos - residuos sólidos (a seco) ⁶⁾ - contenido orgánico	50-100 kg/t _{papel} 70-80%	20% pérdidas 170-190 kg/t _{papel} 35-45%	35% pérdidas 450-550 kg/t _{papel} 45-55%	500-600 kg/t _{papel} 40-50%
<p>Notas explicativas:</p> <p>¹⁾ Un factor esencial para las variaciones en el consumo de energía es el uso de un dispersor que consuma 60 - 100 kWh/t. Además, deben tenerse en cuenta las pérdidas: Los procesos con pérdidas más elevadas requieren máquinas con mayores capacidades y una mayor energía específica. El número de etapas de proceso en la preparación de la pasta / máquinas también tiene influencia.</p> <p>²⁾ Todo el consumo de agentes químicos se expresa en forma de productos químicos 100% eficaces, y no en forma de soluciones comerciales que contengan diversas cantidades de agua, excepto para el Na₂SiO₃, que se expresa como solución comercial. Los rangos pueden expresarse mediante diferencias en la calidad del papel recuperado utilizado, las tintas a eliminar y la calidad del producto que debe conseguirse.</p> <p>³⁾ Normalmente hay una unidad de microflotación instalada antes de descargar los efluentes al tratamiento de aguas residuales. Esto produce un alivio del tratamiento primario o hace posible operar sin tratamiento primario. Sin unidad de microflotación, el contenido de SST depende de las instalaciones para deshidratación del lodo y los rechazos.</p> <p>⁴⁾ El uso de floculantes depende principalmente del número de unidades de microflotación para la clarificación del agua de proceso, así como de la cantidad de lodo a deshidratar. Los caudales de agua de los lavapastas son elevados, por lo que se requieren cantidades relativamente grandes de floculantes para su tratamiento.</p> <p>⁵⁾ Los datos de caudal de agua hacen referencia al agua utilizada en toda la fábrica, es decir, preparación de pasta + máquina de papel. El caudal de agua significa el agua que sale del tratamiento biológico, y excluye el agua de sellado.</p> <p>⁶⁾ Incluido el lodo del tratamiento del agua de proceso (unidades de microflotación)</p>				

Tabla 5.1: Niveles de consumos y emisiones para la preparación de pasta para la producción de distintas calidades de papel. Los datos hacen referencia sólo a la preparación de pasta, es decir, no cubren la máquina de papel [datos de experiencias operativas facilitadas por un proveedor]. La excepción es el caudal de agua, ya que en el caudal de agua es difícil separar la preparación de la pasta de la máquina de papel. Para más datos sobre la práctica actual de plantas completas, ver Tabla 5.2 – 5.4

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Papel recuperado (peso suministrado, incl. humedad)	1100	kg/t	Papel ondulado + testliner	1000	kg
Biocidas, peso seco	0 – 0,12	kg/t	Emisiones		
Colorantes, peso seco	0,2 – 1,0 *	kg/t	CO ₂ , fósil	320** - 600	kg/t
Antiespumantes, peso seco	0,10 – 0,40	kg/t	CO ₂ , regenerativo	0 - 15	kg/t
Agentes de retención, peso seco	0,3 – 2,4	kg/t	CO	n.d.	kg/t
Agentes de encolado, peso seco	0,1 – 3,0*	kg/t	NO _x	0,4 – 1,1	kg/t
Almidón, peso seco	20,0 – 50,0	kg/t	SO ₂	n.d.	kg/t
Energía			Polvo	n.d.	kg/t
Total combustibles fósiles	5700** - 9600	MJ/t			
Electricidad contratada	2.8 ¹⁾ - 403	kWh/t	DQO	0 – 2,2	kg/t
Energía primaria, total ****	2140 - 3220	kWh/t	DBO ₅	0 – 0,2	kg/t
			Sólidos suspensión	0 – 0,5	kg/t
			AOX	n.d.	kg/t
			N _{total}	n.d.	kg/t
			P _{total}	n.d.	kg/t
			Agua evaporada	1 – 2***	m ³ /t
			Caudal aguas resid.	0 - 11	m ³ /t
Demanda de agua			Residuos		
Agua cruda / fresca	1 - 13	m ³ /t	Residuo a vertedero	30 - 70 (100% MS)	kg/t

Notas explicativas: n.d. = no disponible; t.s. = totalmente seco

¹⁾ El valor inferior de electricidad contratada hace referencia a fábricas con grandes plantas termoeléctricas.

* El rango indicado es sólo válido para la producción de testliner

** Las cifras son sólo válidas en caso de generación de vapor (lo que significa que no hay cogeneración)

*** Diferencia aritmética entre la entrada y salida de agua

**** La contribución de la electricidad contratada al consumo específico de energía primaria se calcula suponiendo un rendimiento energético de las empresas productoras de electricidad del 36,75%, es decir, una electricidad contratada de 0,47 MWh/t corresponde a 1,28 MWh/t de energía primaria (1 kWh = 3,6 MJ). El extremo inferior del rango para electricidad contratada no parece realista. Por consiguiente, se supone un consumo medio de electricidad de 200 kWh/t (o 555 kWh/t de energía primaria).

Tabla 5.2: Datos medioambientales como valores medios anuales para testliner y papel ondulado
Las cifras se refieren a la situación en 1996 [FEFCO, 1997]. Todos los datos se indican por tonelada neta de producto vendible (npv). Las cifras representan datos medios ponderados ("mejor práctica ecológica media", ver p. 232). Las emisiones a la atmósfera hacen únicamente referencia a la generación de vapor

La media ponderada, en el marco del estudio del FEFCO, representa lo que se denomina "Mejor Práctica Ecológica Media (MPEM)". Esto significa que, cuando una cierta tecnología es utilizada por la mayoría de fábricas participantes, y se espera que esta tecnología sea utilizada en más fábricas en un futuro próximo, se calcula la media ponderada de los datos de las fábricas que utilizan esta tecnología en vez de la media ponderada de todas las fábricas. El comportamiento medioambiental de estas fábricas se denomina entonces MPEM.

Las calidades de papel recuperado utilizadas para la producción de testliner y de papel ondulado abarcan un 93 % y un 94 % respectivamente de las calidades correspondientes a la categoría A de la lista europea de calidades de papel recuperado, incluyendo las calidades de papel recuperado mixtas, residuos de supermercados y material de cajas de cartón ondulado nuevas y usadas.

En total se generan unos 50 kg de residuos en el proceso de fabricación de papel por tonelada npv. En relación a la entrada de papel recuperado de 1,1 toneladas / tonelada de papel vendible, 45 kg de residuos por tonelada de papel recuperado procesada (= 4,5 %) son tratados por las fábricas. En las cifras de residuos se incluyen las cenizas, los lodos orgánicos e inorgánicos y

todos los rechazos que se desechan en vertedero, así como los lodos y los residuos orgánicos incinerados. En promedio entre un 91 % (testliner) y un 95 % (papel ondulado) de los residuos se desechan en vertedero. La cantidad media ponderada de residuos incinerados parece ser pequeña (3 % en la producción de papel ondulado y 7 % en testliner). Las fábricas equipadas con calderas para la incineración residuos queman casi todos los rechazos con la excepción de los rechazos del pulper y de las depuraciones ciclónicas de alta densidad. Entre 0,9 y 3,6 kg de lodos orgánicos por tonelada de neta de producto vendible (npv) se reutilizan en el proceso de producción de testliner y papel ondulado.

El combustible fósil usado es hasta un 87 % de gas natural en la producción de papel ondulado, y hasta un 94 % para la producción de testliner. Todas la fábricas producen vapor para el secado del papel en la máquina de papel, pero no todas las fábricas producen electricidad por sí mismas. En algunos casos se contrata electricidad en forma de suministro eléctrico convencional. Las emisiones atmosféricas dependen principalmente del tipo de combustible usado.

En combinación con una purificación bien adaptada de los gases de combustión, el impacto ecológico más significativo se deriva de las emisiones fósiles de CO₂ (para más información, ver 5.2.2.7).

El consumo de agua para la producción de papel ondulado y testliner se sitúa entre 2 y 13 m³/tonelada npv. Cuando se producen papeles con un sistema cerrado de agua, el menor consumo de agua corresponde a la cantidad de agua evaporada durante el secado del papel. Las cifras medias ponderadas de consumo de agua son casi idénticas para ambas calidades de papel con unos 6,5 m³/tonelada npv. El efluente específico medio se sitúa entre 4,9 y 5,7 m³/tonelada npv. Algunas fábricas funcionan también con un sistema totalmente cerrado de agua y un nivel cero de efluentes.

Las emisiones al agua se reportan como las sustancias que abandonan la fábrica con el efluente después del tratamiento final de las aguas residuales. Los niveles de sólidos en suspensión, de DQO y de DBO son bajos para la media ponderada y se acercan a cero para las fábricas con un sistema de agua cerrado. El contenido de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales de las fábricas de papel a base de FRC es muy bajo. Es necesaria una adición controlada de nutrientes al tratamiento biológico de aguas residuales para proporcionar nutrientes para el mantenimiento y crecimiento de los microorganismos. Suponiendo una dosificación controlada para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento de aguas residuales, pueden alcanzarse concentraciones de N_{tot} por debajo de 10 mg/l y concentraciones de P_{tot} por debajo de 2 mg/l (como media diaria).

Los valores para fábricas de papel prensa y papel tisú a base de FRC presentados en la Tabla 5.3 y la Tabla 5.4 pueden no reflejar todo el rango de variaciones en el consumo de materias primas y emisiones que pueden observarse en las fábricas de papel en Europa. Por el contrario, debido a la escasez de los datos disponibles, se han compilado grupos de fábricas que se encuentran en una situación típica (aunque no representativa). La Tabla 5.3 muestra los datos medios ponderados para papel prensa a base de FRC. Los datos se derivan de 4 fábricas de papel alemanas que fabrican principalmente papel prensa a partir de papel recuperado (papel prensa estándar y de alta calidad, año de referencia: 1996). Las cuatro fábricas representan el 72% de la producción total de papel prensa en Alemania, es decir, 1,24 Mt/a de papel prensa y 73000 t/a de pasta DIP. En estas cifras se incluye una cantidad pequeña de GWP, TMP y pasta química. 2 fábricas de las cuatro utilizan sólo papel recuperado como materia prima fibrosa. Los valores presentados se consideran típicos para fábricas de papel prensa a base de FRC. Los datos se dan por la tonelada de papel producida. Las emisiones reportadas al agua corresponden a las sustancias que abandonan las fábricas con el efluente después del tratamiento biológico de aguas residuales.

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor (mín-max)	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Papel recuperado (9% humedad)	1120 (990-1270)	kg/t	Papel prensa	1000	kg/t
Astillas madera (55% humedad)	130 (0-330)	kg/t	DIP comercial (pequeña cantidad)	5,9	kg/t
Rollizos	50 (0-230)	kg/t	Emisiones (mín-max)		
Pasta kraft	10 (0-30)	kg/t	CO ₂		kg/t
Pigmentos	30 (0-100)	kg/t	CO ₂ , regenerativo		kg/t
Aditivos ¹⁾	53,17 (40,61-60,99)	kg/t	NOx	0,72 (0,56 – 1,06)	kg/t
			CO	0,14 (0,02 – 0,56)	kg/t
Energía (mín-max)			SO ₂	0,54 (0,01-2,68) ⁵⁾	kg/t
Gas natural	1720 (0 - 3490 ²⁾)	kWh/t	Polvo	0,010 (0,003-0,05)	kg/t
Fuel-oil, ligero	40 (0 - 180)	kWh/t	DQO	3.31 (2,47 – 4,45)	kg/t
Fuel-oil, pasado	300 (0 - 1510)	kWh/t	DBO ₅	0.12 (0,03 – 0,28)	kg/t
Combustibles regenerativos	510 (0 - 970)	kWh/t	Sólidos en suspensión	no hay datos	kg/t
Energía hidráulica	50 (0 - 110)	kWh/t	AOX	2 (1 - 3)	g/t
Electricidad contratada	470 (-10 ²⁾ - 710)	kWh/t	NH ₄ -N	20 (10 - 50)	g/t
Energía primaria, total ³⁾	3880 (3630 - 3990)	kWh/t	Fosfatos	5 (2 - 10)	g/t
			Caudal de aguas residuales	10,56 (7,7 – 14,97)	m ³ /t
Demanda de agua	(mín-max)		Residuos	(mín-max)	
Agua superficial	19.34 ⁴⁾	m ³ /t	Corteza	5.6 (0 - 28.6)	kg/t
Agua subterránea	0.61	m ³ /t	Rechazos, residuos papel	100,2 (0 ⁶⁾ –381,4)	kg/t
			Ceniza de la incineración de residuos ⁶⁾	90,8 (0 – 173,2)	kg/t
			Residuos, total ⁶⁾	196,7 (91,8-410,7)	kg/t

1) Los aditivos son ayudas de proceso y de producto expresadas como soluciones comerciales con diversas cantidades de agua.

2) El valor máximo de consumo de gas natural hace referencia a un fábrica con turbina de gas. Se produce un exceso de electricidad, por lo que se suministra una pequeña cantidad de electricidad a la red pública (10 kWh/t).

3) La contribución de la electricidad contratada al consumo específico de energía primaria se calcula suponiendo un rendimiento energético de las empresas productoras de electricidad del 36,75%, es decir, 0,47 MWh/t de electricidad contratada corresponden a 1,28 MWh/t de energía primaria (1 kWh = 3,6 MJ).

4) La demanda de agua incluye agua de proceso y de refrigeración. El agua de refrigeración se utiliza parcialmente como agua de proceso.

5) El valor máximo se registra cuando se utiliza combustible fósil como principal fuente de energía, el valor inferior cuando se utiliza gas natural. Todos los datos de emisiones a la atmósfera se derivan de datos de monitorización continua, media anual.

6) El valor mínimo (sin rechazos) se registra cuando los rechazos y el lodo se queman in situ. La cantidad de ceniza generada como producto de la incineración es cero cuando no funciona ningún incinerador, y alta cuando se queman grandes cantidades de combustibles adicionales. Si se aplica incineración in situ, el residuo restante es principalmente ceniza (mín.). De lo contrario, el residuo sin tratar supone el valor máximo.

Tabla 5.3: Niveles de consumos y emisiones medios anuales de fábricas de papel a base de FRC que fabrican principalmente papel prensa (normal y de alta calidad)

Las fábricas de papel tisú se caracterizan por la fabricación de una gran variedad de productos. Muchas máquinas de papel tisú realizan los cambios frecuentes de calidad para diversos productos, lo que reduce algo la eficiencia del consumo de agua, energía y materias primas. La conversión en producto acabado se integra a menudo con la producción del papel tisú. Las fábricas de papel tisú tienen un consumo relativamente alto de agua fresca en las duchas, ya que la limpieza de las telas y fieltros es crítica para la formación de una hoja muy ligera (hasta 12 g/m²). Por lo que respecta a la materia prima fibrosa utilizada, hay tanto fábricas de papel tisú basadas en un 100 % de fibras vírgenes como otras que usan un 100 % de fibras recuperadas (para información sobre las fábricas de papel tisú fabricado con fibras vírgenes, se hace referencia al Capítulo 6 de este documento). Entre estos extremos hay todo tipo de mezclas de fibras que utilizan un 10 %, 20 % y así sucesivamente hasta un 90 % de fibras recuperadas. La

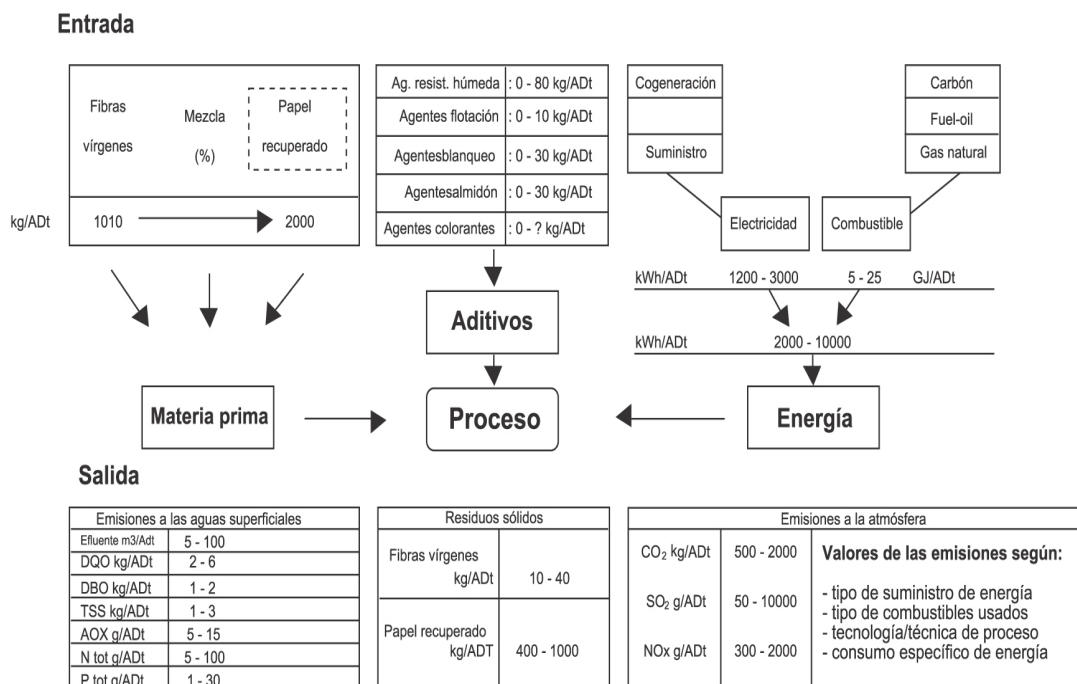


Tabla 5.4: Consumo medio anual y niveles de emisiones típicos para la fabricación de papel tisú
 [Datos de ETS, 1998; debido a la falta de datos, no han podido distinguirse las emisiones al agua de las aguas residuales entre las fábricas de papel tisú a base de FRC y las que utilizan fibras virgenes]

influencia de las materias primas en el comportamiento ambiental global de la fábrica es significativo y está relacionado principalmente con los altos volúmenes de lodo generados durante el lavado y destintado (eliminación de todas las cargas del papel recuperado). Las diferencias en las emisiones al agua no son significativas suponiendo un tratamiento adecuado de las aguas residuales. El comportamiento ambiental de toda la fábrica se ve influido por otros factores como los productos químicos usados, el tipo de combustible empleado y la generación de energía, y la configuración del proceso.

Aunque en Europa casi todas las fábricas a base de FRC son integradas - excepto dos fábricas que producen pasta destintada comercial - hay que destacar que muchas veces las fábricas integradas a base de FRC están sólo parcialmente integradas, es decir, parte de los materiales fibrosos puede ser pasta comprada. Las fábricas de papel fabrican a menudo productos de papel consistentes en una mezcla de diversos tipos de fibras.

El consumo de materia prima y las emisiones al medio ambiente del proceso de papel recuperado se discuten uno por uno en el apartado siguiente.

5.2.2 Niveles de consumos y emisiones derivados de los procesos individuales

Hay que tener en cuenta los siguientes aspectos asociados con la fabricación de papel basada en el proceso de fibras recuperadas:

- Consumo de papel recuperado.
- Consumo de agua.
- Uso de aditivos.
- Demanda de energía.
- Emisiones de aguas residuales.
- Generación de residuos sólidos de la producción de pasta, clarificación del agua de proceso y tratamiento de aguas residuales.
- Emisiones a la atmósfera de la producción de energía.

- Emisiones a la atmósfera de la incineración de lodo y residuos (opcional).
- Ruido de las máquinas de papel (local).
- Olor de vapores y de la planta de tratamiento de aguas residuales (local).

En cuanto a las cifras divulgadas de emisiones y consumos, debe tenerse en cuenta que, debido al uso de distintos métodos de medición en los diversos Estados Miembros, los datos no son siempre estrictamente comparables de un país a otro (ver ANEXO III para más información sobre este aspecto, pero los diversos métodos usados no alteran las conclusiones apuntadas en este documento).

5.2.2.1 Consumo de papel recuperado

Para la fabricación de diversos tipos de papeles, como el papel de embalaje "marrón" o el papel gráfico "blanco", se utilizan distintas cantidades y calidades de fibras secundarias. Para la producción de una tonelada de papel se utilizan entre 1100 kg (para papel ondulado) y 2000 kg (para papel tisú y DIP comercial) de papel recuperado. Las calidades más bajas de papel recuperado se utilizan normalmente como materias primas para los productos con requisitos más bajos, mientras que las calidades mejores se utilizan para los productos con requisitos más altos.

Hay muchos tipos distintos de papel recuperado en el mercado europeo, que se clasifican generalmente según origen, calidad y uso. La clasificación varía de un país a otro. Según la lista de calidades estándares europeas de papel recuperado, el papel recuperado se clasifica de forma general en cuatro grupos, que corresponden a las calidades normal, media, alta y kraft [EN 643, 1994], cada uno de ellas con subclasificaciones. El papel recuperado de una calidad más baja contiene más impurezas y debe limpiarse más intensivamente para satisfacer los requisitos del producto que el papel recuperado de una calidad más alta. Las calidades más altas se utilizan principalmente para el proceso de papeles gráficos y de papel tisú y presentan dos desventajas: las calidades más altas son generalmente más caras y pueden no estar disponibles en cantidades suficientes de forma continua. Dado que la uniformidad es importante para los suministros de pasta, las variaciones cuantitativas y cualitativas de impurezas y contaminantes deben ser tan pequeñas como sea posible. Así, los métodos de recogida y la separación del papel recuperado en una fase inicial pueden ser más importantes que los esfuerzos técnicos por desarrollar nuevos procesos para la producción de fibras secundarias. Además, el método de recogida en origen de las fibras secundarias tiene una influencia importante en la calidad de la composición. Pueden distinguirse diversos tipos de papel recuperado: "papel recuperado recogido", como cajas de cartón ondulado, periódicos y revistas, "papel recuperado industrial", como fábricas de encuadernación de libros, así como "papel recuperado semi-industrial" procedente de supermercados, grandes almacenes y oficinas grandes.

Es de esperar que el porcentaje de impurezas en el papel recuperado aumente debido al aumento continuo del reciclaje del papel usado. Este efecto se ve potenciado por el uso intensificado de cargas en la producción de papel. Globalmente es de esperar que la cantidad de impurezas en el papel recuperado aumente, lo que a su vez producirá un incremento de los pasos de limpieza y blanqueo. También producirá un aumento de residuos sólidos en las fábricas de papel a base de FRC.

5.2.2.2 Consumo de agua

Las fábricas de papel y cartón utilizan normalmente grandes cantidades de agua. Por otra parte, en la mayoría de fábricas de papel una gran cantidad de agua se recicla, por lo que el volumen específico de agua usado para la fabricación de papel a base de FRC ha disminuido durante los últimos veinte años. En Europa se utilizan aguas subterráneas y superficiales. Según la calidad del papel, el agua debe pretratarse para satisfacer los requisitos fijados para el agua de proceso. En caso de necesidad, el hierro, el manganeso, y en ocasiones las algas y la turbidez, deben ser

eliminados mediante floculación, agentes complejantes y/o filtración con arena. El agua tiene varios usos básicos en la industria del papel, como agua de proceso, agua de refrigeración y agua de alimentación de la caldera (para más información ver Sección 6.1.3, circuitos de agua y recuperación de fibras). Según se muestra en la Figura 5.6, el agua de proceso se recicla extensivamente en el proceso de producción.

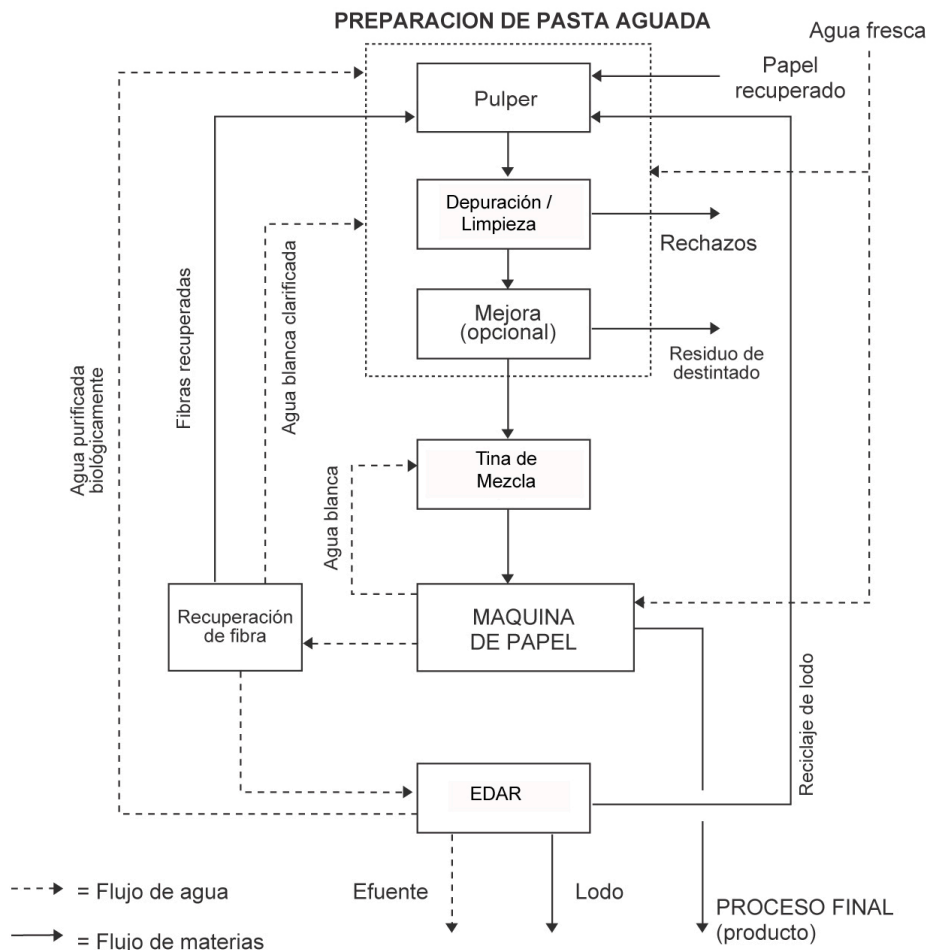


Figura 5.6: Diagrama de flujo básico de la producción de papel proceso de papel recuperado [Dutch Note on BAT, 1996]; EDAR = Estación de Tratamiento de Aguas Residuales

Todas las fábricas de papel y cartón reciclan el agua de desagüe de la sección de tela (agua blanca). El agua blanca se recicla sin tratar como diluyente a la tina de mezcla (circuito corto) o se reutiliza tras su clarificación en la unidad de recuperación de fibra en puntos específicos del proceso donde deben satisfacerse requisitos más altos de calidad del agua. El exceso de caudal de la unidad de recuperación de fibra y de la preparación de pasta se descarga con el fin de mantener el equilibrio del agua y purgar las sustancias indeseadas que no deben incorporarse al al circuito de cabeza de máquina de la máquina de papel. El posible índice de reciclaje depende de los requisitos de calidad de la producción y de la calidad del agua de proceso o aguas residuales tratadas. Además, la calidad del diseño de los circuitos de agua de proceso influye fuertemente en el límite de reutilización sin desventajas para la producción y la calidad del producto. En la Figura 5.7 y la Figura 6.10 se dan ejemplos de posibles sistemas de agua para producción de pasta para fábricas integradas de producción de papel a base de FRC en las calidades de papel marrón y papel blanco.

El ejemplo de un circuito bastante cerrado en la producción papel sin destintar a partir de fibras recuperadas muestra que el agua fresca se utiliza solamente en el lado de la máquina de papel (y para la preparación de aditivos). Las aguas blancas se reciclan de nuevo a la preparación de pasta y se utiliza para el reblandecimiento del papel recuperado y diversos pasos de la limpieza mecánica de la pasta. Una corriente parcial se descarga a la estación de tratamiento de aguas residuales (EDAR). Aproximadamente $1,5 \text{ m}^3/\text{t}$ de papel se vaporizan en la sección de secado de la máquina de papel. Estadísticamente, en el ejemplo de la Figura 5.7, el agua se utiliza 33 veces en el proceso.

Industria de la Pasta y el Papel

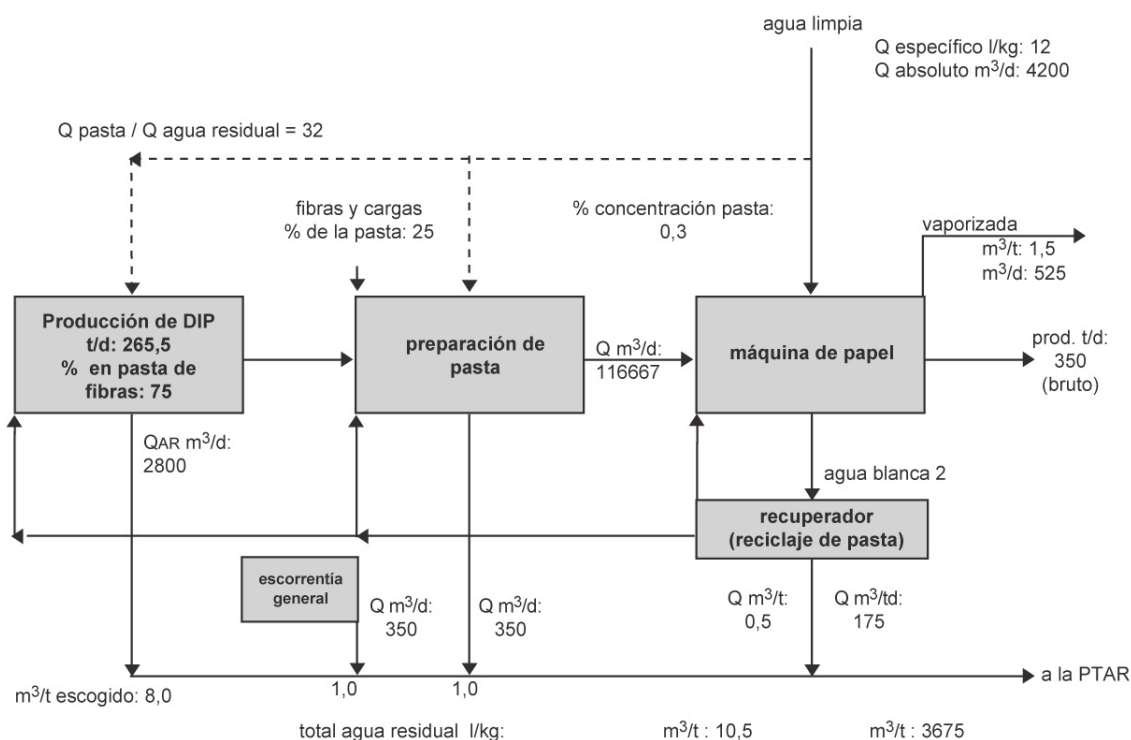


Figura 5.8: Ejemplo de un sistema de agua optimizado para la producción de pasta en una producción integrada de pasta destinada [Moebius, 1994; versión original corregida por el autor].

La Tabla 5.5 resume el consumo específico de agua de distintas fábricas de proceso de papel recuperado.

Proceso	Consumo específico de agua [m³/t]*
Cartón para cajas plegables sin estucar	2 - 10
Cartón para cajas plegables estucado	7 - 15
Papel ondulado y papel de embalaje	1.5 - 10
Papel prensa	10 - 20
Papel tisú	5 - 100
Papel para escritura e impresión	7 -20
Notas:	
* Hay que señalar que alrededor de 1,5 m³ de agua por tonelada de papel se vaporiza en la sección de secado de la máquina de papel, es decir, no aparece como agua residual	

Tabla 5.5: Consumo de agua típico en la producción de papel y cartón a base de FRC

5.2.2.3 Uso de aditivos

Para mejorar las características del producto, en la industria del papel y el cartón se aplican diversos aditivos. La cantidad y los tipos de aditivos varían con la calidad del papel y el equipo instalado. Los aditivos aplicados por la industria de papel pueden clasificarse en ayudas de producto, que se aplican para optimizar las características específicas del papel según los requisitos de los clientes, y ayudas de proceso. Estas últimas facilitan el funcionamiento del proceso del papel, mejorando la procesabilidad. En la Tabla 5.6 se dan ejemplos de los principales aditivos y de su aplicación. Si los aditivos se utilizan según las instrucciones, no deben causar impactos negativos significativos en la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los cambios repentinos en cargas debido a la limpieza del sistema o a ajustes puntuales de aditivos para satisfacer requisitos del producto, pueden tener un impacto negativo en el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Entonces, la biomasa

puede necesitar un cierto periodo para adaptarse a los aditivos que aparecen en los efluentes. Durante este periodo limitado, la eficacia de la planta de tratamiento puede verse reducida, y la sedimentación del lodo puede quedar deteriorada (aumento del porcentaje de volumen de lodo). Por lo tanto, los aditivos deben manejarse con cuidado y cautela y según las indicaciones. Así es como deben interpretarse los comentarios en la columna derecha de la Tabla 5.6.

Aditivos de producto	Finalidad	Ejemplos	Comentarios
Cargas	- Mejora la imprimibilidad, la opacidad y la claridad, así como la lisura y el blancura - Sustituye (ahorra) fibras	Caolín o arcilla, talco, cal, yeso, dióxido de titanio	
Agentes de encolado	- Mejora la calidad superficial - Hacen que el papel sea hidrófobo	Almidón modificado, resinas naturales modificadas, emulsiones de ceras, productos sintéticos como dímeros de alquilceteno copolímeros de ácido o anhídrido maleico	Algunos pueden ser tóxicos para las bacterias si son catiónicos
Agentes de fijación	- Mejoran la adsorción de los aditivos a las fibras	Alumbre $[Al_2(SO_4)_3]$	Productos principalmente catiónicos que pueden ser tóxicos para bacterias
Agentes de resistencia en seco	- Mejoran las propiedades de resistencia en condiciones secas	Almidón modificado	Algunos pueden ser tóxicos para bacterias si son catiónicos
Agentes de resistencia en húmedo	- Mejoran las propiedades de resistencia en condiciones húmedas	Polímero de urea-formaldehído, Polímero de melamina-formaldehído, condensados de epíclorohidrina	Normalmente tóxicos para bacterias, algunos aumentan el AOX
Colorantes	- Dan al papel un cierto color y/o blancura	Azocompuestos, compuestos de amonio cuaternario	Difíciles de eliminar; algunos son tóxicos; pueden contener metales pesados
Blanqueantes ópticos	- Dan al papel una impresión blanca	Agentes químicos basados en el ácido 4,4-diamino estilbeno-2,2-disulfónico	Algunas sustancias catiónicas pueden ser tóxicas
Agentes químicos de estucado	- Dan al papel determinadas propiedades superficiales	Pigmentos, aglomerantes, agentes de resistencia en húmedo, agentes dispersantes y lubricantes, antiespumantes, limicidas	Los aglomerantes deben desestabilizarse antes de su mezcla con otras aguas residuales, de lo contrario pueden alterar la clarificación
Aditivos de proceso	Finalidad	Ejemplos	Comentarios
Ayudas de retención	- Retención de fibras, finos y cargas - Aumentan la producción al mejorar la deshidratación - Reducen la emisión de contaminantes	Alumbre, aluminato sódico, cloruro de polialuminio, productos de almidón, gomas, poliacrilamidas aniónicas, poliacrilamidas no iónicas, polímeros catiónicos	Principalmente productos catiónicos
Agentes de destintado y blanqueo	- Desprenden al tinta de las fibras - Blanqueo - Mantienen las partículas de tinta en suspensión	NaOH, ácidos grasos, H_2O_2 , hidrosulfito, FAS, agentes complejantes, silicato sódico, tensioactivos	Puede perjudicarse la sedimentación de lodo en los clarificadores finales
Agentes complejantes	- Eliminación de iones metálicos formando complejos metálicos, para evitar la descomposición de los agentes de blanqueo	DTPA o EDTA	Poco o nada biodegradables
Tensioactivos	- Limpieza de filtros, alambres y maquinaria - Limpieza del sistema de circuitos de agua - Dispersión de sustancias	Surfactantes ácidos y alcalinos	Pueden causar lodo flotante
Agentes antiespumantes	- Prevención y destrucción de espumas	Ácidos grasos, etoxilatos, polioxietileno, derivados de ácidos grasos, alcoholes altos, ésteres del ácido fosfórico, productos de aceites vegetales	Pueden reducir la entrada de oxígeno en la PTAR
Biocidas (Limicidas)	- Prevención del crecimiento de microorganismos	Bromo orgánico, compuestos de azufre o nitrógeno, compuestos de amonio cuaternario	Algunos contienen AOX, son tóxicos cuando llegan a la PTAR en concentraciones elevadas

Tabla 5.6: Principales aditivos de proceso y producto y su aplicación en la industria del papel. No se incluyen los productos químicos básicos para la industria de fabricación de papel, como ácidos y bases. Los comentarios hacen referencia a las sustancias en sí, sin tener en cuenta que normalmente están muy diluidas y en cierta medida quedan retenidas en el papel (para más información, ver ANEXO I) [Dutch notes on BAT, 1996; modificado por EIPPCB].

En la Tabla 5.7 se detallan los agentes utilizados para destintado. Los agentes de destintado tienen poca retención en la celulosa y cabe esperar que estén presentes en el lodo de destintado que se desecha o incinera.

Agente químico	Consumo [kg/t de pasta destintada]
Hidróxido sódico	10 - 20
Silicato sódico	20 - 30
Jabón	5 - 8
Talco	10 - 15
Peróxido de hidrógeno	5 - 25
Agente quelantes (DTPA) ¹⁾	2 - 3
Ditionito sódico	6 - 10
Acido sulfúrico	8 - 10

Tabla 5.7: Dosis típicas de agentes químicos en el proceso de destintado, incluido blanqueo [Finnish BAT Report, 1997]. ¹⁾ Normalmente no es necesario usar agentes quelantes en el proceso / blanqueo de papel recuperado, a menos que haya concentraciones excesivas de iones Fe y Mn⁵

Los aditivos no se suelen consumir totalmente durante el proceso, ni quedan totalmente retenidos en la hoja de papel, especialmente por lo que concierne a los aditivos de proceso. Una cierta cantidad se descarga a través de las aguas residuales. El exceso de aditivos también sale del sistema a través de los rechazos y el lodo (ver 6.2.1.3). Algunos de estos aditivos pueden tener una influencia negativa en el funcionamiento práctico de la planta de tratamiento de aguas residuales y/o la calidad del agua del medio receptor en caso de que no se degraden ni se eliminan en la planta de tratamiento de aguas residuales. En algunos Estados Miembros, las Autoridades de Calidad del Agua requieren que se informe de las cantidades y la naturaleza de los aditivos aplicados. En Holanda, por ejemplo, las empresas deben presentar información relevante sobre la naturaleza y composición de los aditivos. Esta información se utiliza entonces en una metodología de evaluación [RIZA, 1998], que determina el impacto de los aditivos en el entorno acuático. Los aditivos pueden aplicarse solamente si han pasado la metodología de evaluación con una puntuación positiva o si son retenidos mediante una técnica adecuada.

5.2.2.4 Demanda energética

Las fábricas de papel y cartón requieren cantidades substanciales de vapor para el calentamiento del agua, de la pasta, del aire y de los productos químicos a la temperatura de proceso exigida, y sobre todo para secar el papel. Además, se requieren grandes cantidades de electricidad para impulsar la maquinaria y los sistemas de bombeo, vacío, ventilación y tratamiento de aguas residuales. En las fábricas de papel la energía es generalmente el factor principal en los costes operativos. Dado que las fibras secundarias ya pasaron a través de equipo de preparación de pasta cuando se fabricó el papel original, la preparación de pastas de FRC requiere menos energía total de proceso que la que se requiere para la preparación de pastas químicas y especialmente mecánicas. Por ejemplo, en Holanda, para el proceso de papel recuperado se ha comprobado un consumo específico medio de electricidad de 322 kWh/t (lo que indica una diferencia despreciable en el consumo específico de electricidad entre el proceso de FRC con y sin destintado). El consumo específico total de energía asciende a 10,9 GJ/t fábricas sin destintado y a 12,1 GJ/t para fábricas de papel con destintado [Dutch note on BAT, 1996].

En las fábricas de FRC, normalmente el vapor es producido internamente por cada compañía. En caso de necesidad, puede contratarse electricidad de la red pública. Las fábricas de papel tienen normalmente una necesidad equilibrada de vapor y electricidad, por lo que es obvio que se apliquen instalaciones de cogeneración de calor y energía (CHP). Los sistemas de CHP permiten dar respuesta a estas necesidades energéticas mediante la generación simultánea de

⁵ C. Pauli, R.Patt, V.Gehr, O.Kordsachia, Sobre los efectos de los aditivos en una etapa de blanqueo alcalino con peróxido / oxígeno de papel recuperado y pasta mecánica (en alemán) WfP, No. 20, 1993, p. 852-857.

electricidad y de calor útil (vapor), y tienen un rendimiento total considerablemente más alto (80-95%) en comparación con la "generación separada" es decir la generación de calor y la contratación de electricidad (esta última con un rendimiento de un 40%). Los sistemas de CHP de las fábricas de papel producen a veces más electricidad de la que necesitan realmente en base a la demanda de calor. Este exceso de electricidad puede suministrarse a la red pública.

En la Tabla 5.8 siguiente se presentan algunas cifras detalladas sobre el consumo energético requerido para la preparación de pasta de papel recuperado para fabricación de papel tisú y papel prensa. Todos los datos hacen referencia a equipos modernos y conceptos de preparación de pasta diseñados para sistemas de alta calidad. Los valores corresponden a ejemplos reales de sistemas de preparación de pasta de reciente construcción. Normalmente, los sistemas de proceso elegidos varían de una fábrica a otra hasta cierto punto. Sin embargo, los componentes principales de los sistemas son necesarios en todas las fábricas que procesan FRC. Estos valores pueden dar una cierta indicación de los rangos de demanda energética que cabe esperar para estos tipos de fábricas de papel a base de RCF.

Al comparar cifras sobre consumo de energía, deben tenerse en consideración los siguientes aspectos:

- La producción del proceso varía principalmente según la materia prima.
- El país y la zona donde se recoge el papel recuperado afecta perceptiblemente la calidad de la materia prima.
- Debido a la mala calidad del papel recuperado, algunas fábricas pueden tener que realizar esfuerzos adicionales en la preparación de la pasta.
- Generalmente, cuando se discute el consumo de energía, sólo se incluyen los equipos principales, es decir, las bombas y agitadores no forman parte del sistema considerado. Estos componentes de proceso "pasivos" no mejoran calidad de la pasta, aunque son relevantes en términos de la demanda de electricidad.
- La contribución de bombas y agitadores a la potencia eléctrica instalada total puede variar entre un 20 y un 30%. Desde el punto de vista energético, las aproximaciones al proceso que disminuyan la cantidad de bombas, son importantes. En el ejemplo para el papel prensa de RCF de la Tabla 5.8, la contribución de las bombas a la demanda energética total es del 30%.
- Los subsistemas periféricos para el agua, lodo y rechazos tales como los de DAF, prensas de tornillo de rechazos, o prensas de lodo, tampoco se incluyen, ya que no se consideran como equipo principal. Su demanda energética debe agregarse a las cifras.
- Hay una diferencia entre la energía *instalada* (equipo principal) y la demanda media de energía que se *consume* realmente. En general, la energía consumida realmente es un 70 - 75 % de la energía instalada. Este porcentaje varía según la etapa de proceso y el proveedor del equipo.

Para cifras más detalladas sobre la demanda específica de energía de los procesos individuales en la planta de preparación de pasta para el proceso de papel recuperado sin destintado (testliner de 2 capas), se hace referencia a la Sección 5.3.7.

En la Tabla 5.9 y la Tabla 5.10 se indican las cifras de consumo energético y balance de energía para una fábrica de papel prensa basada en un 100% de fibras recicladas. El consumo de energía se divide en calor y electricidad. El ejemplo se refiere a una fábrica sueca con una capacidad de producción de 500000 t/a de papel prensa.

	Línea DIP para papel tisú (200 t/d)	Línea DIP para papel prensa (1000/d)
Materia prima	Revistas antiguas/desechos de oficinas	Periódicos/revistas antiguos
Rendimiento	55 - 60%	80%
Consumo eléctrico específico total (estimado)	230 kWh/t de pasta DIP ¹⁾	300 kWh/t de pasta DIP ²⁾
Consumo específico total de vapor a baja presión	0,3 t vapor/t de pasta DIP	0,3 t vapor/t de pasta DIP
Demanda específica de energía para los principales procesos individuales		
Transportador de alimentación	1 kWh/t de pasta DIP	0,4 kWh/t
Pulper de Alta Consistencia ¹⁾	39 kWh/t de pasta DIP (pulpaje CHD incluido tamizado grueso)	16 kWh/t (pulper de tambor)
Depuración espesa	No se requiere	18,5 kWh/t
Limpiador de consistencia media	Energía de bombeo	Energía de bombeo
Eliminación de arena (limpiador)	Energía de bombeo	Energía de bombeo
Depuración fina	17 kWh/t de pasta DIP	22 kWh/t
Flotación I	18 kWh/t de pasta DIP	33 kWh/t
Lavado I	8 kWh/t de pasta DIP	No hay lavado
Filtro de disco (espesamiento)	No se requiere	1 kWh/t
Dispersión (incl. espesador)	55 kWh/t de pasta DIP ²⁾	67 kWh/t ²⁾
Flotación por Aire Disuelto (DAF)	Sin datos (difícil de calcular en kWh/t de pasta DIP)	Sin datos (difícil de calcular en kWh/t de pasta DIP)
Flotación II	5 kWh/t de pasta DIP	19 kWh/t
Lavado II	10 kWh/t de pasta DIP	No hay lavado
Prensa de lodo	Sin datos (no equipo principal)	Sin datos (no equipo principal)
Todas las bombas	No incluidas ³⁾	91 kWh/t ⁴⁾
Notas explicativas: Normalmente los valores se presentan como KW instalados. Cuando el consumo específico de energía se deriva de estas cifras, hay que hacer una aproximación a la situación real. 1) Pulper CHD = Pulper Continuo de Alta Densidad. En muchas fábricas se aplica pulpaje estándar HD discontinuo (mayor demanda de energía). 2) Estos valores representan más bien cifras por debajo de la media. Para las mejores calidades no es infrecuente un consumo de hasta 70 – 80 kWh/t en algunas fábricas. Normalmente, para espesamiento y dispersión se reporta una demanda de electricidad de 85 – 90 kWh/t (ver cifras más adelante). 3) En el equipo de preparación de pasta para papel tisú no se incluyen bombas ni agitadores. 4) Aparte de las bombas para el sistema de flotación, todas las bombas y agitadores están incluidos.		

Tabla 5.8: Ejemplos reales de consumo de energía en la producción de papel tisú y papel prensa a partir de papel recuperado [datos de Valmet]. Se aplica equipo moderno. Nótese el consumo de energía depende de las materias primas usadas, de la configuración de la preparación de pasta, del equipo instalado, y de las propiedades del producto a conseguir (para otros ejemplos más típicos, ver Tabla 5.1 y esta sección más adelante). Las cifras incluyen sólo la preparación de pasta, y no la máquina de papel. Para esta última, ver Sección 6.2.2.4.

Departamento	Calor de proceso [MJ/Adt]	Energía eléctrica [kWh/Adt]
Fábrica de pasta		
Destintado	200	175
Lavado y depuración	0	50
Blanqueo	0	75
Total fábrica de pasta	200	300
Preparación de pasta	0	235
Máquina de papel	5.300	350
Total fábrica de papel	5.300	585
Tratamiento de efluentes	0	32
Consumo específico de energía por t/papel	5.500	917

Tabla 5.9: Consumo de energía en una fábrica sueca integrada con una capacidad de producción de 500.000 t/a de papel prensa a partir de pasta destintada. Año base: 1995 [SEPA Report 4712-4, 1997]

En la Tabla 5.10 se presentan los balances de energía para la misma fábrica.

Departamento	Calor [MJ/ADt]	Electricidad [kWh/ADt]
Fábrica de pasta		
Generador de turbina	0	0
Suministro externo	+ 200	+ 332
Consumo	- 200	- 300
Tratamiento de efluentes	0	- 32
Exceso de energía fábrica de pasta	0	0
Fábrica de papel		
Consumo	- 5300	- 585
Suministro externo	+ 5300	+ 585
Total suministro externo	5500	917

Tabla 5.10: Balances de energía de dos fábricas integradas de papel prensa a base de FRC con una capacidad de producción de 500.000 t/a y 250.000 t/a respectivamente. Año base: 1995 [SEPA Report 4712-4, 1997]

En principio, el consumo de energía en el proceso de fibra recuperada depende del diseño, del tipo y de la cantidad de las etapas del proceso implicadas para conseguir una cierta calidad del producto. Especialmente el aumento de la blancura y la disminución de motas están ligados a un aumento de la entrada de energía. Por ejemplo, una fábrica alemana de papel prensa con una capacidad de proceso de 1.900 toneladas de papel recuperado al día reportó un aumento significativo de la demanda energética al poner en funcionamiento un paso de blanqueo al peróxido con dispersor y una flotación secundaria adicional para la fabricación de papel prensa mejorado en lugar de calidades estándar. Mientras que la pasta destintada estándar consume unos 350 kWh/t y 250 t de vapor al día, la pasta destintada y blanqueada de alta calidad requiere 420 kWh/t. Hay que tener en cuenta que la electricidad contratada es generada a menudo por las compañías de electricidad con un rendimiento energético de alrededor 38 %. Por lo tanto, para generar la electricidad contratada requerida para el proceso de papel recuperado (es decir 0,35 – 0,45 kWh/kg DIP) se requiere un consumo de energía primaria entre 1 y 1,3 kWh/kg DIP.

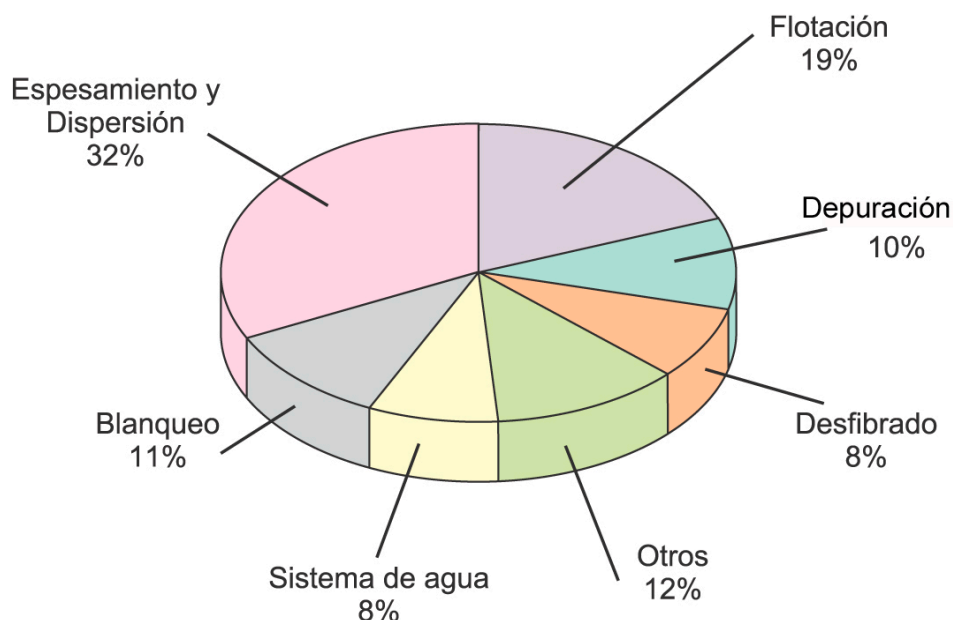


Figura 5.9: Consumo específico de energía para el proceso de papel recuperado de una fábrica de papel prensa [Merkel, 1997]. La flotación incluye dos etapas; la depuración incluye pretamizado y depuración secundaria; "otros" incluye ventilación, el secapastas para una parte de la pasta DIP, sistemas de clarificación de agua, etc.; el sistema de agua no incluye clarificación del agua; el blanqueo se realiza en un dispersor

La cifra de consumo de energía de las etapas de proceso individuales muestra que alrededor de un tercio se consume en el espesamiento y la dispersión. Para las instalaciones de desintegración se han comunicado los siguientes rangos: pulper convencional 25 – 80 kWh/t, pulper de tambor 15 - 20 kWh/t, pulper secundario 15 -40 kWh/t [todas las cifras: UBA, 19/1994]. El espesamiento antes de la dispersión consume unos 30 kWh/t. El calentamiento de la composición hasta 90°C y el funcionamiento del dispersor requieren unos 60-100 kWh/t. La flotación requiere unos 27-33 kWh/t. El consumo de energía para la flotación depende de la cantidad de células de flotación, del diseño de las conducciones de la fábrica y de los tipos de inyectores de aire aplicados. Los filtros prensa y las prensas de tornillo para deshidratación consumen unos 10 kWh/t.

5.2.2.5 Emisiones a las aguas residuales

Las emisiones de la industria del papel a las aguas residuales en particular – aunque también la demanda energética y la generación de residuos – están estrechamente relacionadas con los requisitos fijados para las calidades de papel, la calidad de las materias primas (papel recuperado) y las técnicas de eliminación aplicadas. Los aditivos usados, la gestión interna del proceso, la limpieza y orden, así como el estado técnico de la instalación tienen también un efecto en los niveles de emisiones alcanzados.

Las aguas residuales de una fábrica de papel a base de FRC se generan principalmente durante los pasos de limpieza. Es práctica común retirar las aguas residuales en los lugares donde se contamina especialmente el agua de proceso. Sin embargo, la localización de la generación de las aguas residuales varía de una fábrica a otra. El agua de proceso se contamina principalmente durante la limpieza, el destintado y la recuperación de fibra. Por lo tanto, las aguas residuales de fábricas de papel a base de FRC consisten en:

- Agua de la separación de rechazos mediante tamices y limpiadores centrífugos.
- Filtrados de lavadoras, espesadores y manipulación de lodos.
- Exceso de aguas blancas, según el porcentaje de reciclaje.

Las aguas residuales de la industria europea del papel y del cartón se descargan en gran parte a las aguas superficiales después del tratamiento primario y biológico in situ, o se descargan a una planta municipal de tratamiento de aguas residuales después de la clarificación primaria para la eliminación de sólidos en suspensión. En la Tabla 5.11 y la Tabla 5.12 se recopilan datos medios de emisiones al agua después del tratamiento exclusivamente primario, correspondientes a fábricas de papel a base de FRC, así como los datos correspondientes a las fábricas que incorporan tratamiento biológico in situ.

Parámetro	Sin destintado		Fábricas con destintado	
	mg/l (mín-máx)	kg/t (mín-máx)	mg/l (mín-máx)	kg/t (mín-máx)
DBO₅ ¹⁾	1900	4,7	550	10
DQO	3800 (570 - 9000)	9,4 (1,2-24)	1100 (440 - 1900)	20 (7 - 40)
K_J-N ²⁾	16 (10 - 40)	0,05 (0,02 – 0,1)	20 (13 - 25)	0.35 (0,19-0,62)
Volumen vertido		5,5 (0,4-15,5) m ³ /t		15 (9 - 39) m ³ /t
Notas:				
1) El valor de DBO ₅ se estima suponiendo que DQO = 2* DBO ₅ [Dutch note on BAT, 1996].				
2) El Nitrógeno de Kjeldahl es la suma de nitrógeno orgánico y amónico. Parte del N orgánico puede hidrolizarse durante el tratamiento de efluentes, el N amónico es un nutriente potencial para la biomasa de la planta de tratamiento.				

Tabla 5.11: Emisiones medias al agua de fábricas a base de FRC después de tratamiento primario y antes de su descarga a una planta de tratamiento de aguas residuales. Los datos han sido medidos por autoridades competentes en materia de agua, así como en mediciones de control interno de empresas en 1994/95. [Dutch notes on BAT, 1996]

Parámetro	Sin destintado		Fábricas con destintado	
	mg/l (mín-máx)	kg/t (mín-máx)	mg/l (mín-máx)	kg/t (mín-máx)
DBO₅ antes del tratamiento *	1800	12,3	770	8,3
DBO₅ después del tratamiento	10 (3 - 28)	0,06 (0,01 – 0,13)	9	0,09
DQO antes del tratamiento *	3200	22	1900	21
DQO después del tratamiento	150 (60 - 270)	0,77 (0,29 – 1,12)	290	3,1
K_j-N¹⁾	5,6 (3 - 13)	0,03 (0,01 – 0,04)	7,8	0,08
P_{tot}	1,5 (0,5 - 1,8)	0,01	n.d.	n.d.
SST	25 (17 - 40)	0,13 (0,06 – 0,21)	n.d.	n.d.
Volumen vertido		5,7 (3,1-11) m ³ /t		11 m ³ /t

Notas:

* No había datos de DBO₅ de los influentes. Por consiguiente, los datos de los influentes se calculan en base a los datos de carga de las aguas residuales de una fábrica con destintado [Dutch note on BAT, 1996].

1) El valor del N de Kjeldahl después del tratamiento de efluentes da sólo una indicación de la cantidad de N orgánico en el efluente, y no cubre la carga total de N, que incluye los compuestos de N oxidado, nitratos y nitritos.

Tabla 5.12: Emisiones medias al agua de fábricas a base de RCF que descargan a medios acuáticos después de tratamiento primario y biológico in situ. Los datos han sido medidos por autoridades competentes en materia de agua, así como en mediciones de control interno de empresas en 1994/95. [Dutch notes on BAT, 1996]

Demanda Química de Oxígeno

Las emisiones de DQO tienen su origen en las materias primas y aditivos. Los procesos de destintado y blanqueo liberan una parte substancial de la DQO del papel recuperado. Los datos de emisiones de DQO de las fábricas de papel con descarga a las alcantarillas muestran grandes variaciones según la etapa de proceso durante las mediciones. La eliminación y homogeneización de la DQO se realiza en la planta municipal de tratamiento de aguas residuales. Los datos de emisiones de DQO de fábricas de papel y cartón que disponen de tratamiento biológico de aguas residuales in situ muestran poca variación. Las variaciones que se muestran en la Tabla 5.12 son causadas por fábricas cuya estación de tratamiento de aguas residuales (EDAR) no funciona bien. Estas fábricas están estudiando una modernización de sus EDAR. El proceso con destintado produce emisiones más altas de DQO que las causadas por el proceso sin destintado. En el último caso, gran parte de la DQO queda retenida en el producto.

DBO₅

Los datos de emisiones de DBO₅ después del tratamiento biológico no muestran ninguna diferencia significativa entre el proceso de papel recuperado con y sin destintado. En plantas de tratamiento que funcionan correctamente, la concentración de DBO₅ después del tratamiento está por debajo de 20 mg/l independientemente de la concentración del influente. Después del tratamiento biológico se han comunicado emisiones de DBO₅ de 0,01 – 0,13 kg/t de papel y cartón [Dutch note on BAT, 1996]. Las diferencias en la carga específica de DQO están causadas principalmente por diferencias en el caudal de agua. La relación DBO₅/DQO de los efluentes de la fábrica de papel después del tratamiento primario, de aproximadamente 0,5, indica que el efluente de la fábrica de papel es fácilmente biodegradable.

Nutrientes

Los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales contienen sobre todo concentraciones bajas de nutrientes en forma de nitrógeno y de fosfatos. La presencia de estos compuestos es causada principalmente por la adición necesaria de estos nutrientes para el funcionamiento eficaz de la planta de tratamiento biológico, que necesita un suministro de nutrientes del orden de DBO₅ : N : P = 100 : 5 : 1. De algunos aditivos pueden también derivarse compuestos orgánicos nitrogenados. Durante el tratamiento biológico, parte de los mismos pueden hidrolizarse a amonio - otros no - y transformarse en compuestos de nitratos.

Sólidos en suspensión totales (SST)

Los datos de SST después del tratamiento solamente muestran una pequeña variación. El nivel superior de los rangos de SST es causado por plantas de tratamiento de aguas residuales de fábricas de papel que no funcionan bien. Debido al tipo de compuestos orgánicos en las aguas

residuales de las fábricas de papel, hay una tendencia relativa a acumular grandes volúmenes de lodo en los sistemas de tratamiento de lodo activado. Hay disponibles medidas de control para evitar y controlar este fenómeno.

Metales pesados

Las concentraciones de metales pesados en efluentes de fábricas de papel son generalmente insignificantes. No hay un aumento significativo en las concentraciones si se utilizan fibras secundarias. Sin embargo, mediciones ocasionales de fábricas holandesas de proceso con destintado han demostrado que algunos efluentes de fábricas de proceso con destintado pueden contener concentraciones elevadas de cobre y zinc. En ese caso, la tinta de impresión del papel recuperado se considera que es la fuente principal de metales pesados. Los metales pesados observados ocasionalmente en los efluentes están principalmente en forma de complejos orgánicos estables [Luttmer, 1996, citado en notas holandesas sobre MTD].

AOX y otros microcontaminantes orgánicos

Las fuentes de compuestos orgánicos halogenados absorbibles son algunos aditivos (especialmente agentes de resistencia en húmedo), papel recuperado a base de pasta blanqueada al cloro y en cierta medida las tintas de impresión. Dado que el blanqueo al cloro está prácticamente abandonado hoy en día, los compuestos con AOX derivados del papel recuperado a base de pasta blanqueada con cloro han disminuido considerablemente durante los últimos años. También hay disponibles en el mercado agentes neutros de resistencia en húmedo con nivel reducido de AOX, y son una opción para la reducción adicional de las emisiones de AOX. Por lo tanto, se espera que la concentración de AOX tenga una tendencia a la baja con los años. Las mediciones ocasionales en fábricas holandesas de papel a base de FRC (con y sin destintado) han mostrado que las concentraciones medias de AOX son del orden de 200 µg/l.

Los microcontaminantes orgánicos como clorofenoles o bifenilos policlorados pueden ser detectables en los efluentes de algunas fábricas de papel a base de FRC en concentraciones muy bajas, según las materias primas usadas (papel recuperado, tintas de impresión, y aditivos). En mediciones ocasionales en fábricas holandesas de papel a base de FRC se han observado clorofenoles hasta 1 µg/l (0,1 – 0,7 µg/l) y sólo trazas de bifenilos policlorados (valores por debajo del límite de detección hasta 0.11 µg/l [valor máximo]) [nota holandesa sobre MTD, 1996].

Sales

Las sales, principalmente sulfatos y cloruros, se introducen principalmente a través del papel recuperado y algunos aditivos como el alumbre. En ciertas zonas, por ejemplo, si el agua superficial es un recurso principal para la producción de agua potable o por motivos de calidad del agua, se presta atención a la descarga de sales. Según los tipos de papel recuperado utilizado como la materia prima y el grado de cierre de los circuitos del agua, se han observado concentraciones de sulfatos de hasta 1000 mg/l, incluso aunque durante el proceso no se haya utilizado sulfato de aluminio.

5.2.2.6 Generación de residuos sólidos

La mayoría de las impurezas del papel recuperado procesado terminan como residuos. Los principales materiales de desecho son rechazos, diversos tipos de lodo y - en caso de que de la incineración in situ de los residuos - cenizas. Las fuentes principales de los residuos sólidos en fábricas de papel a base de FRC son la preparación de residuos, la clarificación del agua de proceso y el tratamiento de aguas residuales. Según las materias primas usadas, el diseño del proceso y el tipo de tratamiento de las aguas de proceso y aguas residuales, se generan distintas cantidades y calidades de residuos (rechazos, lodo). Los residuos deben ser manipulados y tratados (espesados y deshidratados) para generar un residuo con un elevado contenido de materia seca. En la Tabla 5.13 y la Tabla 5.14 se detallan los contenidos de materia seca alcanzables para rechazos y lodos.

Máquina de manipulación de rechazos aplicada	Prensa hidráulica de rechazos	Prensa neumática de rechazos
Contenido de materia seca alcanzable a contenido de fibras < 70% contenido de fibras < 30%	hasta 65 % aprox. 70 %	55 - 58 % 60 63 %
Consumo de energía [kWh/t]	15 - 20	8 - 12

Tabla 5.13: Contenido de materia seca alcanzable para rechazos, y consumo de energía correspondiente para distintos contenidos de fibra [Datos de un proveedor de maquinaria]

Máquinas de manipulación de lodos aplicadas	Prensa de tela incluido pre-espesamiento	Presa de tornillo incluido pre-espesamiento
Contenido de materia seca alcanzable a contenido de ceniza < 50% contenido de ceniza > 50%	hasta 55 % hasta 60 %	hasta 65 % hasta 70 %
Consumo de energía [kWh/t] (incl. pre-espesamiento)	10 - 15	18 - 20

Tabla 5.14: Contenido de materia seca alcanzable para rechazos, y consumo de energía correspondiente para distintos contenidos de ceniza [Datos de un proveedor de maquinaria]

Los residuos pueden subdividirse de forma general en rechazos pesados y gruesos, rechazos ligeros y finos, y lodo. Según su origen y naturaleza, el lodo puede subdividirse a su vez en lodo de destintado, lodo de las unidades de microflotación de la clarificación del agua de proceso y el lodo del tratamiento de aguas residuales (lodo primario, exceso de lodo del tratamiento biológico). El contenido de materia seca alcanzable después de la deshidratación y espesamiento es del 60-80% para rechazos gruesos, del 50-65% para rechazos finos y de alrededor del 60% para lodo.

La cantidad de residuos en fábricas de papel a base de FRC depende de la calidad del papel recuperado usado como materia prima y del esfuerzo y gasto realizados en la preparación de las fibras secundarias para un determinado producto, así como de los requisitos de proceso. En la Tabla 5.15 se indican las cantidades medias de residuos en función de la entrada de materia prima para las principales calidades de papel producido y recuperado.

			Rechazos		Lodo		
Producto	Calidad del papel recuperado	Pérdidas totales	Gruesos/ Pesados	Finos/ Ligeros	Destintado	Clarificación de aguas de proceso	Aguas residuales
Papeles gráficos	Papel prensa, revistas Altas calidades	15-20 10-25	1-2 < 1	3-5 < 3	8-13 7-16	2-5 1-5	≈ 1
Papel tisú	Papel recuperado de oficina, papel de archivos, calidades normal y media	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25	≈ 1
DIP comercial	Papel recuperado de oficina	32-40	< 1	4-5	12-15	15-25	≈ 1
Testliner /papel ondulado	Restos de papel de centros comerciales,	4-9	1-2	3-6	----	0-(1)	≈ 1
	papel recuperado doméstico, calidades kraft	3-6	< 1	2-4	----	0-(1)	
Cartulina	Restos de papel de centros comerciales, papel recuperado doméstico	4-9	1-2	3-6	----	0-(1)	≈ 1

Tabla 5.15: Cantidad de residuos en relación con la entrada de materia prima [%] según las calidades de papel recuperado y producido. Según [Borschke, 1997]. La cantidad de lodo del tratamiento de aguas residuales se estima suponiendo un exceso de lodo de 0,6 kg/kg DBO₅ eliminado (como materia seca) generado durante el tratamiento, lo que es una cifra común para plantas de lodo activado. Así, según la calidad del papel recuperado y el diseño del proceso, cabe esperar unos 10 kg de exceso de lodo del tratamiento biológico por tonelada de papel (como materia seca).

Rechazos

Los rechazos son impurezas en el papel recuperado y consisten principalmente en grumos de fibras (haces), grapas, y metales de carpetas de anillas, arena, vidrio y plásticos. Los rechazos se retiran en el máximo porcentaje posible y en la etapa lo más temprana posible de la preparación de pasta. Los rechazos constituyen aproximadamente un 6,5% del papel recuperado comprado y no tienen ningún potencial de reciclaje, y así que se desechan o se incineran. Si los residuos concentrados se incineran en una planta de incineración medioambientalmente compatible, como una caldera de lecho fluidizado que genere vapor para el consumo de la fábrica, el residuo se reduce a ceniza, que puede ser utilizada en el sector de la construcción o ser desechada. Sin embargo, que la reutilización de las cenizas producidas por la incineración sea factible depende de la demanda del mercado para este material. La incineración in situ de los rechazos es sólo aplicable en fábricas grandes que generan cantidades elevadas de residuos sólidos. En la Tabla 5.16. se indica una composición típica de los rechazos del proceso de papel recuperado (diferencias en materias primas y productos).

Parámetro	Porcentaje de las fracciones simples [%] ¹⁾	Valores medios de una sola fábrica
Contenido de agua	45 %	33,3 %
Plásticos	25,9 %	
Fibra	27 %	
Vidrio y piedras	0,11 %	
Metales	0,88 %	
Sustancias orgánicas	1,05 %	
Cl – contenido de los plásticos	5,45 %	
Cl – contenido relativo al combustible	1,43 %	1.21
Valor calorífico H _U (100 % DS)	23800 kJ/kg	25335
Valor calorífico H _U (55 % DS)	11991 kJ/kg	12828 kJ/kg
Notas:		
1) Media de 18 muestreos simples en fábricas de papel a base de FRC en Alemania		

Tabla 5.16: Composición de los rechazos del proceso de papel recuperado para papel ondulado (4-6% de rechazos). Calidades de los papeles recuperados procesados: principalmente "papel recuperado recogido" de procedencia doméstica y comercial, así como residuos de cartón corrugado.

Lodos de la clarificación del agua de proceso (residuo de papel)

Estos tipos de lodos se generan principalmente en la recuperación de fibra en los circuitos de agua blanca, y en la unidad de tratamiento mecánico de la planta de tratamiento de aguas residuales. El residuo de papel consiste sobre todo en fibras y cargas (ambos alrededor de un 50%) dependiendo del papel recuperado que se procese. En la industria del cartón y para la producción de papel ondulado se suele reciclar al proceso. Para los productos de alta calidad, el residuo de papel no cumple los requisitos de calidad para reciclar y se incinera o se desecha. Si hay un proceso de destintado previo, el lodo puede contener una cierta cantidad de tintas y partículas de pigmentos. La recuperación de fibra contribuye a reducir al mínimo la cantidad de

Parámetro	Unidad	Rango de valores
Contenido materia de seca	%	29,4 – 52,7
Sólidos volátiles	% MS	25,5 – 76,1
Plomo	mg/kg MS	10 - 210
Cadmio	mg/kg MS	0,01 – 0,98
Cromo _{total}	mg/kg MS	8,8 - 903
Cobre	mg/kg MS	19,9 - 195
Níquel	mg/kg MS	< 10 – 31,3
Mercurio	mg/kg MS	0,1 – 0,89
Zinc	mg/kg MS	34,2 - 1320

Tabla 5.17: Composición del lodo de la recuperación de fibra y del tratamiento quimicomecánico del agua residual. Sinopsis de los resultados completos del análisis químico de residuos sólidos de la fabricación de papel realizado en PTS en Alemania, publicado en [Solid waste handbook, 1996]

residuos. En la Tabla 5.17 se indica la composición típica del residuo de papel de la recuperación de fibra y el tratamiento mecánico de las aguas residuales.

Lodos de destintado

Este residuo contiene principalmente fibras cortas, estucos, cargas, partículas de tinta, sustancias extractivas y aditivos de destintado. Las partículas de tinta son una fuente potencial de metales pesados, pero como se muestra en la Tabla 5.18, el contenido típico de contaminantes del residuo de destintado tiene cargas de contaminantes comparables a las del lodo de las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales, con valores levemente más altos para algunas sustancias como cobre y zinc. Hay variaciones relativamente significativas en el contenido de contaminantes del papel recuperado, y por lo tanto en el lodo de destintado.

Componente	Unidad	Contenido por kg de materia seca			
		Lodo de destintado [1]	Lodo de destintado [2]	Lodo de destintado [3]	Lodo de tratamiento de aguas residuales [1]
Cadmio (Cd)	mg	< 0.1	< 0.67	0.02 - 1.54	< 0.1
Mercurio (Hg)	mg	< 0.1	0.08	0.1 - 0.89	< 0.1
Cobre (Cu)	mg	350	238	64.2 - 345	40
Zinc (Zn)	mg	350	141	34.2 - 1320	250
Plomo (Pb)	mg	35	41	9.5 - 79.4	30
Níquel (Ni)	mg	5	5.7	< 10 - 31.3	10
Cromo (Cr)	mg	20	24(Cr _{total})	4.8 - 96.6	10
PCB's	µg	95	n.d.	< 300	5
Clorofenoles	µg	75	n.d.	n.d.	120
Sólidos volátiles	%MS	n.d.	33.2	32.7 - 63.6	48
Notas: [1] = Dutch note on BAT, 1996; [2] = Muestreo representativo de una fábrica de papel alemana, [3] = Sinopsis de los resultados completos del análisis químico de residuos sólidos de la fabricación de papel realizado en PTS en Alemania, publicado en Solid waste handbook, 1996; n.d. = no determinado					

Tabla 5.18: Contenido típico de contaminantes del lodo de destintado de fábricas de papel a base de FRC en comparación con el lodo de EDAR municipales.

El lodo de destintado se suele desechar o incinerar. La ceniza puede tener aplicación para materiales de construcción.

Lodos de tratamiento de aguas residuales

Estos lodos se generan en las unidades biológicas de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales, y se reciclan al producto (papel y cartón corrugado) o se espesan, se deshidratan y luego se incineran (in situ o externamente) o se desechar.

En muchos Estados Miembros el desecho de residuos con alto contenido orgánico es desaconsejado por los gobiernos y se prohibirá en un futuro próximo. La Directiva de la UE sobre el desecho en vertedero de residuos reforzará esta tendencia a fijar objetivos para reducir la cantidad de basura (municipal) biodegradable enviada a los vertederos. La composición típica y el potencial de contaminación del lodo del tratamiento biológico de aguas residuales se indican en la columna derecha de la Tabla 5.18 y de la Tabla 4.8.

5.2.2.7 Emisiones a la atmósfera

Emisiones a la atmósfera de la generación de energía

Las emisiones a la atmósfera de las fábricas de papel y cartón tienen su origen principalmente en la generación de energía (vapor y electricidad) y no en el proceso de fabricación en sí mismo. Los principales contaminantes en caso de combustión de gas son CO₂ y NO_x, y en caso de combustión de fuel-oil o carbón, CO₂, NO_x, SO₂, polvo y concentraciones bajas de metales

pesados. Estas emisiones ocurren durante el proceso de generación de energía. El vapor se genera normalmente en las fábricas de papel en calderas específicas, así que las emisiones se producen in situ. En muchos casos la electricidad se contrata de la red, así que las emisiones se producen en la central eléctrica. La relación de consumo de electricidad / vapor en las fábricas de papel permite la cogeneración de calor y energía (CHP). Muchas fábricas de papel aplican CHP y entonces todas las emisiones a la atmósfera asociadas con el consumo de energía se producen in situ. Las emisiones típicas de las instalaciones in situ para la cogeneración de calor y electricidad se presentan en la sección 5.3.9 y, para la generación del vapor por combustión de diversos tipos de combustibles (gas, carbón, fuel-oil), en la Sección 6.3.15.

Solamente en algunos casos especiales, pueden producirse emisiones (medidas como carbón orgánico) de la sección del secador de la máquina de papel. Si es así, son causadas por el uso de aditivos (productos químicos de estucado) o por circuitos de agua y plantas de tratamiento de aguas residuales mal diseñados, pero en la mayoría de casos son insignificantes. Por lo tanto, las emisiones atmosféricas de las fábricas de papel se relacionan principalmente con la producción de energía.

Emisiones a la atmósfera de la incineración in situ de lodo o rechazos (opcional)

El proceso de papel recuperado y la fabricación de papel generan una serie de residuos con un alto contenido orgánico (ej: papel, rechazos, lodo de destintado y lodo biológico). Antes, estos residuos se desechaban en vertedero, pero un número creciente de empresas incinera sus rechazos y lodos en plantas de incineración in situ, que generan el vapor usado en los procesos de producción. La incineración se asocia con emisiones a la atmósfera. En la Tabla 5.19 se recopilan ejemplos de emisiones medidas de la incineración de diversos tipos de residuos de fábricas de papel a base de FRC. Estos valores incluyen los agentes contaminantes más relevantes que cabe esperar.

Olor de vapores y de la planta de tratamiento de aguas residuales (local)

Pueden producirse problemas locales con el aire debido al olor y al polvo grueso. No se identificarán medidas de MTD para los mismos, ya que se trata de aspectos locales.

Especialmente en el caso de cierre de los circuitos de agua por debajo de un consumo de agua de unos 4 m³/t, los olores causados por ácidos orgánicos bajos y H₂S pueden ser percibidos en la vecindad de las fábricas de papel. Sin embargo, también en las fábricas de papel con menos cierre de los circuitos de agua pueden producirse olores molestos. Pueden ser causados por tiempos de retención demasiado largos del agua de proceso en el sistema de agua (conductos, recipientes, etc.) o depósitos del lodo que causan la acumulación de sulfuro de hidrógeno. En tal caso, pueden evitarse mediante medidas apropiadas de ingeniería de proceso. La planta de tratamiento de aguas residuales de las fábricas de papel a base de FRC puede también emitir cantidades significativas de olores. Si el tratamiento de aguas residuales está bien diseñado y controlado, los olores molestos pueden ser evitados.

Polvo grueso de la manipulación de materia prima (local)

El papel recuperado se almacena en los almacenes de papel recuperado, integrados en la fábrica de papel. Durante el transporte del papel reciclado al pulper puede generarse polvo, especialmente cuando el papel recuperado se suministra como material suelto en contenedores grandes o en descargas a granel. El control de este polvo es más bien una cuestión de seguridad industrial que de protección del medio ambiente. No se tratará más aquí.

Parámetro	Unidad	Valores medidos ⁶ (cifras medias para 1997) Rechazos de una fábrica de papel de embalaje a base de FRC (sin destintado) *	Valores medidos ⁷ (cifras medias diarias para 01-09/ 1997) Rechazos de una fábrica de papel prensa a base de FRC con destintado **	Valores límite según la normativa alemana (valores medios diarios) ***
Polvo	mg/Nm ³	3,2	6,6	10,0
SO ₂	mg/Nm ³	26,0	1,2	50,0
NO _x	mg/Nm ³	195	'95: 271; '96: 227; '97: 176	200
CO	mg/Nm ³	14,1	14	50,0
HCl	mg/Nm ³	1,7	2,6	10,0
HF	mg/Nm ³	0,06	No hay datos (n.d.)	1,0
Total-C	mg/Nm ³	1,4	1.1	10,0
Cd, TI	µg/Nm ³	< 17,0	(n.d.)	50,0
Hg	µg/Nm ³	5	(n.d.)	50,0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm ³	71,0	(n.d.)	500
Dioxinas/Furanos	ng I-TE/Nm ³	0,097	(n.d.)	0,1
<p>Notas explicativas:</p> <p>Todos los valores se refieren a condiciones estándar y contenido de oxígeno de un 11% en volumen.</p> <p>* Datos de emisiones de la incineración de rechazos en una planta de combustión de solera múltiple; la purificación de los gases de combustión está equipada con un lavador húmedo de dos etapas para la eliminación de los contaminantes ácidos, principalmente SO₂ y HCl. Para minimizar las emisiones de dioxinas, se inyecta una mezcla de carbón activado y zeolita en la corriente de gas de combustión reciclado. La reducción de las emisiones de NO_x se consigue mediante SNCR con amoníaco, que se inyecta en la cámara de combustión. Las emisiones de polvo se reducen mediante un precipitador electrostático.</p> <p>** La reducción de NO_x se ha conseguido mediante SNCR con inyección de amoníaco; las emisiones de polvo se reducen mediante el uso de filtros de bolsa.</p> <p>*** Según la Seventeenth Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act (Orden sobre Incineradores de Residuos y Material Combustible similar), de 23 de noviembre de 1990.</p>				

Tabla 5.19: Datos de emisiones medidas de la incineración de residuos y lodos de dos fábricas alemanas de papel a base de FRC. La columna izquierda hace referencia a valores medios medidos de una fábrica de papel de embalaje a base de FRC (sin destintado). La columna derecha muestra los valores medidos de la incineración de distintos tipos de lodos de una planta con destintado (lodo del tratamiento de agua cruda y aguas residuales, lodo de la clarificación del agua de proceso y lodo de destintado) antes y después de aplicar medidas para la reducción de NO_x. Los valores se comparan con las normas legales alemanas

5.2.2.8 Ruido de las máquinas de papel (local)

En la vecindad de la fábrica, las máquinas de papel pueden producir molestias debido al ruido. Muchas fábricas han adoptado medidas para reducir la producción de ruido. Para más detalles sobre los niveles de ruido de las máquinas de papel, ver 6.2.1.8.

Además de ruido, en ocasiones se producen vibraciones (de bajo nivel) que pueden originar molestias a nivel local.

⁶ Ver Sección 5.3.11, ejemplo 1.

⁷ Declaración Medioambiental de 1997, Sachsen Papier Eilenburg GmbH.

5.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

En este apartado se incluyen todas las técnicas **relevantes** disponibles comercialmente en la actualidad para la prevención o la reducción de emisiones y residuos, así como para reducir el consumo de energía y de materias primas, para instalaciones nuevas y existentes. "Técnicas a considerar en la determinación de las MTD" significa alternativas técnicas con el mejor comportamiento medioambiental y económico, o posibilidades de mejora para alcanzar la prevención y control integrados de la contaminación.

Estas técnicas cubren medidas de proceso y también tecnología de final de línea (end of pipe). Sin embargo, hay una cierta superposición entre las soluciones de proceso descritas más abajo y las medidas de control externas. Esta lista de técnicas no es exhaustiva y puede ampliarse en una revisión de este documento.

En la descripción de las técnicas se detallan las ventajas y las desventajas de su puesta en práctica. Las descripciones se estructuran todas del mismo modo, es decir, para cada técnica se presenta una descripción, los principales niveles de emisión alcanzados, su aplicabilidad, efectos sobre otros medios, economía, datos operativos, plantas de referencia y bibliografía.

Algunas medidas descritas en este apartado son solamente válidas para calidades específicas de papel a base de fibras recuperadas, es decir, papel recuperado sin destintar, mientras que otras son aplicables independientemente de la calidad de papel producida. Lo primero se denotará, de lo contrario se considera que las medidas hacen referencia al proceso de papel recuperado en general.

Las plantas de papel recuperado, con muy pocas excepciones, están integradas con una fábrica de papel. Por lo tanto, hay una cierta superposición entre la preparación de pasta de papel recuperado por una parte, y la fabricación de papel y los procesos asociados por otra. En estos casos se hará referencia a los capítulos respectivos.

Por último, muchas de las medidas y principios para la mejora pueden aplicarse tanto a fábricas de papel recuperado como a fábricas de papel a partir de fibras vírgenes. En estos puntos se harán referencias cruzadas para evitar repeticiones innecesarias y para mostrar las semejanzas y diferencias entre la producción de diversas calidades de papel.

En la Tabla 5.20 se recopila un resumen de técnicas para la reducción de las emisiones de proceso de papel recuperado. Se ha intentado indicar los posibles efectos sobre otros medios de cada técnica en la misma tabla. Puede concluirse que no es tarea fácil describir los efectos sobre otros medios de un forma que no cause ningún conflicto. Hay muchas "zonas grises" en la evaluación de los efectos sobre otros medios. Además, pueden depender de otras técnicas, que pueden estar ligadas a una medida dada, a la referencia con la cual se compara una técnica y también al límite del sistema considerado. Por lo tanto, la evaluación cualitativa de los efectos sobre otros medios debe tomarse solamente como ayuda para los operarios o inspectores acerca de los efectos secundarios que podría producir una medida, y no es más que un punto de partida a la hora de considerar posibles desplazamientos de la contaminación. Los resultados de la evaluación no deben considerarse como imperativos. Además, la prevención y las medidas de control pueden evitar algunos de ellos. Los párrafos correspondientes bajo la discusión detallada de cada técnica proporcionan más explicaciones. La tabla puede también indicar a qué medios ambientales (agua, aire, residuos, energía) está dirigida una medida.

En las filas de la Tabla 5.20 se detallan las técnicas individuales disponibles. En las columnas, la tendencia de los efectos causados por diversas técnicas sobre las emisiones, el consumo de materias primas y el funcionamiento de la fábrica se indican de forma cualitativa usando flechas hacia arriba "↑" y hacia abajo "↓". Las flechas hacia abajo "↓" indican ahorro de materias primas o de energía y una reducción de emisiones en los diversos medios, agua, atmósfera y

suelo. Las flechas hacia arriba "↑" indican un aumento de emisiones, del consumo y de los impactos sobre el proceso de producción. Algunas de las medidas para la prevención y el control de la contaminación presentadas en esta sección afectan a más de un medio ambiental (como agua, atmósfera o suelo) a la vez. Algunas técnicas pueden tener un impacto positivo y/o negativo en otros medios ambientales o sobre el consumo de materias primas y energía (efectos sobre otros medios). Los efectos dados serán observados usando las flechas. Una flecha entre paréntesis "(↑)" indica sólo un ligero aumento – a menudo despreciable – del consumo de energía, del consumo de materias primas o de las emisiones al medio ambiente al aplicar una determinada medida. Los aspectos económicos (inversiones, costes operativos) no se incluyen en la tabla pero se explican en el texto. Los datos sobre economía pueden dar solamente una idea general e indicar los niveles de costes. Variarán con el diseño del conjunto de la planta y dependerán entre otros del tamaño de la fábrica y del acoplamiento de una medida con el resto del equipo de la fábrica.

Cada técnica incluye una marca de referencia, que ayuda a identificar la sección correspondiente del texto en la que cada técnica individual se discute en detalle.

Técnicas a considerar en la determinación de las MTD	Efectos de los niveles de consumos y emisiones (efectos sobre otros medios)					
	Consumo prod. químicos	Consumo energía (E) y agua (A)	Emisiones al agua	Emisiones a la atmósfera	Residuo sólido	Aplicabilidad
5.3.1 Separación del agua menos contaminada de la más contaminada y reciclaje	(↓)	↓	(↓)	0	0	Todas las calidades
5.3.2 Gestión optimizada del agua (circuitos de agua) y clarificación del agua	(↓)	↓	↓	0	(↓)	Todas las calidades
5.3.3 Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación estricta de los circuitos de agua	0	↓	(↓)	0	0	Todas las calidades
5.3.4 Circuito cerrado de agua con tratamiento biológico del agua de proceso en línea	0	(↓)	↓	0	(↓)	"calidades marrones"
5.3.5 Técnicas anaerobias como primera etapa del tratamiento biológico de aguas residuales	0	↓ E	↓	(↓)	↓	"calidades marrones"
5.3.6 Tratamiento biológico aerobio de aguas residuales	(↑)	↑ E	↓	0	↑	Todas las calidades
5.3.7 Mejora de las plantas de preparación de pasta para menor consumo de energía y emisiones	0	(↓↑) según el concepto elegido	0	0	(↓↑)	"calidades marrones"
5.3.8 Producción de agua clarificada para plantas de destintado	(↑)	(↑)	(↓)	0	(↑)	Calidades destintadas
5.3.9 Cogeneración de calor y electricidad	0	↓	0	0	0	Todas las calidades
5.3.10 Manipulación de rechazos y lodo y proceso in situ (deshidratación)	↑	(↑)	0	0	0	Todas las calidades
5.3.11 Uso y desecho ecológico de residuos	0	↓	(↓)	(↑)	↓	Todas las calidades
Ejemplo 1 Aprovechamiento energético de rechazos de fábricas de FRC sin destintado en plantas de incineración de rechazos	↑	(↓)	0	(↑)	↓	Principalmente "calidades marrones"
Ejemplo 2 Co-incineración de rechazos de fábricas de FRC sin destintado, en plantas de energía con combustión a carbón	0	↓	0	(↑)	↓	Principalmente "calidades marrones"
Ejemplo 3: Incineración de residuos (rechazos y lodo) de plantas de DIP en combinación con generación de electricidad y vapor						Principalmente "calidades blancas"
Notas: ↑ = aumento; ↓ = disminución; 0 = sin efecto (o despreciable); (↑) o (↓) = baja influencia según las condiciones						

Tabla 5.20: Resumen de las técnicas a considerar en la determinación de las MTD para plantas de proceso de papel recuperado; se indican asimismo las implicaciones sobre otros medios y una nota sobre su aplicabilidad

5.3.1 Separación del agua menos contaminada de la más contaminada y reciclaje de esta agua de proceso

Descripción de la técnica: Esta medida es parte de la gestión optimizada del agua en las fábricas de papel. La gestión del agua en las fábricas de papel es una tarea compleja que tiene muchos aspectos. De forma general, a continuación se resumen los principios básicos de medidas internas que reduzcan el consumo y las descargas de agua fresca de las fábricas de papel recuperado (estanqueidad del sistema). En cada caso se hace referencia a las secciones del documento en las que se da una información más detallada.

- Uso de técnicas adecuadas para separar el agua menos contaminada del agua de proceso contaminada. Las medidas a considerar son la separación y la reutilización del agua de refrigeración y la reutilización de las aguas menos contaminadas de sellado y de proceso usadas en sistemas de vacío. Esta medida se discute posteriormente.
- Reducción del consumo de agua fresca mediante el reciclaje del agua blanca en diversos puntos según las calidades de agua requeridas. Los puntos de proceso con interés especial para reducir el consumo de agua fresca son la dilución de materias primas y cargas, la dilución de las ayudas de proceso y de producto, el sistema de agua de duchas, el sistema de vacío y el agua de sellado para bombas y agitadores (ver Sección 5.3.2 y Sección 6.3.1)
- Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación estricta de los circuitos de agua junto con flujos a contracorriente (ver Sección 5.3.3).
- Generación de agua clarificada a partir del agua blanca como sustituto para el agua fresca, que generalmente se realiza en la unidad de recuperación de fibra por medio de tamices de arco, filtros multidisco (ver Sección 6.1.3) o de flotación por aire disuelto (ver Sección 5.3.8).
- Medidas para paliar los posibles efectos negativos del aumento en el reciclado del agua de proceso (ver Sección 6.3.2).
- En algunos casos se aplica la purificación ulterior del agua blanca clarificada (ver Sección 6.3.3). Esta agua cumple requisitos de calidad relativamente altos.

La separación de aguas de refrigeración limpias de los efluentes de proceso y su reutilización para otros propósitos son formas de reducir el consumo de agua fresca. Por protección, se recomienda un microtamiz u otro filtro con el fin de eliminar los sólidos. Si hay fracciones de agua de refrigeración que se descargan al alcantarillado, debe evitarse su mezcla con las aguas de proceso contaminadas, a fin de asegurar la eficacia del tratamiento de aguas residuales y reducir los costes de tratamiento.

El equipo más común para la producción de vacío, la bomba de anillo líquido, consume agua de sellado y de proceso a una velocidad de alrededor de 1 l/min por kW instalado [tm 007, JP 1994]. La potencia instalada para un sistema de vacío en una máquina grande de papel prensa puede llegar a ser de 3000 kW. Esto daría lugar a un consumo de agua de sellado y de proceso de unos 7 m³/t para la máquina de papel prensa. El agua de sellado estará contaminada con fibras, y la temperatura aumentará al pasar por la bomba de anillo líquido. La necesidad de agua fresca como agua de sellado y de proceso de las bombas de anillo líquido puede reducirse mucho reciclando el agua de las bombas a través del intercambiador de calor o de la torre de refrigeración. Esto es común en muchas fábricas de papel europeas. El agua de proceso para la bomba de anillo debe clarificarse a veces, por ejemplo mediante un tamiz de arco, antes de su entrada en el intercambiador de calor. También puede ser necesario controlar el valor de pH en el circuito de recirculación.

Puede ser necesario el aumento de la capacidad de almacenaje de agua de proceso para evitar desbordamientos innecesarios de agua reciclada cuando hay una parada u otra situación de desequilibrio en el procesado de la pasta. El aumento de capacidad implica generalmente la instalación de tanques, conductos y bombas adicionales.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: medida integrada en el proceso. La separación y reutilización de las aguas de refrigeración limpias y de las aguas de los sistemas de vacío y de sellado puede realizarse en fábricas existentes y nuevas. La separación y reutilización de aguas de refrigeración limpias de los efluentes de proceso es relativamente fácil de realizar en instalaciones nuevas, pero más complicada de aplicar en plantas existentes. Sin embargo, es común la separación del agua de refrigeración y su reciclaje después de enfriarse. Lo mismo es válido para la recirculación de aguas de sellado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la medida tiene un efecto significativo en la reducción de los requisitos de agua fresca y la descarga de aguas residuales. En fábricas existentes puede alcanzarse una reducción del consumo de agua fresca de 10-15 m³/ADt de aguas de refrigeración. La separación del agua de refrigeración usada de los efluentes contaminados de la máquina de papel puede reducir la carga hidráulica al tratamiento de efluentes externo.

Mediante la recirculación apropiada del agua de sellado es posible reducir el consumo agua fresca para las bombas de anillo líquido a $< 1 \text{ m}^3/\text{t}$. Al mismo tiempo es posible recuperar parte de la energía si se utilizan intercambiadores de calor.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes sobre el medio ambiente. Pueden conseguirse algunos ahorros de energía.

Experiencias operativas: la separación y reciclaje del agua menos contaminada de la contaminada es práctica común en muchas fábricas europeas, aunque el grado de recirculación varía.

Economía: el reciclaje de aguas de refrigeración y sellado requiere normalmente inversiones adicionales en conducciones, bombas y filtración del agua. El aumento de la capacidad de almacenaje de agua implica generalmente la instalación de tanques adicionales. No se dispone de datos sobre costes específicos.

Además de los costes para poner en práctica las medidas descritas, cabe esperar ahorros de costes como por ejemplo menores costes de agua bruta (tratamiento) y menor consumo de energía.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la reducción del agua fresca por la recirculación del agua menos contaminada es una medida razonable desde un punto de vista económico. La descarga de las fracciones menos contaminadas del agua de refrigeración y sellado junto con el agua de proceso contaminada se desaconseja en muchos países.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa

Bibliografía:

[CEPI, 1997], [J. Pöyry, 1994b]

5.3.2 Gestión optimizada del agua (diseño de los circuitos de agua) y clarificación del agua

Descripción de la técnica: Los circuitos del agua en la producción del papel están diseñados generalmente para un consumo mínimo de agua fresca. En los actuales sistemas de circuitos de agua, el agua de proceso se reutiliza varias veces, como se muestra en la Figura 5.10.

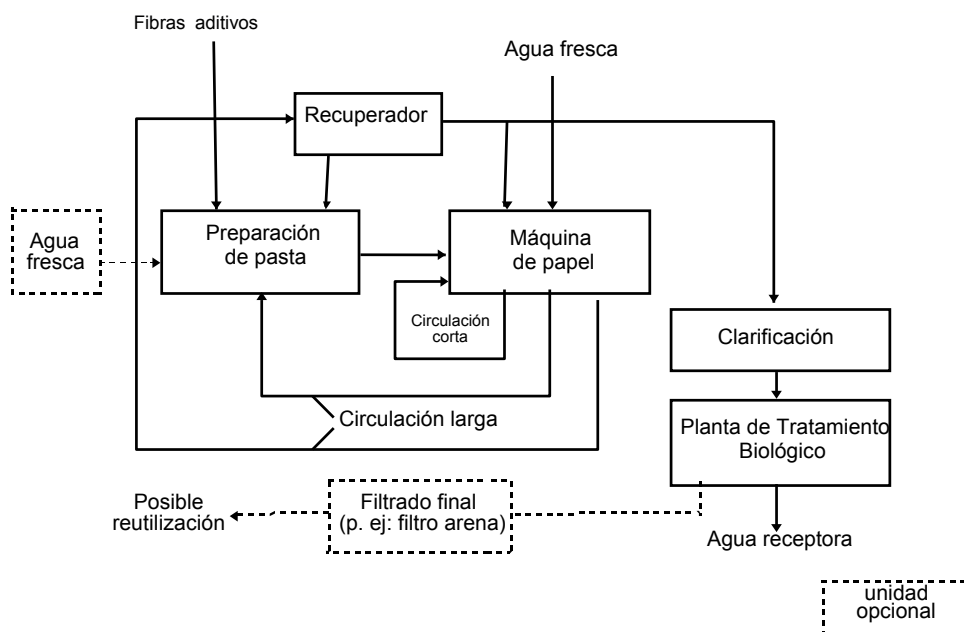


Figura 5.10: Esquema de circuitos de agua en fábricas de papel [ISP, 1998; modificado por EIPPCB]

El principio principal de la reutilización del agua de proceso es el flujo de agua de proceso a contracorriente del flujo de la fibra. Todas las fábricas de papel utilizan el agua blanca sin tratar, enriquecida con fibra de la máquina de papel, para la dilución de la pasta en la tina de mezcla antes de la máquina de papel (circulación corta o circuito primario) o en la preparación de pasta (circulación larga o circuito secundario).

Parte del agua blanca se clarifica en recuperadores de fibras (ver Sección 6.1.3) que aplican filtración (filtros multidisco, filtros de tambor), flotación (flotación por aire disuelto, DAF) o sedimentación (embudos de sedimentación, separadores laminados). El agua clarificada es luego reutilizada en sustitución del agua fresca, por ejemplo, en las duchas usadas para limpiar las telas de la máquina (telas metálicas, fieltros). El exceso del agua de proceso clarificada se descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos las aguas residuales purificadas se reutilizan en parte como agua de proceso, como por ejemplo en la fabricación de papel ondulado y testliner a base de FRC y en menor medida de papel prensa a base de FRC.

Puede alcanzarse un consumo minimizado de agua fresca en la producción de papel ondulado y testliner, del orden de 4 a 7 m³ de agua fresca por tonelada de papel producida. Algunas fábricas europeas funcionan incluso con un sistema de agua totalmente cerrado. El consumo de agua fresca en estas fábricas se sitúa entre 1,0 y 1,5 m³/tonelada de papel producida. Esto corresponde al volumen del agua que se evapora en la sección del secador de la máquina de papel.

En muchas fábricas de papel, el agua fresca se utiliza solamente para la dilución de aditivos químicos y en los puntos de la máquina de papel donde es necesaria una alta calidad del agua exenta de sólidos, como por ejemplo los tubos de rociado y los rociadores de borde.

No obstante, el cierre del sistema de agua de proceso ofrece ventajas y desventajas. Un mayor cierre del sistema de agua conduce a una carga considerable del agua de proceso con compuestos orgánicos e inorgánicos coloidales y disueltos que pueden causar problemas serios en el proceso de producción si no se toman medidas de control para evitar los posibles inconvenientes (ver 6.3.2). La Tabla 5.21 resume algunas de las ventajas y desventajas del cierre del sistema del agua.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - menor consumo de agua - menor extracción de agua del subsuelo - menor tratamiento previo del agua fresca - menor descarga de aguas residuales - aumento de producción no perjudicado por el tratamiento de final de línea (end of pipe) - menores pérdidas de fibras y cargas - mayor temperatura de proceso —> mejora de la deshidratación de la hoja continua de papel en la tela - reducción de la demanda energética 	<ul style="list-style-type: none"> - acumulación de sólidos (en suspensión) - acumulación de sustancias orgánicas e inorgánicas - procesos más complicados - problemas de corrosión - mayor uso de aditivos - atascos del equipo - problemas relativos a la calidad del producto - formación de incrustaciones y limos - aumento de la temperatura del agua de proceso (también puede ser una ventaja, ver columna izquierda)

Tabla 5.21: Algunas ventajas y desventajas del cierre de los sistemas de agua en fábricas de papel [Dutch notes on BAT, 1996]

En los sistemas de agua totalmente cerrados (solamente aplicables para la producción de testliner y papel ondulado) puede ocurrir otros problemas serios que deben ser controlados:

- Disminución significativa del contenido de oxígeno del agua de proceso acercándose a condiciones anaerobias asociadas con una reducción inducida microbiológicamente del sulfato a sulfuro de hidrógeno y la formación de ácidos grasos de bajo peso molecular y fuerte olor.
- Crecimiento intensificado de microorganismos.
- Corrosión agresiva causada por la alta temperatura y el alto contenido de cloruros, sulfatos y ácidos orgánicos.
- Emisión considerable de compuestos orgánicos olorosos de la sección de sequería de la máquina de papel a los alrededores de la fábrica de papel.
- Peor calidad del papel producido, afectada por los compuestos olorosos.
- Mayor demanda de limicidas.

La mayoría de estos problemas ocurren a niveles de consumo del agua fresca por debajo de 4 - 7 m³/t de papel. Para controlar estos problemas serios, algunas fábricas que fabrican "papeles marrones" volvieron a abrir sus circuitos de agua ya cerrados y ahora están produciendo con un volumen pequeño de aguas residuales del orden de 2,5 a 5.0 m³/tonelada de papel producida.

Debido a requisitos ambientales locales, algunas fábricas de papel europeas aplicaron nuevos métodos a mitad de los años 90 para controlar las condiciones exigentes de sus circuitos cerrados de agua de proceso (ver Sección 5.3.4). Instalaron plantas de tratamiento en línea para reducir la carga orgánica del agua de proceso.

Para controlar todos los problemas descritos para cerrar los sistemas de agua y satisfacer los requisitos de calidad de papel, se suele considerar necesario un consumo de agua fresca de 4 a 7 m³/tonelada de papel producido. Esto corresponde a un volumen específico de aguas residuales de 2,5 a 5,5 m³/tonelada de papel producida. Debido a su adecuada relación DBO₅/DQO, las aguas residuales pueden tratarse muy eficazmente en plantas de tratamiento aerobias o combinadas anaerobias / aerobias (ver 5.3.5).

En fabricación de papel prensa a base de FRC (calidad destintada), los volúmenes más bajos de aguas residuales informados son de unos 7 m³/t y normalmente se sitúan en torno a 10 - 15 m³/t.

Aplicabilidad y caracterización: técnica integrada en el proceso. Para papel de embalaje "marrón" puede alcanzarse una reducción del agua fresca a un nivel de 4 a 7 m³/tonelada de papel producida en fábricas existentes y nuevas. Sin embargo, parece que este nivel sólo puede alcanzarse con un coste bajo en fábricas más bien nuevas o recientemente modernizadas. En

fábricas más antiguas que todavía tienen un alto consumo de agua fresca, la reducción puede causar problemas de corrosión, según la calidad de los materiales usados para las máquinas y los conductos. Además, las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes deben ser optimizadas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el cierre de los sistemas de agua genera menos aguas residuales, pero con un nivel creciente de contaminación orgánica en los circuitos de agua. Por ello, la tratabilidad de las aguas residuales puede mejorarse. Para testliner y papel ondulado, la reducción del consumo de agua fresca a un nivel de 4 a 7 m³/tonelada de papel producida aumenta la DQO del agua de proceso en un rango de concentración que es adecuado para un tratamiento anaerobio de aguas residuales, asociado con el beneficio de la generación de biogás. En plantas con destintado, el grado de cierre del sistema del agua es limitado debido a las características deseadas del papel (blancura, limpieza). Puede alcanzarse un caudal de aguas residuales reducido de unos 10 m³/t. Las aguas residuales son tratadas generalmente por sistemas aerobios (filtro de goteo o sistemas de lodo activado).

Monitorización de emisiones: los dispositivos de monitorización son medidores de caudal de la alimentación de agua fresca a la máquina de papel y medidas de turbidez para el agua blanca clara.

Efectos sobre otros medios: la reutilización intensificada del agua de proceso aumenta su temperatura. Por lo tanto, el consumo de vapor para calentar el agua de proceso puede verse reducido. Un consumo de agua fresca de 4 a 7 m³/tonelada de papel producida reduce al mínimo el riesgo de emisiones olorosas a través de la extracción de aire de la máquina de papel. La aplicabilidad de los métodos anaerobios de tratamiento de aguas residuales tiene como consecuencia una reducción de la demanda de combustible fósil para la fabricación de papel (ver Sección 5.3.5).

Datos operativos: es común la producción de papel ondulado y testliner con un consumo específico de agua fresca de 4 a 7 m³/tonelada de papel producida. Las experiencias demuestran que este orden de consumo de agua fresca no produce efectos negativos sobre la funcionalidad de las máquinas de papel y sobre la calidad del papel. Las experiencias son buenas incluso en fábricas existentes, y el diseño de las máquinas de papel actuales corrobora su aplicación. En Europa se hallan en funcionamiento una serie de plantas a plena escala productiva que fabrican papel ondulado con buenas calidades de producto.

Economía: la minimización del consumo de agua fresca reduce los costes de purificación del agua fresca y tratamiento de aguas residuales. Las medidas aplicadas dependen de las condiciones específicas en las fábricas de papel. Por consiguiente, no es posible indicar costes específicos. Es necesaria una capacidad suficiente para el almacenaje de aguas blancas.

Motivos principales de aplicación de la técnica: el cierre del sistema de agua es un requisito previo para un tratamiento eficaz de aguas residuales (bajos costes de inversión y de explotación y elevadas eficacias de eliminación). Los motivos principales para la puesta en práctica de medidas para reducir el consumo de agua fresca son los siguientes:

- Ahorro de costes de agua fresca (en algunos países)
- Ahorro de costes de purificación de aguas residuales
- Ahorro de costes por normativas sobre aguas residuales
- Condiciones medioambientales locales.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa funcionan con un consumo de agua fresca minimizado al nivel descrito.

Bibliografía:

[IFP, 1998], [Dutch notes on BAT, 1996], [Mönnigmann, 1996]

5.3.3 Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación estricta de los circuitos de agua junto con flujos a contracorriente (cierre de los circuitos de agua)

Descripción de la técnica: en el reciclaje del agua de proceso en las fábricas integradas de pasta y papel, es decir, casi todas las fábricas de papel a base de RCF, el principio básico es que el flujo de aguas blancas de la fábrica de papel a la fábrica de pasta debe realizarse a contracorriente del flujo de producto. En una fábrica integrada de pasta y papel, el departamento de pasta, el departamento de blanqueo (si existe) y la fábrica de papel tienen cada uno su propia circulación de agua blanca, de la cual el exceso de agua va hacia atrás al departamento anterior, donde la calidad del agua es menos exigente. El exceso de agua blanca de la máquina de papel se utiliza en lugar de agua fresca en el departamento de blanqueo, y el exceso de agua del departamento de blanqueo se utiliza en vez de agua fresca en la fábrica de pasta.

Con esta configuración pueden ahorrarse cantidades considerables de agua fresca. El agua fresca sólo se necesita fundamentalmente como agua de aporte en el circuito de la máquina de papel.

Sin embargo, en una fábrica de papel tisú a veces se requiere gran cantidad de agua fresca para el lavado eficaz de los fieltros de la máquina.

Es de gran importancia minimizar que el agua blanca vaya en la misma dirección que el flujo de producto, es decir, de la planta de blanqueo a la máquina de papel. Esto se consigue retirando toda el agua posible del flujo de fibra antes de que entre en el sistema de blanqueo, y otra vez antes de que entre en el sistema de la máquina de papel. De esta manera, el arrastre de compuestos que alteran el proceso a sistemas de agua de proceso relativamente limpios se reduce al mínimo.

La separación de los circuitos de agua se realiza con espesadores, como prensas de tornillo de deshidratación y los filtros prensa, o una etapa de lavado, es decir, un paso de espesamiento. La Figura 5.11 muestra la configuración propuesta para una fábrica de papel holandesa que ha investigado recientemente el potencial de cierre de los circuitos de agua. El espesador adicional conduce a una separación mejorada de la preparación de pasta "sucia" y de la máquina de papel "limpia", y por tanto una reducción significativa de las sustancias orgánicas que entran en el circuito de la máquina de papel.⁸

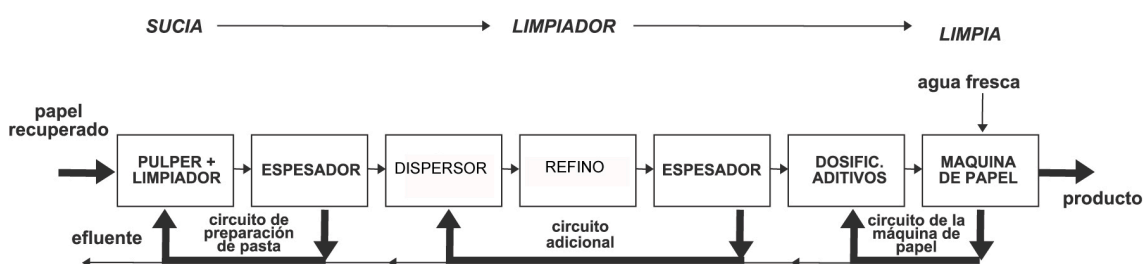


Figura 5.11: Esquema de los circuitos de agua en una fábrica de papel con separación de circuitos de agua y flujos a contracorriente. PP = Preparación de pasta; MP = máquina de papel [RIZA, 1997a]; En este ejemplo se ha calculado que la cantidad de DQO generada en la preparación de pasta que entra en el circuito de la MP puede reducirse en un factor entre 2 y 4

⁸ El factor en el que se reduce esta carga viene dado de forma aproximada por la relación entre el caudal que va de la preparación de pasta al circuito de la máquina de papel y el caudal total que entra en el circuito de la máquina de papel. Esta relación indica el grado en el que el caudal "sucio" se diluye en el caudal limpio de agua fresca.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: esta medida integrada en el proceso puede aplicarse en plantas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la reducción del consumo de agua fresca, la posible reducción de la carga de vertido de DQO y ningún aumento de concentración en el circuito de agua de la máquina de papel, mejorando con ello la operatividad del proceso. La tasa de reducción depende principalmente de la situación antes de las mejoras y del sistema de aguas residuales aplicado después. Las mejoras ambientales alcanzadas deben considerarse como inseparables del tratamiento de efluentes externo aplicado. La separación estricta de los circuitos de agua genera buenas oportunidades de tratamiento en línea, con el fin de eliminar las sustancias perturbantes (tratamiento denominado “riñon”). Para más información sobre el tratamiento “riñon”, ver 5.3.4, 5.5.4, 6.3.3 y 6.5.1.

Las medidas para la reducción de las emisiones a las aguas superficiales están a menudo estrechamente relacionadas con la reducción del agua fresca. El cierre del circuito de agua no reduce la carga de contaminación, sino que genera menos aguas residuales con niveles crecientes de contaminación. En consecuencia, la eficacia del tratamiento de aguas residuales puede mejorarse. Hay que tratar menos aguas residuales, y en general los caudales de aguas residuales pueden tratarse con más eficacia.

Recirculando aguas de proceso y aumentando la capacidad de almacenaje pueden reducirse las cantidades de aguas residuales, aunque no en la misma medida que recogiendo y separando las aguas de refrigeración limpias y cálidas.

Las ventajas de un consumo más bajo del agua fresca y del cierre de los circuitos de agua son las siguientes:

- Pueden conseguirse volúmenes más bajos al tratamiento de efluentes externo, es decir, a la planta de tratamiento, con menores capacidades hidráulicas y menores costes de inversión.. Los contaminantes están más concentrados en el efluente, lo que contribuye a menudo a mayores eficacias de eliminación.
- Menores costes de agua bruta.
- Menores pérdidas de fibras y cargas.
- Menor consumo de energía.
- Temperaturas más altas en los sistemas de agua, lo que produce una deshidratación más rápida en la tela de la máquina de papel.

La necesidad de agua fresca en una planta moderna de preparación de papel recuperado puede reducirse hasta aproximadamente 1 m³/tonelada. Por lo tanto, sólo alrededor del 10 % de la demanda total del agua fresca en una fábrica integrada de papel prensa a base de fibras recicladas (≈10 m³/tonelada) se consume en la planta de preparación de papel recuperado.

No obstante, en fábricas de papel tisú, en ocasiones se requiere mucha agua fresca para un lavado eficaz de los fieltros de la máquina de papel. En las fábricas a base de FRC sin destintado no se necesita agua fresca en la preparación de pasta.

Efectos sobre otros medios: la separación de los circuitos de agua mediante la inserción de espesadores conduce a un cambio considerable en la composición del circuito de agua de la máquina de papel por lo que respecta a los niveles de sustancias orgánicas e inorgánicas (ej: basura aniónica). Esto conducirá a un régimen de adición de productos variable en la parte húmeda que, a su vez, tendrá su efecto en los niveles de DQO. En ciertas aplicaciones, la inserción de un circuito de agua adicional puede reducir la temperatura en el circuito de la máquina de papel, por ejemplo cuando el circuito de la máquina de papel está separado del dispersor y del refino, que actúan como aparato de la calefacción para el agua de proceso (ver Figura 5.11).

Experiencias operativas: el principio básico, el flujo de agua blanca hacia atrás en el sistema, a contracorriente del producto, puede aplicarse sólo en fábricas integradas de pasta y papel / cartón. Las plantas de papel recuperado, con muy pocas excepciones, están integradas con una fábrica de papel. En la preparación de pasta, la limpieza del agua de proceso es menos crítica que en el agua blanca de la máquina de papel. Por lo tanto, la preparación de pasta utiliza en gran medida el exceso de agua blanca clarificada de la máquina de papel y agua blanca clarificada internamente.

Sin embargo, es necesario controlar las desventajas potenciales del cierre del sistema de agua (ver 6.3.2.), de lo contrario, la acumulación de sólidos en suspensión, así como de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el sistema de agua blanca puede causar efectos negativos (ver 5.3.3).

Economía: los costes de esta medida dependen del número y de la naturaleza de las reestructuraciones necesarias de los circuitos de agua, así como del tipo de instalación adicional requerida.

Motivo principal de aplicación de la técnica: el motivo principal para reciclar el agua de proceso es reducir la carga de aguas residuales de las plantas integradas a base de FRC. Una motivación local podría ser la reducción de la extracción de agua del subsuelo.

Planta de referencia: numerosas plantas en Europa

Bibliografía:

[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b], [RIZA, 1997a]

5.3.4 Circuitos de agua cerrados con tratamiento biológico del agua de proceso

Actualmente, esta técnica sólo se considera en la determinación de las MTDs para "papeles marrones" fabricados a base de papeles recuperados. Sin embargo, el principio básico, el tratamiento de una corriente parcial del proceso total mediante un sistema combinado físico y biológico, es de interés para muchas otras fábricas de papel. Las plantas de tratamiento de aguas de proceso pueden considerarse como "riñones" en los circuitos de agua totalmente cerrados.

Descripción de la técnica: algunas fábricas de papel que producen papel para ondular y testliner en Europa y Norteamérica habían tenido éxito en la reducción de sus descargas de aguas residuales a cero, utilizando un sistema de agua de tipo cerrado. Sin embargo, la acumulación inevitable de materia orgánica disuelta y coloidal en los circuitos de agua cerrados crea problemas graves como corrosión, olor desagradable en el papel producido y también en la extracción de vapor de las máquinas de papel. Para reducir la contaminación orgánica del agua de proceso, las técnicas de tratamiento utilizadas normalmente para el tratamiento de aguas residuales de vertido final fueron adaptadas al tratamiento dentro de la fábrica. Una corriente parcial del agua de proceso se trata en plantas de tratamiento biológico, y el agua purificada se reutiliza para la producción de papel. La ventaja principal del tratamiento en línea es que solamente debe eliminarse una parte de la carga de DQO de una purga de aguas blancas para mantener un nivel dado de contaminación en circuitos. Esto hace que la planta de tratamiento en línea de aguas residuales sea económicamente atractiva. Actualmente, hay diversas opciones técnicas en funcionamiento. Dos de ellas se describen brevemente a continuación:

Opción 1: El tratamiento anaerobio seguido por un paso de aireación y una planta de decarbonización. Tras la retirada de fibras recuperables mediante tratamiento físico, una parte de la corriente total de agua de proceso se purifica en una planta de tratamiento y se reutiliza como agua de proceso. El circuito de desconcentración se compone de un tratamiento

anaerobio en un reactor de lecho fluidizado que se completa con una etapa de aireación para la conversión de los sulfuros a sulfatos, y de una planta del descarbonización para evitar el incrustación del carbonato cálcico en el reactor anaerobio y otras partes del sistema de agua.

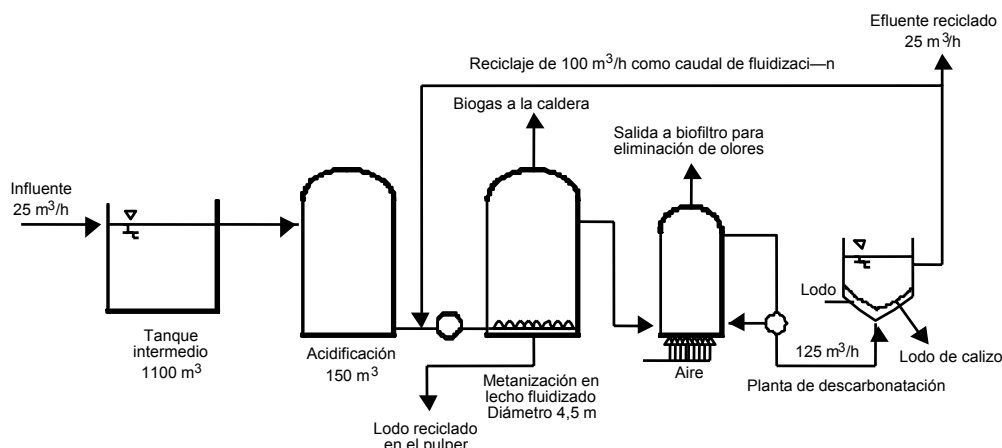


Figura 5.12: Ejemplo de tratamiento industrial en línea en una fábrica con nivel cero de efluentes que produce papel ondulado [Niovelon, 1997]

Opción 2: Tratamiento anaerobio combinado con un sistema de lodo activado y un filtro de arena.

Una corriente parcial del agua de proceso se enfría para bajar la temperatura del agua desde 55° C hasta 35°C.

Se utiliza un reactor de preacidificación con tanque intermedio para acondicionar el agua con nutrientes antes de alimentarla al reactor UASB. Este reactor es seguido por el tratamiento aerobio en dos tanques de aireación paralelos. Después de pasar por un tanque de sedimentación, el agua tratada se envía a los filtros de arena para reducir la concentración de sustancias sólidas. El biogás producido en los reactores anaerobios se lava para eliminar el H₂S y después se utiliza para la generación de vapor.

La Figura 5.13 . muestra un esquema simplificado del tratamiento del agua de proceso.

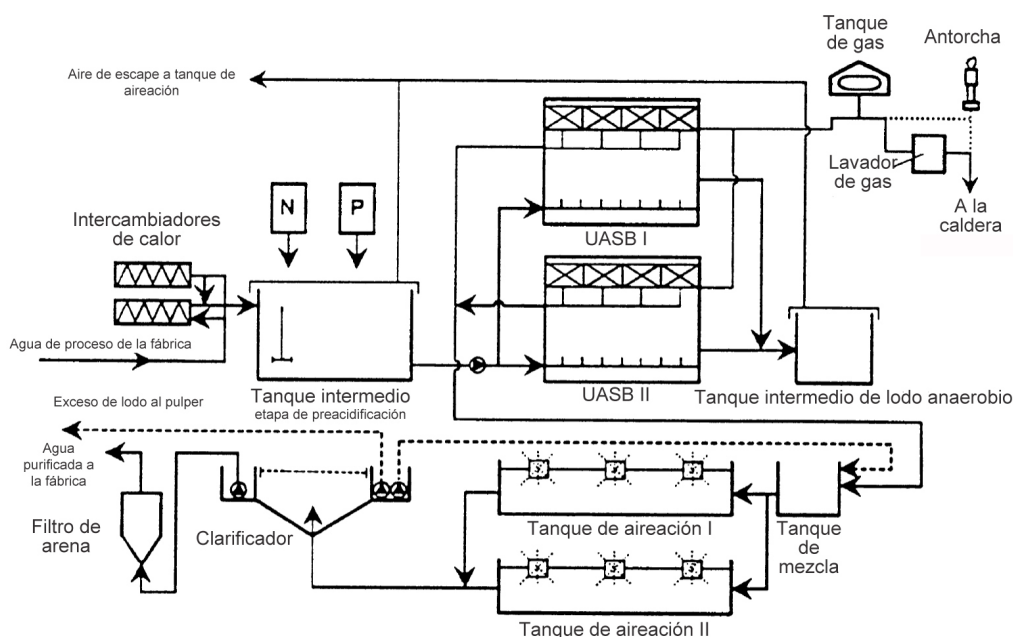


Figura 5.13: Ejemplo de tratamiento en línea de circuitos de agua cerrados, sistema de tratamiento utilizado por Zuelpich Papier GmbH, Recycled Paper Europe [Diedrich, 1997]

Mediante el tratamiento en línea es posible alcanzar el nivel deseado de DQO en los circuitos según el caudal tratado y el tamaño de la planta. La opción de descarga cero no implica alcanzar una alta eficacia de reducción de la contaminación, que corresponda a la normativa, sino sólo niveles de concentración aceptables en los circuitos para obtener buenas características de los productos de papel. Manteniendo el nivel de DQO en torno a 7000 - 8000 mg/l en el circuito de agua cerrado, la calidad del agua de proceso es similar a la de fábricas con un volumen de efluente medio actual en torno a 3 - 4 m³/t.

Aplicabilidad y caracterización: técnica integrada en el proceso. Los circuitos de agua cerrados con tratamiento biológico del agua de proceso en línea pueden aplicarse teóricamente en fábricas de papel tanto nuevas como existentes. Sin embargo, hay varios motivos por los que esta técnica no se considera generalmente como MTD. El motivo principal es la precipitación del carbonato cálcico en el circuito de agua de proceso, así como en las plantas de tratamiento anaerobio y aerobio. El control de la concentración de calcio en el agua blanca es muy complejo y no se comprende totalmente. Todavía deben desarrollarse soluciones técnicas para este problema. Además, para la aplicación de tratamiento biológico en línea en una fábrica de papel existente, el sistema total de agua-fibra total debe ser optimizado, lo que podría requerir algunos años o, especialmente en las fábricas más antiguas, no ser realizable en absoluto. Sin embargo, el reciclaje de una parte del agua después del tratamiento biológico es realizado por un número limitado de fábricas de papel en Europa que producen papel ondulado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los circuitos de agua cerrados con tratamiento producen un nivel cero de emisiones al agua.

En caso de una fábrica de papel que ya utilice un sistema de agua de proceso sin efluente, el tratamiento en línea puede ser una medida eficaz para reducir la contaminación del papel producido y la concentración de compuestos olorosos en la extracción de vapor de la máquina de papel.

Una fábrica de papel alemana que produce papel para ondular y testliner desde 1970 en condiciones totalmente sin efluentes (sin tratamiento biológico en línea) obtuvo mejoras considerables en la calidad del agua de proceso, en la calidad del papel y en las emisiones de sustancias orgánicas en la extracción de vapor de las máquinas de papel a partir de la puesta en marcha de una planta de tratamiento biológico del agua de proceso en 1995.

Monitorización de emisiones: en las fábricas con nivel cero de efluentes no hay que monitorizar emisiones a las aguas receptoras.

Efectos sobre otros medios: las técnicas anaerobias para el tratamiento en línea reducen la generación de un exceso de biomasa. El exceso de biomasa puede reutilizarse para la producción de papel o incinerarse para la recuperación de energía. La demanda energética de la planta de tratamiento en línea (bombas, aireadores, mezcladores) es cubierta totalmente por el uso térmico del biogás generado. En comparación con un sistema de agua totalmente cerrado sin el tratamiento en línea, la concentración de compuestos olorosos en el agua de proceso (ej: ácidos fórmicos, ácido acético, ácido propiónico y ácido láctico) puede reducirse en un 95 %. Esto produce una disminución significativa de las emisiones de estas sustancias orgánicas en la extracción del vapor de la máquina de papel. Así, los olores desagradables pueden reducirse perceptiblemente.

Datos Operativos: en la fábrica de papel alemana que ha aplicado la opción 2, el tratamiento de aguas de proceso en línea se inició en Septiembre de 1995. La eficacia esperada del tratamiento biológico se alcanzó en algunas semanas. Desde entonces, la planta ha estado funcionando sin problemas significativos. No obstante, en el futuro habrá que resolver los problemas causados por la precipitación del carbonato cálcico en las conducciones y en la balsa de aireación. Las medidas para reducir la precipitación del carbonato cálcico están todavía en desarrollo.

La mayor fiabilidad hidráulica del cierre del circuito hace necesario introducir continuamente sólo un 50% del caudal del agua que se evapora en la sección de secado de la máquina de papel (alrededor de 1 m³/t), es decir, que la modificación interna de los circuitos debe aplicarse a la reducción del consumo de agua.

La planta de tratamiento en línea francesa con descarbonización (opción 1) no alcanzó sus condiciones de funcionamiento propuestas hasta marzo de 1997. El circuito de proceso de agua es totalmente cerrado. Se ha indicado que la operatividad de la máquina de papel y la calidad del papel producido no se ven afectadas negativamente.

Economía: las instalaciones anaerobias requieren instalaciones más pequeñas y menos costosas que el tratamiento aerobio, con costes operativos más bajos y un ahorro de energía gracias a la producción de metano. Para la opción 1 se ha comunicado un coste de inversión de 15 millones de FRF (incluyendo el tanque de almacenaje, el tanque de acidificación, el reactor anaerobio y la unidad de aireación con filtro biológico). La descarbonatación requirió inversiones adicionales de 3 millones de FRF [1].

Para una planta de tratamiento en línea alemana, que ha realizado la opción 2, se ha informado de unos costes de inversión de 6 MEuros (de los cuales 1 MEuro fueron subvenciones). Los costes operativos totales anuales, que cubren productos químicos, desecho del azufre separado, personal y mantenimiento, ascienden a 165.000 Euros. Se incluye el ahorro neto de energía de 13.000 Euro/a. Suponiendo una producción de papel de 360.000 toneladas/a y una cantidad de agua de proceso tratada de 1.000.000 m³/a, se calculan costes operativos específicos de 0,5 Euros/tonelada de papel y 0,2 Euros/m³ de agua de proceso. El coste específico, incluyendo costes de inversión y costes operativos, totaliza 1,8 Euros/tonelada de papel y 0,7 Euros/m³ de agua de proceso respectivamente [2].

Motivos principales de aplicación de esta técnica: Las fábricas de papel que producen papel para ondular y testliner están situadas a veces junto a ríos, que se utilizan para el suministro de agua potable, o pequeños cursos de agua que son sensibles a niveles inaceptables de contaminación en periodos de bajo caudal. Para garantizar una calidad aceptable del agua de río, las autoridades locales establecen estándares rigurosos de descarga basados en los objetivos de calidad del agua definidos para el río. En algunos casos las fábricas de papel no pueden satisfacer estos estándares de descarga con el tratamiento de final de línea (end of pipe) de las aguas residuales. Por lo tanto, tienen que cerrar el circuito de agua totalmente.

Sin embargo, el cierre del circuito de agua tiene efectos negativos en la calidad del papel y la extracción de vapor de las máquinas de papel. Para evitar un aumento del contenido de sal, la dureza del agua y la concentración de ácidos grasos volátiles que produzcan olor, el tratamiento biológico en línea del agua de proceso puede ser una medida conveniente. Sin embargo, es necesario realizar investigación adicional para solucionar el problema de precipitación de carbonato cálcico y algunos otros problemas secundarios.

Plantas de referencia: fábrica de papel Assi Domaen Packaging Lecoursonnois, Mennecey/Francia; Zülrich Papier-Recycled Paper Europe, Zülrich/Alemania; Tillmann, Alemania

Bibliografía:

[Nivelon, 1997], [UBA-Report 7041, 1996], [Diedrich, 1997]

5.3.5 Técnicas Anaeróbicas como Primera Etapa del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales

Esta técnica debe ser considerada en la determinación de las MTD, principalmente para "papeles marrones" fabricados a base de papel recuperado. Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales anaerobio o combinado anaerobio/aerobio puede también en teoría aplicarse a

calidades destintadas, ya que la aplicabilidad depende principalmente del contenido de DQO de las aguas residuales. Sin embargo, las experiencias prácticas son muy limitadas para calidades destintadas.

Descripción de la técnica: el cierre de los circuitos de agua en las fábricas de papel que procesan papel reciclado da lugar a altas concentraciones de sustancias orgánicas disueltas en el agua de proceso. Por lo tanto, antes de su vertido en las aguas del medio receptor, las aguas de proceso deben ser purificadas mediante tratamiento biológico. Con la combinación del tratamiento biológico anaerobio y aerobio puede alcanzarse una reducción significativa de la carga orgánica de las aguas residuales. En la Figura 5.14 se muestra un esquema simplificado de una planta de tratamiento combinado anaerobio/aerobio de aguas residuales.

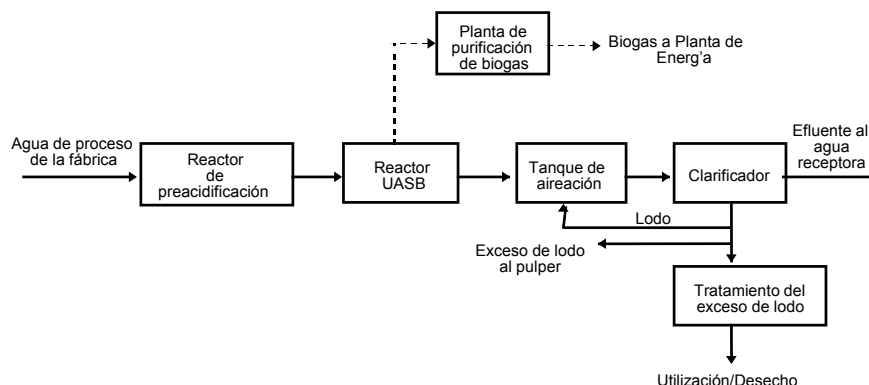


Figura 5.14: Esquema simplificado de una planta de tratamiento combinado anaerobio/aerobio de aguas residuales [IFP, 1998].

Como reactores anaerobios pueden usarse los siguientes sistemas:

- Reactor de contacto.
- Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket o Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente).
- Reactor de lecho fijo.
- Reactor de lecho fluidizado.

El propósito principal de los diversos conceptos de reactor es asegurar una alta concentración de biomasa dentro de los reactores. Esto se consigue reciclando la biomasa que lleva el agua después de sedimentación en un separador externo (sistema de reactor de contacto) o fijando la biomasa a medios de soporte dentro del reactor (reactor de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado, reactor UASB). Los reactores pueden funcionar como unidades separadas o como unidades combinadas modulares. Los sistemas de reactor que funcionan con medios de soporte de biomasa son especialmente adecuadas para cargas elevadas de DQO. El biogás, principalmente una mezcla de metano y dióxido de carbono, que es producido por la degradación anaerobia de los agentes contaminantes del agua de proceso, puede utilizarse como fuente de energía después de la desulfurización. Comparado con el tratamiento aerobio de aguas residuales, se produce mucha menos biomasa durante el proceso de degradación anaerobio.

No obstante, las aguas residuales tratadas anaerobiamente no cumplen los requisitos de concentración final de DQO y DBO del efluente tratado. Por lo tanto, el tratamiento anaerobio no se utiliza normalmente como tratamiento único. Los efluentes de los sistemas anaerobios son siempre tratados posteriormente mediante una etapa biológica aerobia.

Para una aplicación económica de técnicas anaerobias como primera etapa del tratamiento biológico de aguas residuales, la carga de DQO del agua de proceso no debe ser inferior a 2000 mg/l. Las fábricas de papel que producen "calidades marrones" con un bajo nivel de consumo de agua fresca alcanzan fácilmente este nivel. Las fábricas de papel que fabrican calidades destintadas pueden también alcanzar este nivel antes de cualquier tratamiento. No obstante, hay

muy pocos ejemplos de tratamiento anaerobio/aerobio de aguas residuales para las calidades destinadas [Driessen]. El proceso de degradación anaerobio podría verse perturbado por sulfatos disueltos, si la concentración es superior a 1000 mg/l, ya que durante el proceso anaerobio el sulfato se transforma en sulfuro de hidrógeno (H_2S) que es tóxico para los microorganismos anaerobios. Normalmente no se alcanza un nivel tóxico.

Aplicación y caracterización: cuando se agrega una etapa anaerobia antes del tratamiento aerobio en una planta existente, la capacidad necesaria de las instalaciones de tratamiento aerobio puede ser reducida. En principio, no hay problemas para ampliar una planta de tratamiento aerobia ya existente con una etapa anaerobia previa si la composición del agua de proceso, la carga de DQO y el contenido de sulfato son adecuados para el tratamiento anaerobio. La remodelación o retrofitting con una etapa anaerobia de pretratamiento es una medida conveniente cuando la etapa aerobia ha alcanzado su capacidad máxima y está probablemente sobrecargada.

Las plantas de tratamiento combinado anaerobio/aerobio de aguas residuales deben considerarse ante todo como técnicas de final de línea (end of pipe). Sin embargo, en vista de los esfuerzos para controlar el uso de aditivos químicos (ej: agentes limpiadores, antiespumantes, biocidas) en el sistema de fabricación de papel para proteger los microorganismos anaerobios sensibles en la planta de tratamiento, el tratamiento biológico puede también considerarse (en parte) como una medida de protección medioambiental integrada en el proceso.

Algunas fábricas de papel están realizando ensayos para reciclar una corriente parcial del agua de proceso tratada biológicamente de vuelta al circuito. Los problemas principales a los que todavía hay que hacer frente son la acumulación de cloruros, sulfatos y calcio en el agua de proceso, causando corrosión y precipitación de carbonato cálcico, e incrustaciones en conducciones, telas y fieltros. La precipitación del carbonato cálcico es un problema complejo, que requiere un trabajo de investigación adicional en el futuro.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los rendimientos del tratamiento en reactores anaerobios dependen del diseño de la planta y de las condiciones de funcionamiento. Los rendimientos típicos son del orden de 60 - 85 % para la eliminación de DQO y del 85 - 95 % para la eliminación de DBO. El rendimiento total de combinaciones de técnicas anaerobias y aerobias es del orden del 95 - 97 % para la eliminación de DQO y del 99,0 - 99,8 % para la eliminación de DBO. La carga orgánica en el efluente se reduce a 0,5 - 1,5 kg DQO/tonelada de papel producida, y a 0,02 - 0,1 kg DBO/ tonelada de papel producida, respectivamente.

Una fábrica de papel alemana a base de un 100% de FRC (sin destintado) reportó una mejora en el rendimiento de depuración mediante el tratamiento combinado anaerobio-aerobio en comparación con un tratamiento aerobio de dos etapas. Los valores anuales medios alcanzado son los siguientes:

Parámetro	Unidad	Tratamiento aerobio de 2 etapas	Tratamiento anaerobio/aerobio
Concentración de DQO	mg/l	290	190
Concentración de DBO_5	mg/l	21	12
Carga de DQO	kg/t	0,93	0,68

Tabla 5.22: Valores medios anuales del efluente tratado de una fábrica alemana de papel y cartón a base de 100% FRC

En plantas de tratamiento combinado anaerobio/aerobio, la demanda energética relacionada con la eliminación de 1 tonelada de DQO (utilizada principalmente para bombeo y aireación) es de unos 200 - 300 kWh, mientras que en plantas aerobias independientes y bien diseñadas la demanda energética para la eliminación de 1 tonelada de DQO se eleva a 500 - 600 kWh.

El volumen de biogás producido durante la digestión anaerobia es del orden de 400 a 600 m³/tonelada de DQO eliminada. El contenido de metano es de un 65 - 75 %. Dado que el valor calorífico del metano es 35.7 MJ/m³, la energía que se deriva de la utilización térmica del biogás en una planta de CHP está en torno a 1900 - 2900 kWh/tonelada eliminada, suponiendo una eficacia de la planta de energía del 75 %. La utilización energética del biogás no sólo cubre la demanda energética total de la planta de tratamiento anaerobio/aerobio. Una parte de la energía producida (alrededor del 70 - 80%) puede utilizarse para el proceso de producción de papel.

Monitorización de emisiones: el parámetro principal utilizado para controlar el funcionamiento de las técnicas anaerobias y aerobias de tratamiento de aguas residuales es la DQO, que se analiza generalmente con frecuencia diaria. Para los sistemas anaerobios, el índice de producción biogás, medido continuamente por un medidor de gas, es otro parámetro importante de control, así como la medición continua del contenido de CO₂, CH₄, y H₂S del biogás.

Efectos sobre otros medios: el pretratamiento anaerobio contribuye a una reducción significativa de producción de lodo como residuo. Comparado con el tratamiento sólo aerobio de las aguas residuales, en una planta de tratamiento combinado anaerobio/aerobio la producción de biomasa se reduce en un 70 - 80 %. El lodo extraído como residuo puede evitarse devolviendo el exceso de lodo al proceso de producción de papel. Sin embargo, la devolución del exceso del lodo a la producción de papel es solamente aplicable en casos específicos. La proporción de lodo en la entrada de materias primas es inferior al 1 %. Después de la desulfurización, el biogás producido puede utilizarse como combustible en las plantas de energía de la fábrica, en sustitución de combustibles fósiles.

Datos operativos: las plantas de tratamiento combinado anaerobio/aerobio han estado en funcionamiento desde 1990/91. En comparación con las plantas de tratamiento sólo aerobio de las aguas residuales, han demostrado ser sistemas más estables con respecto a cambios en las cargas de DQO y sustancias tóxicas o inhibitoras en el agua de proceso. La disponibilidad de las plantas está cerca del 100%.

Concentraciones de sólidos en suspensión por encima de 200 mg/l podrían causar problemas en sistemas anaerobios, especialmente en reactores de lecho fijo. En algunos reactores UASB se observó una desintegración lenta de los pelets de biomasa. En este caso, la biomasa puede sustituirse por nuevos pelets de otros reactores UASB para mantener el reactor en funcionamiento eficaz. El pretratamiento anaerobio reduce considerablemente la tendencia a desarrollar lodo voluminoso en la etapa aerobia siguiente. El exceso de lodo producido en la etapa aerobia puede reciclarse al proceso de producción de papel sin causar ningún problema.

Economía: los costes de inversión para las plantas de tratamiento combinado anaerobio/aerobio de aguas residuales varían en un amplio margen según la carga específica de DQO y el volumen de aguas residuales. Suponiendo cargas de DQO de 20 a 35 toneladas/d, que corresponden una producción anual de papel para ondular y testliner de 200.000 a 350.000 toneladas, los costes de inversión son del orden de 7 a 12 MEuros.

Considerando el ahorro neto de energía mediante el uso como combustible del biogás producido, los costes operativos anuales incluyendo productos químicos y materiales operativos, gestión de residuos, personal y mantenimiento, son del orden de 0,6 - 1,0 Euros/tonelada de papel producida.

Motivos principales de aplicación de esta técnica: el motivo más importante para la instalación de sistemas combinados anaerobios/aerobios para el tratamiento biológico del agua de proceso es la mejor estabilidad con respecto a fluctuaciones de la carga de DQO en comparación con una planta de tratamiento sólo aerobio. Otro incentivo era la producción de biogás y su uso como combustible en plantas de energía. El uso energético del biogás cubre no sólo la demanda energética de la planta de tratamiento anaerobio/aerobio. Hay un exceso de energía, que puede utilizarse en el proceso de producción. Por último, también hay que tener en

cuenta el volumen considerablemente más pequeño del exceso de lodo producido. Utilizando técnicas combinadas anaerobias/aerobias en lugar de una técnica aerobia de una o dos etapas, la producción del lodo se reduce en un 70 - 80 %. Este hecho es de especial interés para las fábricas de papel que no tienen sus propias instalaciones para valoración energética del exceso del lodo y no reciclan lodo al proceso de producción, por lo que deben prever un vertido fuera de planta con un alto coste.

Plantas de referencia: numerosas plantas anaeróbicas se utilizan como primera etapa del tratamiento de aguas residuales en fábricas de papel europeas que fabrican testliner y papel para ondular. En Alemania hay instaladas unas 12 plantas, de las cuales 9 están basadas en el sistema UASB, dos sobre reactores de lecho fijo y una equipada con un reactor de contacto.

Bibliografía:

[Koepp-Bank, 1991], [Hamm, 1991], [Driessen], [IFP, 1998]

5.3.6 Tratamiento biológico aerobio

Ver también 6.3.9

Descripción de la técnica: el tratamiento biológico aerobio de los efluentes de fábricas de papel a base de papel recuperado se ha utilizado durante más de 20 años para eliminar las sustancias que consumen oxígeno y compuestos orgánicos específicos. Estas sustancias son convertidas por las diversas variantes de los sistemas de tratamiento biológicos en biomasa, dióxido de carbono y agua. Los sistemas de lodo activado aerobios con baja carga se utilizan extensamente. El contenido de nutrientes de las aguas residuales de las fábricas de papel recuperado es generalmente bajo. Por lo tanto, para asegurar el funcionamiento eficiente del sistema biológico, es necesaria la adición controlada de fósforo y nitrógeno. Para controlar problemas de eutrofización, hay que evitar la sobredosificación y las emisiones innecesarias de nutrientes.

Aplicabilidad y caracterización: aplicable a fábricas nuevas y existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la eficacia de eliminación alcanzable es del orden de 95-99% para DBO₅ y del 75 - 90% para DQO. En la Tabla 5.23 se resumen los valores alcanzables en los efluentes mediante tratamiento con lodo activado de baja carga.

Las eficacias de eliminación mediante el tratamiento biológico combinado anaerobio/aerobio son generalmente algo más altas (ver 5.3.5). La eficacia total del tratamiento está por encima del 99% para la eliminación de DBO₅ y por encima del 95% para la eliminación de DQO. Pero hasta ahora, el uso del tratamiento anaerobio se limita principalmente a las fábricas de papel a base de papel recuperado sin destintar. En Holanda, las aguas residuales de tres fábricas de papel a base de FRC son tratadas simultáneamente por un sistema de tratamiento anaerobio /

Parámetro	Concentraciones y cargas alcanzables para fábricas de papel a base de fibras recuperadas con destintado		Eficacia de eliminación típica [%]
	mg/l	kg/t	
DBO ₅ después del tratamiento	< 20 (hasta 5)	0, 21	95 - 99
DQO después del tratamiento	< 230	2,3	80 - 85
SST	< 30	0,2	99
Volumen de descarga	11 m ³ /t		

Tabla 5.23: Datos de tratamiento con lodo activado de baja carga en producción de papel y cartón a base de fibras recuperadas [Dutch notes on BAT, 1996] y valores de efluentes medidos de fábricas de papel alemanas a base de papel recuperado con destintado].

aerobio. Una de estas fábricas es una planta con destintado. Sin embargo, hay también algunos ensayos prometedores a escala de laboratorio para aplicar el tratamiento biológico combinado anaerobio / aerobio a las plantas con destintado.

El reciclaje de una parte del agua después del tratamiento biológico parece ser posible. Al menos una fábrica de papel prensa con un 100% de papel recuperado como materia prima utiliza alrededor de un 10% del efluente tratado (lodo activado + filtro de arena) en la fábrica de papel sin problema alguno.

Monitorización de emisiones: los parámetros de los efluentes principales se miden generalmente diariamente o al menos algunas veces por semana. Es necesario realizar mediciones adicionales para controlar el sistema de lodo activado, como por ejemplo contenido de O_2 , SVI (Índice de Volumen de lodo), caudal agua, y análisis de la biomasa.

Efectos sobre otros medios: durante el tratamiento aerobio de aguas residuales se produce un exceso de lodo que debe ser espesado, deshidratarse y tratarse ulteriormente. Un valor típico para las plantas de lodo activado es del orden de 0,6 kg de exceso de lodo/kg DBO_5 eliminado (como materia seca) generado durante el tratamiento. Así, dependiendo de la calidad del papel recuperado y del diseño del proceso, cabe esperar unos 10 kg de exceso de lodo del tratamiento biológico por tonelada de papel (base seca).

Se requiere energía para la aireación de la biomasa activa (lodo activado) y para las bombas.

El consumo específico de energía para la degradación / eliminación de 1 kg DBO_5 se eleva a 0,6 - 3 kWh/kg DBO_5 eliminado. Si el sistema está bien diseñado, puede alcanzarse un valor de < 1 kWh/kg DBO_5 eliminado [Möbius, 1997]. Este valor puede también utilizarse para comparar los costes operativos previstos de diversos sistemas de aguas residuales.

Especialmente durante el periodo del verano, las plantas de tratamiento de aguas residuales de las fábricas de papel a base de FRC pueden emitir olores molestos. Si el tratamiento de aguas residuales está bien diseñado y controlado, los olores molestos pueden evitarse.

Experiencias operativas: el tratamiento biológico aerobio para los efluentes de fábricas a base de papel recuperado se ha utilizado con éxito durante más de 20 años. El fenómeno del elevado volumen de lodo debe ser controlado.

Economía: sólo hay disponibles datos sobre costes para una fábrica integrada que produce papel a base de pasta mecánica. El sistema de tratamiento de aguas residuales es comparable al aplicado para el tratamiento del efluente del proceso de papel recuperado. Por lo tanto, las cifras de costes pueden dar una idea aproximada del orden previsible que pueden tener los costes. Los costes de inversión para una planta de tratamiento de lodo activado totalmente nueva son de aproximadamente 13,0-15,5 MEuros para una fábrica integrada de pasta mecánica y papel de 1000 Adt/d. Estos costes incluyen también el necesario tratamiento primario y la manipulación del lodo. Los costes operativos correspondientes son de 1,2-1,5 MEuros/a.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: muchos Estados Miembros han fijado requisitos para los efluentes de las fábricas de papel que generalmente consideran el tratamiento biológico como MTD a nivel del sector. Por consiguiente, la mayoría de fábricas de papel a base de fibras recuperadas han tenido que construir sistemas de lodo activado u otros sistemas de tratamiento con eficacias comparables.

Plantas de referencia: numerosas plantas de tratamiento aerobio de aguas residuales se hallan en funcionamiento en fábricas de papel europeas que producen papel a base de fibras recuperadas destintadas.

Bibliografía:

[Dutch notes on BAT, 1996], [Möbius, 1997b], [CEPI, 1997b]

5.3.7 Modernización de las plantas de preparación de pasta para reducir el consumo de electricidad y las emisiones

La siguiente descripción se aplica principalmente a fábricas de papel a base de papel recuperado *sin destintar*, como por ejemplo fábricas de papel que producen material para embalaje (testliner, papel para ondular). Sin embargo los principios básicos son válidos para todas las fábricas que procesan papel recuperado. Las fábricas con destintado pueden tener opciones adicionales en las unidades de proceso de destintado.

Descripción de la técnica: podría haber diversos objetivos a la hora de modernizar el diseño de la planta de preparación de pasta. Dependen del sistema de prioridades fijadas por cada compañía, como una mejor eliminación de pequeñas impurezas y contaminantes para mejorar la calidad del producto y la eficacia de la máquina de papel, una mejora de la recuperación de fibras de los rechazos reduciendo con ello las pérdidas de fibra, o un ahorro de la energía. Otro objetivo puede ser la simplificación del sistema de preparación de pasta, produciendo un menor consumo de energía, menos pérdidas de materiales y un menor espacio necesario. Para simplificar la preparación de pasta, especialmente para las calidades marrones, se discuten las posibilidades de eliminación de la dispersión, que consume energía, y de las etapas tradicionales de limpieza. Por contra, el concepto de proceso extendido, con un mayor número de etapas de proceso, puede utilizarse para la fabricación de papel con fines especiales o para resolver las necesidades de clientes (productos de alta calidad).

El proceso de papel recuperado se centra en primer lugar en la eliminación de los componentes no fibrosos (ej: plásticos, metal, madera, arena) y la eliminación de sustancias perjudiciales tales como adhesivos, cera o trozos pequeños no desintegrados (escamas) de papel resistentes a la humedad. La segunda meta del proceso de la pasta es el tratamiento de las fibras en sí para controlar la calidad del papel que se producirá. Con este fin, las fibras pueden fraccionarse en fracciones de fibras largas y de fibras cortas, y ser tratadas ulteriormente. Por ejemplo, el refinado de baja intensidad mejora la capacidad de unión de las fibras recicladas, dando por resultado mejores características de resistencia del papel producido, y la dispersión mejora la homogeneidad óptica del papel.

Para cada tratamiento específico de la pasta reciclada, se utilizan máquinas especiales en formas diversas. Así, los procesos de tamizado y limpieza deben funcionar en dos a cuatro etapas para reducir las pérdidas de fibra en la etapa final de cada proceso. Para obtener una funcionalidad adecuada de la máquina de papel es también esencial utilizar limpiadores y tamices adicionales en el sistema de flujo de aproximación de la pasta. Esto evita que los depósitos desprendidos de las paredes de los depósitos o de las conducciones entren en la caja de entrada y el lado húmedo de la máquina de papel. Estos depósitos producirían roturas de la hoja continua y tiempo muerto de la máquina.

Debe encontrarse un equilibrio entre limpieza de la pasta, pérdida de fibras, requisitos energéticos y costes, que en cierta medida depende de la calidad de papel producida.

A continuación se detallan algunas de las distintas opciones técnicas para la planta de preparación de pasta, incluyendo las ventajas y desventajas más importantes. También se indican las implicaciones para la demanda de electricidad.

La Figura 5.15 muestra cuatro ejemplos de diseño de plantas de preparación de pasta con proceso de papel recuperado para testliner de doble capa. Esta calidad de papel se utiliza como ejemplo debido a su alta importancia en el tonelaje para las fábricas de papel y cartón en Europa, y debido a que la información se hallaba fácilmente disponible. La Tabla 5.24 recopila las características principales para estas cuatro opciones, resume la demanda de la electricidad, y da algunas explicaciones referentes a la configuración de la planta de preparación de pasta. Las cifras de demanda de electricidad para los cuatro distintos sistemas se derivan de los valores de demanda específica de energía para las unidades individuales de proceso, según se recopilan en la Tabla 5.25 más adelante. Deben considerarse como una aproximación realista. Las fábricas reales podrían tener valores ligeramente menores o mayores.

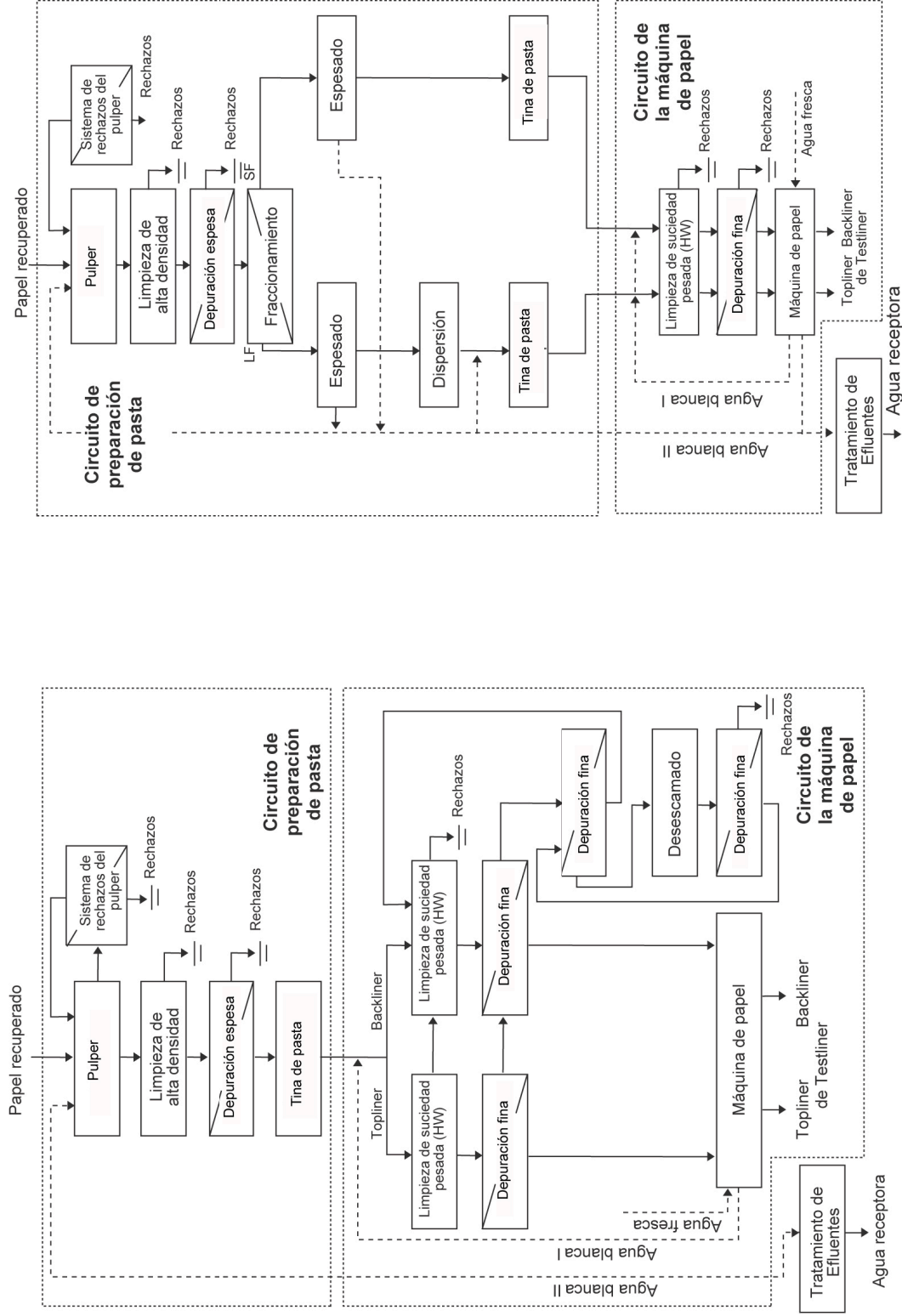


Figura 5.15: Cuatro ejemplos de diseño de plantas de preparación de pasta para procesar papel recuperado para testliner de doble capa [IFP, 1998]

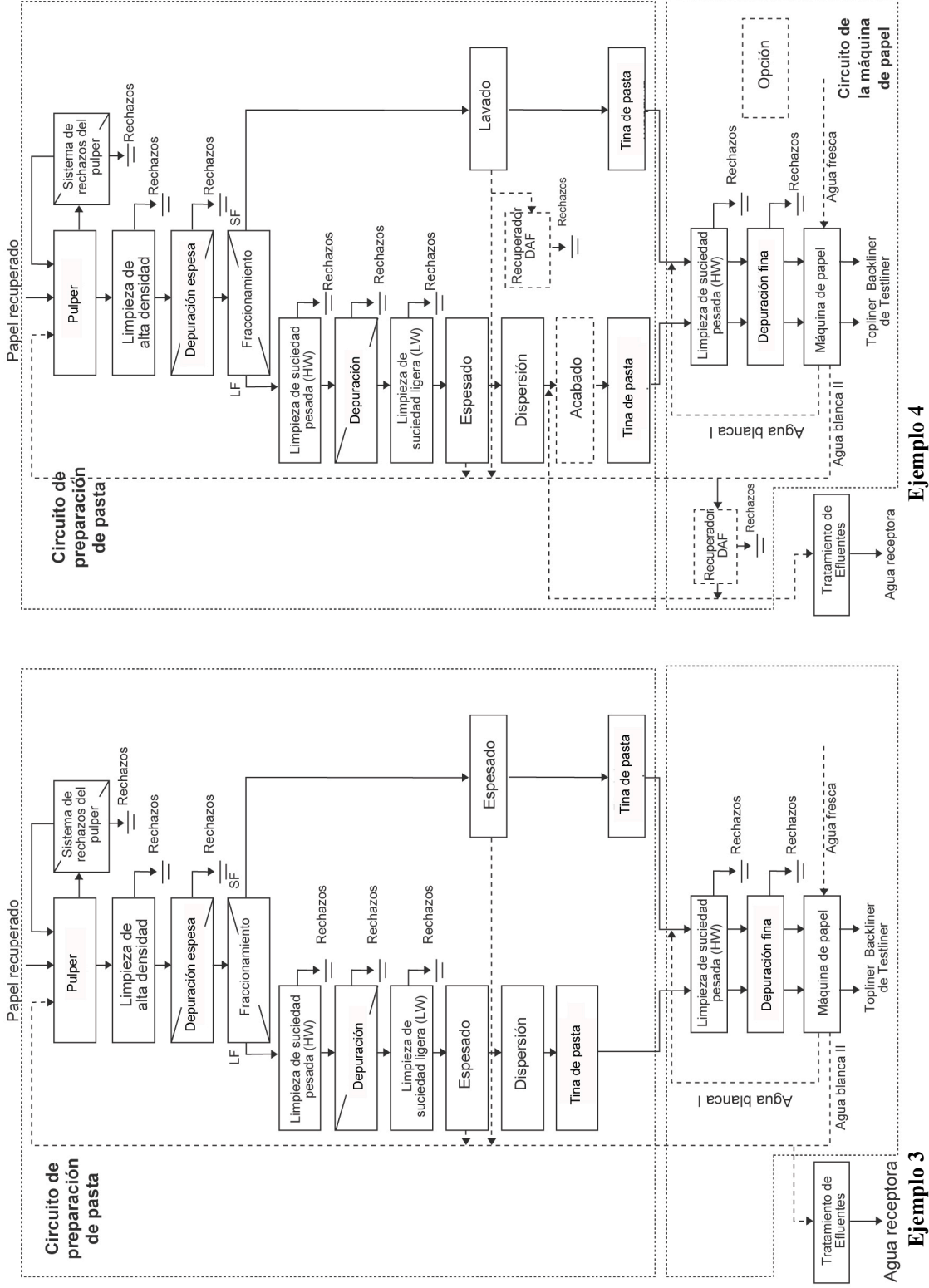


Figura 5.15 (cont.): Cuatro ejemplos de diseño de plantas de preparación de pasta para procesar papel recuperado para testliner de doble capa [JFP, 1998]

	Principales características de los distintos diseños de plantas de preparación de pasta	Demanda eléctrica (media)	Notas explicativas
Ejemplo 1	Limpieza y tamizado minimizados en la planta de preparación de pasta sin fraccionamiento y sin tratamiento adicional de la fibra, como dispersión y limpieza y tamizado adicional. El sistema de flujo de aproximación de la pasta se extiende en lo relativo al tamizado y la limpieza con el fin de conseguir una pasta recuperada suficientemente limpia.	45 - 95 (70) kWh/t	La pasta se divide sin fraccionamiento y es alimentada a dos líneas separadas para limpieza y tamizado separados en ambas líneas con diversos anchos de ranura. Los rechazos del topline se introducen en el backliner para su tratamiento ulterior. En el backliner se establece un proceso de desescamado para desintegrar las escamas de fibra en fibras individuales con el fin de mejorar la eficacia del tamizado y tener una cantidad reducida de rechazos.
Ejemplo 2	Incluye fraccionamiento y dispersión, tamizado; después del tamizado de fraccionamiento, no se aplica limpieza ligera y pesada de la fracción de fibras largas; compromiso entre la minimización de la demanda energética por la reducción de instalaciones de maquinaria y equipos y los requisitos de calidad del producto final.	65 - 175 (110) kWh/t	El fraccionamiento se realiza con el fin de ahorrar energía en la dispersión subsiguiente, de elevado consumo, tratando sólo una corriente parcial de la pasta recuperada (fracción de fibras largas). Al salir del tamizado, la limpieza ligera y pesada de la fracción de fibras largas después del fraccionamiento ahorra energía.
Ejemplo 3	Además del ejemplo 2, se aplica tamizado así como limpieza ligera y pesada de la fracción de fibras largas tras el fraccionamiento	75 - 175 (120) kWh/t	Los dispersadores deben ser alimentados con pasta de alta consistencia (sequedad 22-32%). Previamente es necesaria la deshidratación (espesamiento) mediante por ejemplo un filtro de discos, prensa de cinta o prensa de tornillo.
Ejemplo 4	El fraccionamiento se amplía mediante tamizado y limpieza adicional (ligera y pesada) refino opcional de la fracción de fibras largas, lavado de la fracción de fibras cortas y mediante dos flotaciones por aire disuelto (DAF)* en la recirculación del agua de proceso.	110 - 270 (190) kWh/t (con todas las opciones)	Lavado en combinación con una eliminación en una corriente parcial de finos y cargas mediante un sistema de DAF, para controlar el contenido de finos y cargas en el papel, lo que produce mejores características de resistencia en el papel producido. Puede aplicarse refino para mejorar la capacidad de unión de las fibras recicladas.
<p>Nota explicativa:</p> <p>* La limpieza del agua de proceso mediante DAF de una corriente parcial del filtrado de lavado de la fracción de fibras cortas, así como del agua blanca II de la máquina de papel, controla la eliminación de sólidos (finos y cargas) y en cierta medida de sustancias coloidales. La eliminación de sustancias coloidales controla la carga orgánica del agua blanca (en términos el DQO y DBO). Más importante es el control de finos y cargas en el agua de proceso en beneficio de las características de resistencia del papel producido. Ambas medidas mejoran la calidad del papel y la funcionalidad de la máquina de papel.</p>			

Tabla 5.24: Características principales y demanda de electricidad de distintos diseños de plantas de preparación de pasta en el proceso de papel recuperado para la producción de testliner de doble capa. Se dan notas explicativas donde se considera apropiado [Datos derivados de IFP, 1998]

Aplicabilidad y caracterización: medida integrada en el proceso. Las reconstrucciones de plantas de preparación de pasta, así como del sistema de depuración de cabeza de máquina pueden realizarse generalmente en fábricas existentes.

Una planta de preparación de pasta "estándar" utiliza normalmente más máquinas de las que se requieren para este sistema "minimizado" de planta de preparación de pasta (ejemplo 1). Para adaptar un sistema "estándar" a un concepto "minimizado", es necesario el cierre de sólo una parte del equipo, y probablemente algunas conducciones y bombas nuevas para la conexión al depósito de la máquina. El sistema de depuración de cabeza de máquina debe de mejorarse. Los tamices existentes del sistema de depuración de cabeza de máquina o de la planta de preparación de pasta no son generalmente suficientes, debido a la capacidad limitada cuando hay instaladas cestas de tamizado con un pequeño ancho de ranura de 0,15 mm. Por consiguiente, serían necesarias inversiones en tamices presurizados avanzados para el sistema de depuración de cabeza de máquina.

Principal beneficio medioambiental que se consigue: la demanda de electricidad para la preparación de pasta y el sistema de depuración de cabeza de máquina está entre el 20 y el 40 % de la demanda total de energía de una fábrica de papel recuperado sin destintar. Por lo tanto, vale la pena considerar la optimización de la planta de preparación de pasta por lo que respecta

al ahorro de electricidad. Un consumo reducido de electricidad produce menores emisiones a la atmósfera, que dependen además del tipo de combustible fósil utilizado.

La ventaja medioambiental del concepto "ejemplo 1" está relacionada con el ahorro de electricidad para la preparación de pasta y el sistema de depuración de cabeza de máquina. Un sistema instalado en una fábrica de papel alemana funciona con una demanda de electricidad de 60 kWh/tonelada de papel producida.

A efectos de comparación: el valor medio de la demanda de electricidad indicado en la Tabla 5.25 inferior produce una demanda de energía eléctrica entre 45 kWh/tonelada y 95 kWh/tonelada (promedio 70 kWh/tonelada) para el sistema presentado como ejemplo 1.

En comparación con el diseño en el que se aplica tamizado, así como limpieza ligera y pesada de la fracción de fibras largas después del fraccionamiento (ejemplo 3), la demanda energética del ejemplo 2 se reduce entre un 10 % y un 20 % (65 kWh/tonelada - 160 kWh/tonelada).

El principal efecto positivo sobre el medio ambiente conseguido por los diseños de preparación de pasta "mejorada" como el ejemplo 4 se relaciona con la alta eficacia de la máquina de papel que se deriva de una pasta muy limpia con características mejoradas de resistencia.

La demanda de electricidad indicada en la Tabla 5.24 anterior se deriva de las cifras de demanda específica de energía de los procesos unitarios indicados en la Tabla 5.25 inferior. Como puede verse, las diferencias en la demanda de la electricidad entre las cuatro opciones son significativas: el ejemplo 4 (con todas las opciones) requiere entre 110 kWh/tonelada y 270 kWh/tonelada en comparación con los 65 kWh/tonelada y 160 kWh/t consumidos por el ejemplo 2.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la eficacia mejorada de la máquina de papel que se consigue mediante una pasta más limpia produce una menor demanda específica de electricidad y de vapor para la producción de papel, ya que durante las roturas la máquina de papel sigue

Proceso	Demanda Específica de Energía kWh/tonelada	Consistencia Operativa %
Desintegración	10 – 20	3 – 6
Desescamado	20 – 60	3 – 6
Tamizado	5 – 20	0,5 – 4,0
Tamizado de cola	20 – 40	1 – 4
Limpieza centrífuga	4 – 8	<0,5 \Rightarrow 4,5 (<6,0)
Fraccionamiento	5 – 20	3 – 4
Espesamiento	1 – 10	0,5 \Rightarrow 5 (10)
Deshidratación (Prensa de tornillo)	10 – 15	2 – 5 \Rightarrow 15 – 50
Deshidratación (Prensa de tela doble)	2 – 4	2 – 5 \Rightarrow 15 – 50
Dispersión	30 – 80	22 – 32
Refino de baja consistencia	5 – 25 (por grado de SR*)	3,0 – 5,5
Refino de alta consistencia	10 – 60 (por grado de SR*)	25 – 35
Lavado	5 – 20	0,7 – 1,4 \Rightarrow 5 – 12
Flotación por aire disuelto (DAF)	10 – 20	<0,3 \Rightarrow 0,01
Almacenaje	0,02 – 0,1	3,0 – 5,5 (12)
Mezcla	0,2 – 0,5	3,5 – 4,5
Notas: \Rightarrow = cambio del rango de consistencia entre la entrada y la salida del equipo en cuestión *SR = desgote de Schopper-Riegler		

Tabla 5.25: Demanda específica de energía y consistencias operativas para los procesos unitarios en la producción de papel para ondular y testliner [IFP, 1998; datos según un proveedor de maquinaria]; los datos hacen referencia a una eficacia del 100%].

consumiendo electricidad y vapor. Por contra, las tecnologías que están conectadas con la necesidad de un lavado más frecuente del sistema (tiempo muerto) tienen un menor rendimiento energético y aumentan las emisiones.

Efectos sobre otros medios: las máquinas de papel que funcionan con eficacia creciente tienen menores demandas de electricidad y vapor por tonelada de papel. La mejor calidad de las fibras recicladas produce una mejor calidad del papel.

Los rechazos de las distintas etapas de proceso pueden recogerse por separado y utilizarse para diversos fines. Por ejemplo, los rechazos que contienen grandes cantidades de plásticos pueden incinerarse con la ventaja de una recuperación considerable de energía, debido a sus elevados valores caloríficos. Los rechazos con altas cantidades de material de fibras orgánicas pueden utilizarse para compostaje. Los rechazos del limpiador de alta densidad, así como del sistema de desecho del pulper se desechan generalmente en vertedero debido a su alto contenido de material inorgánico (ej: piedras, arena, grapas, clips, etc.).

Datos operativos: en todo el mundo hay una gran cantidad de fábricas que producen testliner con fraccionamiento y dispersión. En ocasiones el refino se incluye también en la planta de preparación de pasta. Sin embargo, no parece que haya dos sistemas exactamente idénticos.

El ejemplo 1 que se muestra en la Figura 5.15 puede considerarse como un concepto "minimizado" de planta de preparación de pasta. Funciona en una fábrica que produce testliner y papel para ondular (Zülrich Papier – Recycled Paper Europe, Alemania). Con respecto a la eficacia alcanzable de la máquina de papel y las limitaciones locales, este concepto de planta de preparación de pasta debe ser considerado como un experimento. Debido al tiempo limitado de experiencia no es todavía posible evaluar el éxito de este concepto de ahorro de energía. El sistema parece dar lugar a pérdidas ligeramente mayores de fibras.

El tamizado en un sistema de depuración de cabeza de máquina convencional tiene normalmente una protección contra contaminación accidental con una baja demanda de mantenimiento. El mantenimiento requerido en la preparación de pasta convencional no obliga necesariamente a la parada de la máquina de papel, gracias a la capacidad de almacenaje de pasta en los depósitos disponibles. Por contra, si se aplican cestas de tamizado de ranuras finas (con un ancho de ranura de 0,15 mm) en el circuito de cabeza de máquina para conseguir un pasta recuperada suficientemente limpia (como en el ejemplo 1), estos tamices requieren un mantenimiento más frecuente para su limpieza. Esto supone la parada de la máquina de papel y una pérdida de producción. Por lo tanto, la eficacia de la máquina de papel de la máquina con preparación de pasta "minimizada" es normalmente peor que la de una planta de preparación de pasta "estándar" bien equipada.

Economía: los costes de inversión y de explotación del ejemplo 2 son más bajos en comparación con los ejemplos 3 y 4, y más altos en comparación con el ejemplo 1 que se muestra en la Figura 5.15. Sin embargo, el aumento de costes para el funcionamiento de la planta de preparación de pasta debe siempre evaluarse a la luz de la mejora de la eficacia de la máquina de papel. Un menor número de paradas y de roturas de la hoja continua, así como una mejor calidad del papel, son también factores importantes.

Además de los mayores costes de inversión en equipo de los diseños de preparación de pasta "mejorada" (ejemplo 4), cabe esperar un aumento de los costes operativos en términos de la demanda de electricidad para la preparación de pasta. Los diseños de "minimización" de la preparación de pasta (como el ejemplo 1) requieren costes de inversión relativamente bajos. El bajo consumo de electricidad reduce también los costes operativos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el motivo principal para poner en práctica los conceptos de plantas de preparación de pasta con un mayor número de etapas de proceso son los altos requisitos que deben alcanzarse de calidad del papel, ya que debe competir en el mercado

con papel fabricado a base de fibras vírgenes. Otro incentivo es la mejora de la operatividad de la máquina de papel. Los motivos de aplicación de los diseños de plantas de preparación de pasta con "minimización" de las etapas de proceso son menores costes de inversión y de explotación, principalmente gracias al ahorro de energía eléctrica a consecuencia del menor número de máquinas requeridas.

Plantas de referencia: varias fábricas en Europa están equipadas con un sistema de preparación de pasta similar al ejemplo 2, incluyendo fraccionamiento y dispersión. Sin embargo, el equipo instalado y el número de etapas de proceso varía y no parece haber dos sistemas exactamente idénticos. Algunas fábricas han aplicado también un sistema de flotación por aire disuelto para el tratamiento de las aguas de proceso. La combinación con lavado según el ejemplo 4 no se ha aplicado a la producción de testliner hasta la fecha.

Bibliografía

[IFP, 1998]: Este informe contiene muchas otras referencias.

5.3.8 Generación de agua clarificada del proceso de papel recuperado con destintado

Descripción de la técnica: el reciclaje de mayores cantidades de agua blanca en la planta de papel recuperado con destintado sólo es posible si hay un sistema para la clarificación del agua blanca. Los sistemas de clarificación del agua utilizados casi exclusivamente en la industria de papel se basan en las técnicas de sedimentación, filtración (filtro de discos) y flotación.

La mejor técnica disponible actualmente es la flotación por aire disuelto. La basura aniónica y los finos se aglomeran en flóculos que pueden tratarse físicamente mediante aditivos. Como floculantes se utilizan polímeros de alto peso molecular solubles en agua o electrólitos inorgánicos. Los aglomerados generados (flóculos) son luego eliminados por flotación en la balsa de clarificación. En la flotación por aire disuelto (DAF), el material sólido en suspensión se fija a las burbujas de aire. Estas burbujas transportan el material a la superficie de una balsa circular o rectangular donde se desprende por rascado y vuelve a alimentar a la preparación de pasta. El agua blanca clarificada se toma desde el fondo (ver Figura 5.16).

En un sistema de flotación con una balsa circular, las burbujas de aire se generan mezclando el aire en el agua de circulación a alta presión. Cuando la presión se reduce a la entrada de la balsa, se forman burbujas de aire microscópicas. El tamaño de las burbujas es crítico. Generalmente se agregan agentes de floculación al agua blanca antes de la flotación para mejorar la separación.

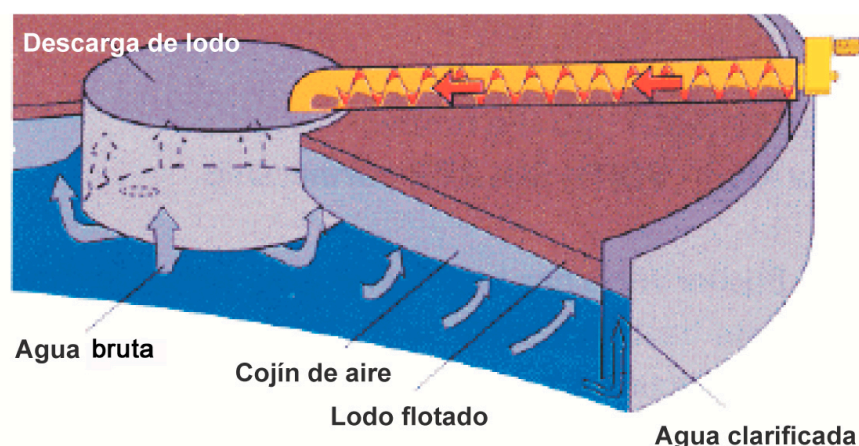


Figura 5.16: Principio operativo de una flotación por aire disuelto (DAF) [Schwarz, 1995]

La ventaja de la flotación es que también puede eliminarse el material coloidal de pequeño tamaño. Esto es una gran ventaja en las plantas de papel recuperado con destintado, en las que una gran parte del material sólido del agua de proceso es coloide. En los sistemas con destintado, la flotación es hoy la única manera de purificar el agua de proceso para reciclar. En una planta con destintado, el material se bombea a la deshidratación de lodo en vez de ser reciclado en el proceso como en las fábricas de papel a base de fibras vírgenes.

Los sistemas de flotación dan generalmente agua muy pura, pero su eficacia depende de diversos factores, que deben ser monitorizados y controlados, como por ejemplo el pH, el caudal, el tamaño de las burbujas de aire y la consistencia de flujo. Sin embargo, en condiciones óptimas la eficacia es muy alta. Otra ventaja de la flotación es que la saturación de aire (oxígeno) del agua de proceso previene la formación de bacterias anaerobias.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica integrada en el proceso. La modernización del sistema de clarificación del agua se combina a menudo con remodelaciones de los sistemas de circuitos de agua. Puede adoptarse en fábricas nuevas y existentes a base de fibras recicladas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la ventaja de la flotación por aire disuelto es que permite eliminar material coloidal de pequeño tamaño. Esto es una gran ventaja en las plantas a base de papel recuperado con destintado, donde grandes partes del material sólido en el agua de proceso son coloides. Utilizando DAF en el punto adecuado en los circuitos de agua, el grado de cierre de los circuitos de agua puede ajustarse continuamente al requisito de calidad del agua de proceso según la concentración de basura aniónica, el consumo de aditivos y los requisitos de calidad del producto.

Efectos sobre otros medios: se necesitan productos químicos como floculantes. Se requiere electricidad principalmente como energía de bombeo para saturar de aire parte del agua sin tratar, o una cantidad correspondiente de agua clarificada, después de elevar la presión a 7 bares. Se genera lodo flotado que debe ser deshidratado.

Experiencia operativa: los sistemas de flotación por aire disuelto son conceptos maduros. Todos los componentes pueden combinarse de forma modular para resultados óptimos en diversas aplicaciones.

Economía: no hay datos disponibles.

Motivo principal de aplicación de la técnica: el motivo principal para modernizar los sistemas de clarificación de agua con la flotación por aire disuelto en plantas con destintado es que se permite la gestión óptima del agua y el ajuste del cierre de los circuitos del agua según se requiera (ver Figura 5.3 y Figura 5.4).

Plantas de ejemplo: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b], [Schwarz, 1995]

5.3.9 Cogeneración de calor y electricidad (CHP)

Descripción de la técnica: la industria del papel es una industria con un elevado consumo de energía. La velocidad creciente de las máquinas de papel, sistemas de proceso de papel recuperado más sofisticados, y el desarrollo tecnológico en general han dado lugar a un mayor consumo de electricidad en las fábricas de papel, mientras que el consumo específico de vapor se ha mantenido prácticamente sin cambios.

Las pérdidas de energía de la generación de electricidad y de la producción de calor pueden reducirse mediante la generación combinada de ambos, calor y electricidad (CHP, también denominada cogeneración). Las plantas de cogeneración elevan la eficacia de conversión del consumo de combustible desde alrededor de un tercio en las plantas eléctricas convencionales hasta alrededor del 80% (o más). Así, en muchas fábricas de papel es posible aumentar el rendimiento energético total del proceso mediante la cogeneración, reduciendo así el consumo de combustible y las emisiones a la atmósfera. Los requisitos energéticos y la relación calor-electricidad en la industria del papel y el cartón son muy apropiados para el uso de la CHP [Pröger, 1996]. Las características de los procesos, con necesidades altas y equilibradas de electricidad y de calor, así como la regularidad de funcionamiento a lo largo del año, son también favorables.

Muchas fábricas de papel han instalado diversos tipos de procesos de cogeneración. Por ejemplo, para salas de calderas con combustión a gas, pueden instalarse una o varias turbinas de gas antes del generador de vapor existente con combustión suplementaria, para conseguir una mayor producción de electricidad en la planta. Si ya hay una turbina de vapor en funcionamiento, puede instalarse una turbina de gas antes del generador de vapor para generar un mayor rendimiento energético.

Hay distintos esquemas de centrales eléctricas de ciclo combinado en el mercado. Qué sistema se aplica depende principalmente de las centrales eléctricas existentes ya en operación y de las condiciones locales.

Como ejemplo, se describe brevemente el sistema más moderno y eficaz de cogeneración de ciclo combinado de gas / vapor. Este tipo se caracteriza por una eficacia muy alta y la capacidad de producir - para la misma cantidad de calor requerida en la fábrica de papel - considerablemente más electricidad que las plantas de vapor anteriores. Cuando sea practicable, este sistema debe considerarse como la opción preferible.

Al igual que en la tecnología de turbina de gas normal, se toma aire de la atmósfera y se comprime. En la cámara de combustión, el combustible y el aire del compresor de la turbina de gas se mezclan y se produce la combustión. Después de la combustión, el gas de combustión se expande en una turbina, que acciona un generador. En centrales eléctricas de ciclo combinado, la energía térmica contenida en el gas de escape de la turbina de gas se utiliza en un generador de vapor de recuperación de calor para producir el vapor que se utiliza para generar electricidad adicional a través de una turbina de vapor.

Las plantas para la cogeneración de calor y electricidad convierten un 80-93% de la entrada de energía en un 40-70% de electricidad y un 45-20% de calor, según las necesidades específicas de las fábricas y el sistema aplicado. La generación de electricidad convencional convierte algo menos del 40% de la entrada de energía en electricidad. El resto del aporte de energía se pierde.

Aplicabilidad y caracterización: técnica integrada en el proceso. La cogeneración es una técnica bien conocida y desarrollada. Puede ser aplicada a fábricas nuevas y existentes, si la configuración de la fábrica lo permite. En plantas existentes, la cogeneración puede ser puesta en práctica por ejemplo remodelando turbinas de vapor de contrapresión existentes, mediante su transformación en plantas de cogeneración de ciclo combinado. El tamaño relativamente pequeño de la mayoría de las fábricas de papel tisú puede hacer la CHP menos viable que para fábricas grandes.

Principal beneficio medioambiental conseguido: las emisiones por unidad de calor o electricidad generada se reducen considerablemente como resultado de la mayor eficacia térmica de la CHP. Las eficacias térmicas globales pueden llegar al 93%, reduciendo así la tasa de emisión de dióxido de carbono en alrededor del 50% en comparación con los sistemas

convencionales de generación de electricidad por combustión, con una eficacia eléctrica de alrededor del 38%. Por contra, las emisiones a la atmósfera in situ aumentarán.

En la Tabla 5.26 se recopila un ejemplo de los ahorros de combustible y de los índices de reducción de emisiones alcanzados para los principales agentes contaminantes, para una turbina de gas en aplicaciones de ciclo combinado (GuD). El ejemplo representa un proceso de cogeneración que alcanza la máxima eficacia térmica posible.

En este ejemplo, la cogeneración combinada de vapor y electricidad (eficacia de combustible del 93%) se compara con la generación de electricidad convencional en una instalación de la red pública con combustión a carbón (eficacia eléctrica del 40%, ejemplo de la situación en Alemania) y una generación de vapor in situ (eficacia térmica del 90%). Debe observarse que las mejoras alcanzables dependen del sistema con el que se compare.

Ejemplo de cogeneración combinada diseñada para 40 t vapor /h; Producción de unas 20t/h					mg/MJ [*]
Potencia eléctrica combinada	MW			9,5	
Calor de proceso combinado	MW			26,0	
Relación electricidad / calor	MW/MW			0,37	
	Instalación	Turbina de Gas	Combustión auxiliar	Total	
Capacidad térmica por combustión	MW	14,8	24,4	38,2	
Caudal de gas (condiciones normales, seco)	m ³ /h			48.150	
Emisión de NO _x [*]	mg/m ³			160	
Emisión de CO [*]	mg/m ³			5	
Emisión de SO ₂ [*]	mg/m ³			0	
Flujo de masa de NO _x	kg/h			7,7	60
Flujo de masa de CO	kg/h			0,2	1.5
Flujo de masa de SO ₂	kg/h			0	0
Flujo de masa de CO ₂	t/h			7,6	59,5
* el contenido de oxígeno en el gas residual es del 3 %					
Electricidad por servicio público, combustión a carbón 360 MW–Vapor de proceso por bloque de vapor 40 t/h					
Cuota de generación de electricidad	MW			9.5	
Generación de calor	MW			26	
	Instalación	Turbina de Gas	Combustión auxiliar	Total	
Capacidad térmica por combustión	MW	25	29	54	
Caudal de gas (condiciones normales, seco)	m ³ /h	28.500	29.200	57.700	
Emisión de NO _x [*]	mg/m ³	300	130		
Emisión de CO [*]	mg/m ³	250	10		
Emisión de SO ₂ [*]	mg/m ³	200	0		
Flujo de masa de NO _x	kg/h	8.6	3.8	12.3	96
Flujo de masa de CO	kg/h	7.1	0.3	7.4	58
Flujo de masa de SO ₂	kg/h	5.7		5.7	44.6
Flujo de masa de CO ₂	t/h	8.27	5.8	14.07	110
Nota explicativa: Se supone que la cogeneración sustituye la generación de electricidad por parte de los servicios públicos. En Alemania, la electricidad a gran escala es generada por instalaciones con combustión a carbón. La comparación se hace con una central eléctrica con una eficacia del 40% con desulfurización y desnitrificación modernas y pérdidas por transmisión del 2%. * Cálculo para conversión de las cifras en valores específicos: 1 MW x 3600 = MJ; ej: (9,5 + 26,0) x 3600 = 127800 MJ/h; o sea, las emisiones específicas de NO _x pueden calcularse como 7700g/h : 127800 MJ/h = 60 mg/MJ					

Tabla 5.26: Comparación del comportamiento medioambiental de una planta de cogeneración combinada con el suministro por los servicios públicos en las condiciones imperantes en Alemania [Ejemplo calculado por F.Hutter GmbH Biberach, Germany].

En el caso descrito en la Tabla 5.26, se consiguen los siguientes índices de reducción mediante la aplicación de cogeneración combinada:

- Consumo de combustibles: reducción del 29 %,
- NO_x: reducción del 38 %,
- CO: reducción del 97 %,
- SO₂: reducción del 100 %,
- CO₂, fósil: reducción del 46 %.

Monitorización de emisiones: en las grandes plantas de cogeneración, el contenido de NO_x y CO del gas de escape se controla de forma continua. Otras fábricas pueden realizar mediciones periódicas de NO_x y CO.

Efectos sobre otros medios: junto con el efecto del invernadero, las plantas de cogeneración basadas en turbinas de gas en aplicación de ciclo combinado se consideran como una opción importante para la reducción del CO₂ debido a su eficacia térmica comparativamente alta incluso para unidades de capacidad relativamente pequeña (a partir de algunos MW). La alta relación de electricidad / calor y la alta eficacia de conversión de combustibles en electricidad y calor reduce considerablemente las emisiones específicas de CO₂ por kWh producido en comparación con las centrales eléctricas convencionales. Las emisiones globales para la generación de energía disminuyen debido a una mayor eficacia térmica.

Datos Operativos: la cogeneración de calor y electricidad utilizando diversos esquemas de ciclo combinado se ha aplicado en una serie de fábricas de papel en Europa con buenos resultados. No se han detectado problemas importantes. En las plantas de gran capacidad, se requiere personal cualificado para gestionar su funcionamiento.

Economía: los ahorros obtenibles y el tiempo del amortización dependen principalmente del precio de la electricidad y de los combustibles en los respectivos países europeos. Hay que tener en consideración los costes de inversión y los costes de amortización y mantenimiento. Para las fábricas que han aplicado cogeneración de calor y electricidad, esta medida era una medida rentable (con los costes de la energía existentes). La inversión específica para transformar las unidades existentes de turbina de vapor de contrapresión en plantas de cogeneración de ciclo combinado es del orden de 1000 Euro/kW.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: reduce considerablemente el consumo de combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero) y de otros contaminantes atmosféricos relacionados con la generación de energía mediante la combustión de combustibles fósiles. La cogeneración de calor y electricidad es a menudo una medida económicamente viable y hace que las fábricas sean más independientes de los proveedores externos de electricidad. Si se aprovecha todo el potencial de cogeneración de una instalación, en la mayoría de los casos la producción de la planta excederá la necesidad de electricidad de la fábrica. Con una generación de alta eficacia podrá haber incluso una cierta cantidad de electricidad disponible para la red pública, si las condiciones globales del mercado lo favorecen. Puede contribuir substancialmente a los compromisos del protocolo de Kyoto.

Plantas de referencia: el uso de generación combinada de calor y electricidad es una técnica bien conocida y se aplica en numerosas fábricas de papel en Europa.

Bibliografía

[Rentz, 1996], [Pröger, 1996], [Datos de una fábrica de papel alemana a base de FRC]

5.3.10 Manipulación y proceso (deshidratación) de rechazos y lodo in situ

Esta técnica es sólo aplicable en sentido estricto a los "papeles marrones" fabricados a base de papel recuperado. Sin embargo, la deshidratación es una preocupación ambiental para todas las

fábricas de papel a base de FRC, aunque tendrán distintas cantidades y composición de rechazos y lodo.

Descripción de la técnica: en el proceso de papel recuperado, la eliminación de impurezas (principalmente en términos de componentes que no son del papel) de la pasta aguada es uno de los pasos de proceso más importantes. Las impurezas son eliminadas mediante múltiples etapas de limpieza y tamizado en los diversos puntos de la preparación de pasta. En la producción de papel para ondular y testliner, la pérdida de material oscila entre el 4 y el 8 %, según las calidades de papel recuperado procesadas, la configuración de preparación de pasta establecida y la calidad del papel a producir. Los rechazos generados pueden subdividirse en rechazos pesados y gruesos y rechazos ligeros y finos. Normalmente estos rechazos no tienen ningún potencial de reciclaje como material y son desechados en vertedero.

Independientemente de la reutilización o desecho final, la deshidratación de los rechazos es una etapa esencial de manipulación de residuos. Todos los métodos comúnmente aplicados de recuperación de energía de residuos se benefician de un alto contenido de materia seca de los rechazos. Hoy, el material retirado por el ragger, así como los rechazos de los sistemas de desecho del pulper no son sometidos en su mayoría a ninguna deshidratación especial. Debido a su composición material, el "escurrido" produce un contenido de materia seca del 60 al 80 %. Para la deshidratación de rechazos pesados y gruesos producidos por limpieza de alta densidad y pretamizado, se utilizan transportadores helicoidales de tamizado, tamices vibratorios, y clasificadores de tornillo y de rastrillo. Puede alcanzarse un contenido de materia seca de un 60 a un 80 %. La deshidratación de rechazos ligeros y finos de la limpieza delantera y del tamizado fino mediante tamices, alambres sin fin o tamices vibratorios es seguida generalmente por una ulterior deshidratación mediante prensas de tornillo. El contenido de materia seca alcanzable está en torno al 50 - 65 %.

El exceso de lodo generado en las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales en la mayoría de las fábricas de papel europeas que producen papel para ondular y testliner se reutiliza en la producción de papel. En relación con el volumen de papel recuperado usado, el volumen del lodo reutilizado es inferior al 1 % en peso seco. Un volumen tan pequeño puede utilizarse como materia prima para la producción de papel sin afectar la operatividad de la máquina de papel y las características del papel. En este caso no son necesarias instalaciones de deshidratación. Diversas investigaciones han demostrado que la reutilización del exceso del lodo de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales en la producción de papel no aumenta la concentración de contaminantes perjudiciales en el papel producido, puesto que el contenido de sustancias perjudiciales en el lodo en sí es muy bajo.

Aplicabilidad y caracterización: técnica integrada en el proceso. Las instalaciones de deshidratación de rechazos son comunes en fábricas de papel nuevas, así como fábricas más antiguas. Es posible la modernización a sistemas de deshidratación más eficaces. Hay que tener en consideración los aumentos resultantes en la carga hidráulica de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: según los tipos rechazos y el sistema de deshidratación de rechazos, el contenido de agua de los rechazos puede reducirse de un 40 a un 75 %. En caso de desecho en vertedero, el riesgo de generar aguas de escorrentía se reduce al mínimo. Cuando se realiza la combustión de rechazos en centrales eléctricas o en hornos rotatorios de cemento, la demanda de energía para la evaporación del agua de los rechazos disminuye. Esto contribuye a un mayor índice de recuperación de energía.

Monitorización de emisiones: las emisiones al agua de las instalaciones de deshidratación del rechazo son controladas por medidores de caudal. El agua exprimida va a parar generalmente al sistema de agua de proceso o a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Efectos sobre otros medios: la deshidratación de rechazos produce un volumen creciente de agua para tratar. Dado que la deshidratación se realiza generalmente sólo mediante fuerzas mecánicas, la contaminación del agua exprimida es igual a la del agua de proceso. Al usar prensas de tornillo, se tiene la posibilidad de calentar los rechazos inyectando vapor, lo que afecta la contaminación del agua exprimida.

Esto debe tenerse en consideración especialmente en los casos en los que la planta de tratamiento de aguas residuales se acerca ya a su capacidad máxima. La inyección de vapor tiene un efecto sobre otros medios por lo que respecta a consumo de energía y emisiones a la atmósfera.

Datos operativos: los procesos de deshidratación de rechazos se han utilizado en fábricas de papel durante muchos años con buenos resultados en términos de una mayor sequedad de los rechazos y disponibilidad de las máquinas afectadas. Para obtener una alta eficacia de deshidratación, la mayoría de las nuevas instalaciones de los últimos años disponen de prensas de tornillo.

Economía: los costes de inversión para la deshidratación de rechazos - incluyendo un tambor de deshidratación como primera etapa y una prensa de tornillo como segunda etapa - a un contenido de materia seca del 65 % son de unos 200000 Euros. Los costes de mantenimiento anuales no deben exceder los 25000 Euros. Los costes corresponden a un volumen anual de rechazos de 13000 toneladas de materia seca.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el motivo principal de aplicación de procesos de deshidratación de rechazos era la reducción del volumen de residuos a desechar en vertedero. Dado que la combustión de los rechazos para la recuperación de energía, por ejemplo en la producción de cemento, se ha convertido en una alternativa al vertido, actualmente se concede alta prioridad a este tipo de manipulación de rechazos.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[IFP, 1998], [Borschke, 1997], [Krieger, 1998]

5.3.11 Utilización y desecho medioambientalmente sostenible de residuos

Para los aspectos generales de la gestión de residuos y opciones para el reciclaje de materiales y recuperación de energía en fábricas de papel, ver también la Sección 6.3.14.

Las fuentes principales de residuos sólidos en fábricas de papel a base de FRC son la preparación de pasta, la clarificación del agua de proceso y el tratamiento de aguas residuales (ver también 5.2.2.6). Cabe distinguir dos tipos principales de procesos:

En las fábricas de papel que procesan papel recuperado *sin* destintado (ej: testliner, papel para ondular, cartulina), las impurezas gruesas del sistema de desecho del pulper, los rechazos de diversas etapas de tamizado y limpieza de la planta de preparación de pasta, y el lodo del tratamiento de aguas residuales constituyen las principales fracciones de residuos. Los rechazos generados ascienden a un 4 - 10 %, en relación con la entrada de la materia prima. Los rechazos de la planta de preparación de pasta en la producción de papeles de embalaje marrones sin destintado tienen sólo un potencial de reciclaje de material limitado, ya que consisten en una mezcla indefinida de componentes que no son de papel que se separan del papel recuperado. Normalmente, estos rechazos se desechan en vertedero. Sin embargo, debido a su alto valor calorífico, del orden de 22-24 MJ/kg de materia seca por la alta proporción de plásticos, los rechazos son adecuados para la recuperación de energía, en sustitución de los combustibles fósiles (ver abajo).

Sólo hay posibilidad de reciclaje de material para los rechazos de las etapas finales de limpieza y del tamizado del circuito de la máquina de papel, ya que tienen un bajo contenido de plásticos y otras impurezas. Por lo tanto, en algunas fábricas esta fracción de residuos se recoge y deshidrata, utilizándose como sustrato para compostaje de bioresiduos. En especial, la práctica actual de compostaje varía perceptiblemente entre los Estados Miembros. Mientras que en algunos países se incentiva el compostaje del lodo de las fábricas de papel a base de FRC, en otros (ej: Alemania) se desaconseja o prohíbe el compostaje de los residuos de la producción de papel.

Las fábricas de papel a base de FRC *con* destintado producen además altas cantidades de lodo de destintado, y a menudo de lodo de la clarificación del agua de proceso. Los rechazos y el lodo generados ascienden a un 15 - 40 %, en relación con la entrada de materia prima. En las plantas de DIP, el lodo de destintado, que contiene principalmente fibras cortas, estucos, cargas y partículas de tinta, son la fracción crucial de residuos que debe manipularse.

Normalmente, la mayor parte del lodo todavía se desecha en vertedero. En algunos países se practica el esparcimiento en agricultura o el compostaje, mientras que en otros países se desaconseja o se prohíbe esta opción. En las grandes plantas de DIP, el lodo de destintado puede ser incinerado junto con el lodo de tratamiento de aguas residuales. Existen diversas opciones para la utilización energética de los rechazos y lodos que contienen material orgánico (plásticos, fibras, y finos):

- Incineración en una planta de incineración de residuos in situ (ver ejemplo 1 y ejemplo 3 más abajo. El ejemplo 1 es aplicables a testliner y papel para ondular, mientras que el ejemplo 3 describe la incineración de rechazos y lodo de destintado de plantas de DIP).
- Combustión en una central eléctrica con combustión a carbón in situ (ver ejemplo 2 más abajo).
- Combustión en la industria de cemento (no se describe aquí en detalle, ya que esta opción está regulada en el marco de los permisos para hornos de cemento. Sólo se comentan algunos aspectos).

Los rechazos pueden utilizarse como combustible substitutivo en la industria del cemento, como alternativa a los combustibles fósiles. Los residuos que se alimentan a través del quemador principal serán descompuestos en la zona de combustión primaria a temperaturas de hasta 2000°C. Los componentes inorgánicos quedarán fijados en la escoria de cemento. Los residuos alimentados a un quemador secundario, precalentador o precalcinator, se quemarán a temperaturas más bajas, lo que es no siempre es suficiente para oxidar el material orgánico totalmente. Los rechazos se alimentan normalmente a una etapa secundaria de combustión a la entrada del horno rotatorio. La alimentación de rechazos y lodo de las fábricas de papel al quemador secundario supone un cierto riesgo de que ocurran emisiones de hidrocarburos indeseados (COVs, dioxinas). En esta zona de combustión, la temperatura asciende sólo de forma lenta, lo que puede hacer que los plásticos ardan sin llama. Por lo tanto, los operadores de los hornos de cemento deben cerciorarse de que el uso de rechazos de las fábricas de papel como sustitutos de los combustibles fósiles no dé lugar a emisiones crecientes de COVs o de sustancias orgánicas halogenadas. Los análisis y el control de la composición de los residuos a quemar y de las emisiones resultantes a la atmósfera pueden evitar este riesgo. La idoneidad de las fracciones de residuos de las fábricas de papel como substitutos para los combustibles fósiles en la industria del cemento debe decidirse caso por caso. Al incinerar los rechazos de las fábricas de proceso de papel recuperado, el contenido de cloro de las cenizas volantes puede ser un factor limitante para el uso ulterior de la ceniza en el caso de una fábrica de cemento.

Para obtener una superficie grande y un buen comportamiento de ignición, es necesario un pretratamiento de los rechazos. Esto comprende principalmente trituración primaria, tamizado y trituración secundaria. La trituración y el tamizado pueden combinarse, por ejemplo con un separador magnético y una separación por aire, para recuperar los metales férreos y quitar las

impurezas que podrían dañar los agregados tras la trituración. Generalmente, el pretratamiento de rechazos no se realiza en las fábricas de papel.

Hasta ahora, ninguna de las opciones de utilización de rechazos arriba mencionadas puede considerarse como MTD en general. Las técnicas de utilización de rechazos varían de una fábrica de papel a otra, dependiendo sobre todo de las condiciones locales. Dado que en un futuro próximo el desecho en vertedero, que es la opción de desecho predominante en la actualidad, se permitirá sólo para desechos inertes o para desechos con un bajo contenido de compuestos orgánicos, el desarrollo de las técnicas de utilización de residuos representa un desafío para la industria europea del papel. Las opciones de recuperación se consideran las opciones preferidas para el tratamiento de residuos. Las posibilidades para reducir la cantidad de residuos a desechar en vertedero deben identificarse y asegurarse de que se apliquen, cuando sea factible.

La incineración combinada con la generación de electricidad y vapor se considera como una solución ecológica. En las fábricas de papel europeas se aplican diversas opciones técnicas para la incineración de residuos con recuperación de energía. A continuación se describen tres de ellas, incluyendo una discusión sobre las principales ventajas y desventajas.

La combustión de rechazos de fábricas de FRC sin destinado en una planta de incineración de rechazos in situ (ejemplo 1) depende principalmente del tamaño de la fábrica y de la cantidad de rechazos a incinerar. La combustión de estos rechazos en centrales eléctricas alimentadas a carbón in situ (ejemplo 2) es una técnica muy reciente, y su aplicabilidad depende del tipo de combustible usado para la generación de calor. A este respecto, se considera como un caso especial y tampoco puede considerarse como MTD en general. En contraste, la incineración de rechazos y lodo en plantas de DIP se utiliza más ampliamente en la actualidad en fábricas de papel europeas y se considera como MTD, cuando es factible.

Ejemplo 1: Uso energético de rechazos de fábricas de FRC sin destintado en plantas de incineración de rechazos

La descripción de esta técnica hace referencia a "papeles de embalaje marrones" fabricados a partir de papel recuperado. No obstante, hay sistemas similares aplicables a otras fábricas de proceso de papel recuperado (ver ejemplo 3).

Descripción de la técnica: en la mayoría de los casos, los rechazos del proceso de papel reciclado de las fábricas de papel que producen papel para ondular y testliner se desechan en vertedero. Suponiendo una proporción de un 4 - 10 % de la entrada de papel recuperado, el volumen de los rechazos separados no es suficiente en muchas fábricas de papel para operar económicamente una planta de incineración de rechazos. Por lo tanto, en contraste con la incineración de lodo (ver ejemplo 3), las plantas independientes de incineración de rechazos del proceso de papel recuperado se instalan sólo en algunas fábricas de papel modernas a gran escala con una alta capacidad de producción. Desde principios de los 90 se ha estado utilizando una técnica mejorada de incineración en una fábrica de papel alemana. La planta de incineración emplea combustión con etapas múltiples y se integra en la central eléctrica de la fábrica. Está diseñada para un volumen de rechazos de 14.000 toneladas por año. El contenido de agua de los rechazos es del orden de un 45-50 %. Después de la trituración y separación magnética del material férreo, los rechazos se alimentan a la etapa superior, donde se produce su secado por los gases de combustión calientes que suben. El transporte de los rechazos a las etapas siguientes se hace con ayuda de mezcladores. Transportan los rechazos a través de todas las zonas de combustión, de arriba a abajo. El gas de combustión de la parte superior del horno se recicla a las etapas de combustión, donde se recalienta. A 800– 900°C, el gas de combustión de las etapas de combustión se quema totalmente. Esto hace innecesaria una cámara de combustión separada y permite la combustión económica de los rechazos.

La unidad de purificación del gas de combustión está equipada de un lavador húmedo de dos etapas para la eliminación de agentes contaminantes ácidos, principalmente dióxido de azufre y cloruro de hidrógeno. El líquido del proceso de lavado húmedo se neutraliza y se trata con agentes de precipitación y floculación para eliminar los metales pesados. El lodo con metales pesados se desecha en vertedero. Para minimizar las emisiones de dioxinas, se inyecta una mezcla de carbón activado y zeolita en la corriente de gas de combustión reciclado. Los adsorbentes usados son desechados en vertedero. La reducción de las emisiones de NO_x se consigue mediante reducción no catalítica selectiva (SNCR) con amoníaco, que se inyecta en la cámara de combustión. La emisión de partículas sólidas se reduce mediante un precipitador electrostático.

Aplicabilidad y caracterización: dado que el contenido en energía de los rechazos se utiliza para la generación de energía in situ, la incineración de rechazos debe considerarse como medida integrada en el proceso.

La incineración del rechazo en plantas independientes de incineración es una técnica bastante reciente que se utiliza solamente en unas pocas fábricas de gran tamaño "verdes" o recientemente renovadas. En muchas fábricas de papel europeas, el volumen de rechazos producidos en la fábrica de papel puede no ser suficiente para operar una planta de incineración de residuos en condiciones económicas. Por ello, las plantas independientes son sólo viables para fábricas más grandes.

La modernización en fábricas de papel más antiguas es posible, pero es incierto si una planta de incineración, incluida la purificación necesaria del gas de combustión, puede funcionar de una manera económica. Considerando costes de inversión de cerca de 20 MEuros para una planta de incineración de 15000 toneladas/año y el hecho de que los costes específicos para plantas más pequeñas aumentan, la economía es dudosa en el caso de fábricas de papel pequeñas.

Parámetro	Unidad	Valores medidos	Valores límite (según la normativa alemana)*
Partículas sólidas	mg/Nm ³	3,2	10,0
SO ₂	mg/Nm ³	26,0	50,0
NO _x	mg/Nm ³	195	200
CO	mg/Nm ³	14,1	50,0
HCl	mg/Nm ³	1,7	10,0
HF	mg/Nm ³	0,06	1,0
Total-C	mg/Nm ³	1,4	10,0
Cd, TI	µg/Nm ³	< 17,0	50,0
Hg	µg/Nm ³	5	50,0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm ³	71,0	500
Dioxinas/Furanos	ng I-TE/Nm ³	0,097	0,1
Notas:			
* Según la Seventeenth Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act (Orden sobre Incineradores de Residuos y Material Combustible similar), de 23 de noviembre de 1990., los valores hacen referencia a condiciones normales de presión y temperatura (0°C, 1 bar, seco) y a un contenido de oxígeno del 11% en volumen			

Tabla 5.27: Datos de emisiones de la incineración de residuos en una planta de combustión de múltiples etapas en comparación con los estándares de la normativa alemana [IFP, 1998]

Por este motivo, por ejemplo, en la provincia Gelderland, Holanda, un grupo de fábricas que funcionan a una distancia relativamente corta una de otra incineran sus residuos en una caldera de lecho fluidizado de uso común. La composición de la ceniza es controlada estrictamente para su uso en el sector de la construcción.⁹

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la Tabla 5.27 resume los datos de emisiones de la planta de incineración de residuos arriba. Los valores indicados son cifras medias para 1997.

Monitorización de emisiones: las partículas sólidas, SO₂, NO_x y CO se miden de forma continua, los otros parámetros mediante el análisis de muestras individuales.

Efectos sobre otros medios: la incineración de rechazos permite un ahorro de capacidad en los vertederos. Las cenizas resultantes son adecuadas para su reutilización, por ejemplo para su uso en la construcción de carreteras. Permite la sustitución de combustibles fósiles para la generación de energía. Hay emisiones del incinerador, que deben ser tratadas. Las emisiones alcanzables se indican en la Tabla 5.27 anterior. Por otra parte, se reducen las emisiones potenciales de gases de los vertederos. También se generan aguas residuales cuando se utilizan “scrubbers” húmedos para el tratamiento de los gases residuales.

Datos operativos: en 1997 la eficacia operativa de la planta de incineración referida era de alrededor del 85 % y funcionaba satisfactoriamente. El mantenimiento y la inspección no excedieron los periodos de tiempo previstos.

Economía: en 1991 los costes de inversión ascendieron a unos 20 MEuros. Los costes específicos de operación no están disponibles. Los costes totales para la incineración de 1 tonelada de materia seca de rechazos (50 – 60 % de materia seca) eran de unos 100 Euros. Estos costes incluyen costes de inversión y de explotación, así como el ahorro de gas natural, que es la fuente de energía de la fábrica referida.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: en el caso de la planta de la referencia, era obvio hace 10 años que la capacidad del vertedero situado cerca de la fábrica de papel resultaría insuficiente, lo que produciría un aumento de los costes de desecho en vertedero.

Plantas de referencia: SCA Packaging Industriepapier GmbH, Aschaffenburg/Germany

Bibliografía: no disponible.

⁹ N.V. AVIRA and CDEM Holland BV, MER Thermische Conversie-installatie Duiven, 1997.

Ejemplo 2: Co-incineración de rechazos de fábricas de papel a base de FRC sin destintado en centrales eléctricas alimentadas con carbón, incluido el tratamiento de los gases de combustión

Esta técnica sólo es aplicable en sentido estricto a las fábricas de papel a base de FRC que fabrican papel ondulado. Sin embargo, puede valer la pena investigar caso por caso si un sistema similar podría ser aplicable en otras fábricas de proceso de papel recuperado.

Descripción de la técnica: debido a su composición no homogénea, normalmente los rechazos de fábricas que procesan FRC sin destintado se descargan en vertedero. Sin embargo, debido a su alto valor calorífico del orden de 22 - 24 MJ/kg de materia seca, debido a su alto contenido en plásticos, los rechazos son adecuados para recuperación de la energía, en sustitución de combustibles fósiles (ver también el ejemplo 1).

La Tabla 5.28 muestra la composición de los rechazos como promedio de 18 análisis realizados en diversas fábricas de papel alemanas que producen papel para ondular y testliner.

Compuesto	Unidad	Valor
Plástico	% peso	26,0
Fibras	% peso	27,0
Vidrio y piedras	% peso	0,1
Metales	% peso	0,9
Otro material orgánico	% peso	1,0
Agua	% peso	45,0
Valor calorífico (100 % materia seca)	MJ/kg	23,8
Valor calorífico (55 % materia seca)	MJ/kg	12,0
Contenido de cloro de la fracción de plástico	% peso	5,5
Contenido de cloro de los rechazos	% peso	1,4

Tabla 5.28: Composición de los rechazos de la fabricación de testliner y papel para ondular [IFP, 1998]

En fábricas de papel que queman combustibles sólidos como lignito o antracita en sus plantas de energía, la co-incineración de rechazos es factible. Es necesaria la instalación de una cámara de secado y gasificación conectada con la cámara de combustión de la planta de energía. En la cámara de secado y gasificación, los rechazos son gasificados por la oxidación del material que contiene carbón con aire. Los gases generados durante la gasificación son sometidos a postcombustión en la cámara de combustión de la planta de energía. Es necesario asegurar condiciones apropiadas de combustión ($> 850^{\circ}\text{C}$ y un nivel de oxígeno $>6\%$) para evitar problemas con COVs y hollín. Como parámetro de control puede monitorizarse el CO ($<50\text{ mg/Nm}^3$).

Antes del secado y gasificación, los rechazos requieren el tratamiento siguiente: En un primer paso, se realiza una clasificación en un tamiz de tambor. Los rechazos con un tamaño de más de 50 mm se trituran. El material férreo se elimina luego por separación magnética. Se utiliza una parrilla móvil para alimentar los rechazos a la cámara de secado y gasificación. En la Figura 5.17 se muestra un esquema simplificado de la técnica descrita.

Aplicabilidad y caracterización: dado que el contenido energético de los rechazos se utiliza para la generación de energía dentro de la fábrica, la co-incineración de rechazos debe considerarse como una medida integrada en el proceso. En general, todas las plantas de energía existentes que utilizan combustibles sólidos (lignito, antracita) deben ser adecuadas para la co-incineración de rechazos. Sin embargo, la mayoría de los productores europeos de papel para ondular y testliner utilizan gas natural como combustible para sus plantas de energía. Por lo tanto, la co-incineración de rechazos se restringe a fábricas pequeñas y a menudo antiguas.

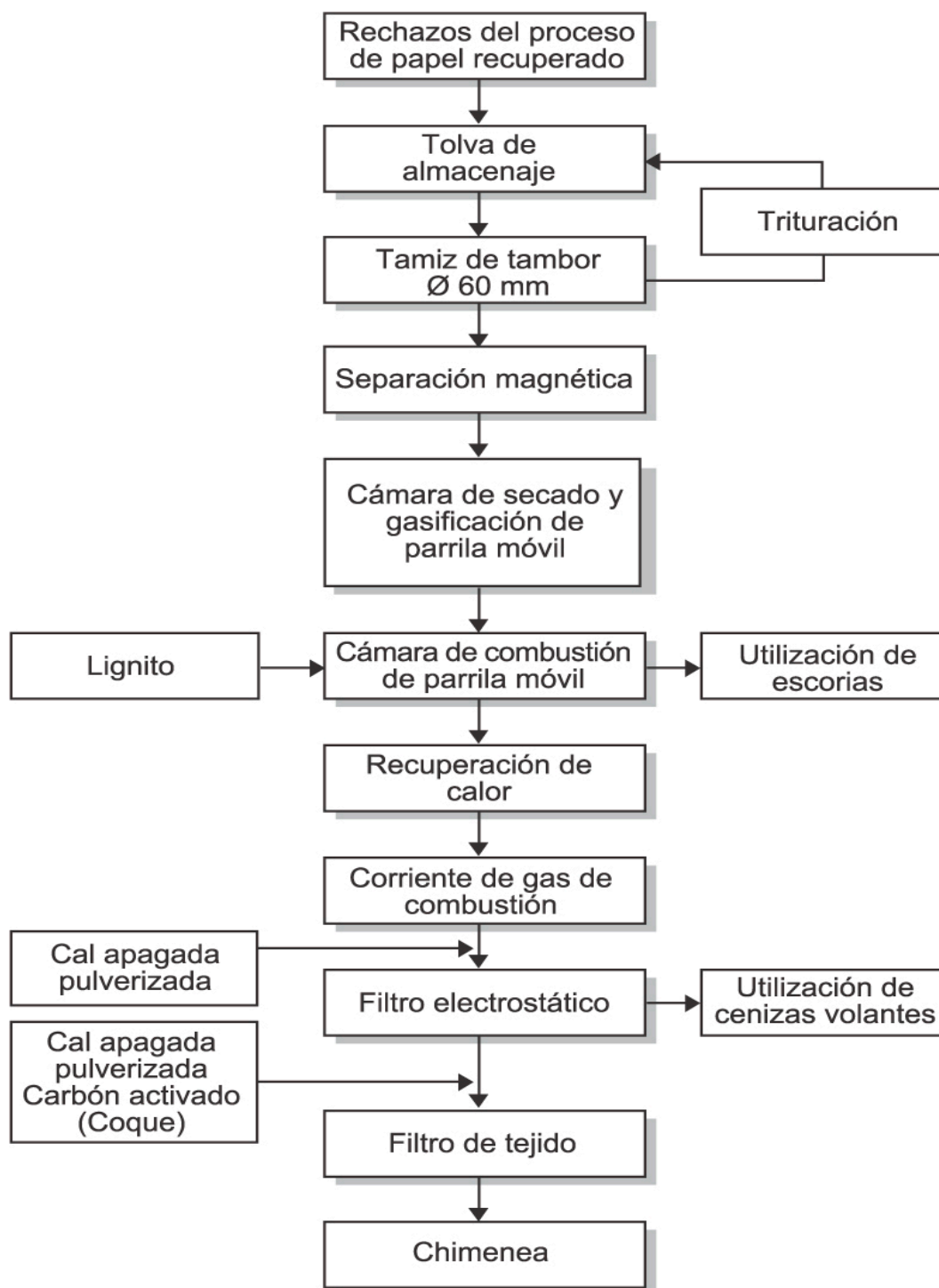


Figura 5.17: Esquema simplificado de co-incineración de rechazos en una planta de energía alimentada a lignito [IFP, 1998].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la co-incineración de rechazos en plantas de energía existentes requiere medidas adicionales para la purificación de los gases de combustión. Normalmente, este tratamiento de los gases de combustión debe cumplir requisitos rigurosos. Para eliminar el HCl causado por el alto contenido de cloro de los rechazos, se inyecta cal apagada seca pulverizada (hidróxido de calcio) en la corriente del gas de combustión. Mediante la inyección de cal seca en la zona de temperatura correcta, es posible minimizar el HCl, el HF, y el SO₂. Los niveles de emisiones generalmente alcanzables son: HCl < 30 mg/Nm³, HF < 5 mg/Nm³, y < 200 mg/ Nm³. Son posibles valores más bajos según la

dosificación de adsorbente. Los gases residuales se tratan posteriormente en un precipitador electrostático y además en un filtro de tejido. La concentración de partículas sólidas en el gas de combustión purificado no deberá superar los 10 mg/m³. La eliminación de dioxinas del gas de combustión se consigue con coque o carbón activado. Los niveles generalmente alcanzables de emisión de dioxinas / furanos son < 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Son posibles valores más bajos, según la dosificación de carbón activado. El gas residual se trata posteriormente en la instalación de eliminación de polvo arriba mencionada. Debido al hecho de que las plantas de co-incineración existentes sólo se han iniciado recientemente (1997), no hay datos fiables disponibles.

Monitorización de emisiones: la concentración de HCl, de partículas sólidas y O₂ en el gas de combustión purificado se mide continuamente.

Efectos sobre otros medios: la co-incineración de rechazos se considera que tiene un balance positivo por lo que respecta al comportamiento ambiental alcanzado en comparación con el desecho en vertedero. Al usar los rechazos para la generación de energía, los combustibles fósiles pueden ser sustituidos. 1 tonelada de rechazos con un contenido en agua de un 45 % sustituye unas 0,7 toneladas de lignito. Dado que la proporción de fibras sin CO₂ en los rechazos es del orden del 50% en relación con sustancias sólidas, la emisión resultante de CO₂ fósil se verá disminuida. La co-incineración de rechazos es un método eficaz para reducir al mínimo los desechos normalmente gestionados en vertedero. En este caso, las cenizas que resultan son adecuadas para su reutilización, por ejemplo en la restauración de minas de lignito. En otros casos, se recogen el polvo, los metales pesados fijados a las partículas y los adsorbentes arriba indicados, que deben desecharse.

Datos operativos: la co-incineración de rechazos es una técnica muy reciente. La puesta en marcha de las primeras cámaras de secado y gasificación se remonta a finales de 1997. Por lo tanto, no es posible dar suficiente información sobre prácticas y disponibilidad de las plantas de incineración.

Economía: los costes de inversión para una planta de co-incineración incluyendo las instalaciones para el pretratamiento de los rechazos, la cámara de secado y gasificación para un volumen de rechazos de máximo 3 toneladas/h son del orden de unos 2,5 MEuros. Suponiendo costes de desecho en vertedero de 50 Euros/t, se deriva un ahorro anual de 0,6 MEuros. La sustitución del lignito ahorra 0,3 MEuros/año. Los costes de mantenimiento no pueden especificarse en este momento. Los costes de depreciación e intereses no se toman en consideración, ya que no están disponibles.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: según la localización de las fábricas de papel, los costes de desecho en vertedero podrían ser muy altos en la actualidad y seguir aumentando en el futuro. Las dos fábricas que aplican la co-incineración de rechazos en plantas de energía con carbón funcionan en Alemania. Considerando que después de 2005 en Alemania no estará permitido desechar en vertedero residuos con un contenido de materia orgánica superior al 5 %, está claro que la aplicación de esta técnica es una inversión cara al futuro.

Plantas de referencia: Zülrich Papier-Recycled Paper Europe, Zülrich/Alemania, Schöllerhammer Industriepapier, Düren/Alemania

Bibliografía: No disponible.

Ejemplo 3: Incineración de residuos (rechazos y lodos) de plantas de DIP en combinación con generación de electricidad y vapor

A diferencia de los ejemplos 1 y 2, el ejemplo descrito a continuación hace referencia a plantas de DIP o que utilizan una mezcla de pasta destintada (DIP) y pasta mecánica.

Descripción de la técnica: la incineración de diversos tipos de lodo y de rechazos se utiliza ampliamente hoy en la industria de la pasta y el papel, incluyendo rechazos, lodo de destintado, lodo del tratamiento de aguas residuales etc. Hay disponibles dos opciones siguientes para la incineración de rechazos y lodo:

- Combustión con corteza en calderas de corteza (solamente para fábricas de papel que utilizan una mezcla de materias primas, como por ejemplo una mezcla de pasta destintada y pasta mecánica cuando se aplica descortezado): Para la combustión, particularmente de lodos con un bajo contenido de materia seca, la caldera de lecho fluidizado es actualmente predominante para las instalaciones nuevas. Esto se utiliza con un 100 % de lodo, aunque es frecuente el uso de un combustible de apoyo, como gas natural, carbón o fuel. La necesidad de combustible de apoyo depende del contenido de materia seca y de ceniza del lodo. Generalmente, se requiere al menos un contenido del materia seca del 35-40 % para una combustión autónoma (ver figura 6)
- Incineración separada del lodo.

Para ser adecuado para combustión en caldera, el lodo de la producción de papel a base de papel recuperado debe ser primero deshidratado (ver Sección 5.3.10). Los filtrados de la deshidratación se tratan en la EDAR. Actualmente algunas fábricas manipulan y reutilizan el filtrado previo a la deshidratación tras microflotación en el proceso de preparación de la pasta.

El *lodo* de destintado de las células de flotación puede quemarse sin pretratamiento después de ser deshidratado. El exceso de lodo deshidratado del tratamiento biológico de aguas residuales puede agregarse, pero tiene sólo una pequeña parte del volumen total de lodo (alrededor del 5 %). Para asegurar una alta temperatura ($> 850^{\circ}\text{C}$), normalmente se quema también gas o corteza en la caldera de combustible sólido (caldera fluidizada). Hay fábricas que queman el lodo solamente, mientras que otros queman todos los residuos, incluidos rechazos o corteza.

En caso de que también se incineren *rechazos* de DIP, deben ser procesados primero para que sean adecuados para ser quemados en una caldera de lecho fluidizado (ver también ejemplo 2, Figura 5.17). El propósito principal del pretratamiento de los rechazos de una planta de destintado es separar los incombustibles y triturar las partículas de combustible al tamaño apropiado para obtener una alta superficie y un buen comportamiento de ignición. Después de su trituración primaria y tamizado, los combustibles serán conducidos al compartimento de combustible de la caldera. Los rechazos restantes serán separados en rechazos férreos y otros rechazos incombustibles.

El pretratamiento de estos rechazos puede consistir en las etapas siguientes:

- *Pretamizado 1* con el fin de separar las partículas de hierro grandes.
- *Trituración primaria* que reduce las partículas que reducirá las partículas a un tamaño adecuado para las siguientes etapas de tamizado.
- *Pretamizado 2* que elimina el resto del hierro.
- *Tamizado* que separa los incombustibles (metales, piedras, vidrio, etc.).

- *Trituración secundaria* que corta las cintas, tiras y cuerdas de plástico que puedan haber pasado la trituración primaria.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la incineración de residuos (rechazos y lodo) en combinación con la generación de electricidad y vapor puede aplicarse en la mayoría de fábricas nuevas y existentes. Sin embargo, la aplicabilidad depende del tipo y capacidad de la caldera en cada caso. Por ejemplo, las fábricas pequeñas no pueden aplicar esta tecnología. Suelen tener sólo calderas muy simples, de fuel o gas, con capacidad o viabilidad técnica limitada para quemar materias sólidas. El mayor contenido de cloro de los rechazos requiere atención especial (corrosión, tratamiento de gases residuales).

Cuando se aplican, las calderas de lecho fluidizado son generalmente más apropiadas y pueden adaptarse con menores costes adicionales que las calderas con combustión en parrilla. Desde el punto de vista de funcionamiento, las calderas de lecho fluidizado tienen muchas ventajas, entre otras una menor sensibilidad a las variaciones de la calidad o de la cantidad del combustible, y en la mayoría de los casos emisiones más bajas, con respecto a las unidades de combustión en parrilla.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el principal logro es la reducción de la cantidad de materia a desechar en vertedero, en un 80- 90 %. Además, se consigue un cambio en la calidad, es decir, los materiales orgánicos se eliminan casi totalmente. Para desecho final o uso de las cenizas hay diversas opciones, según las calidades de la ceniza conseguidas. En algunos casos, las cenizas se desechan en vertedero, en otros se utilizan en el sector de la construcción u otras finalidades con valor añadido.

Los datos de emisiones de la planta de la incineración para el lodo de destintado y el lodo del tratamiento biológico de aguas residuales se resumen en la Tabla 5.29. Los valores mostrados son cifras medias para 1998.

Parámetro	Unidad	Valores medidos en 1998 *	Valor límite Media diaria *	Técnicas de eliminación de emisiones instaladas
Polvo	mg/Nm ³	4,8	10,0	- Uso de filtros de mangas (teflón)
SO ₂	mg/Nm ³	1,1	50,0	- El contenido de S del lodo es muy bajo
NO _x	mg/Nm ³	185	200	- SNCR (inyección de amoníaco)
CO	mg/Nm ³	16,3	50,0	- El lecho fluidizado asegura una buena combustión
HCl	mg/Nm ³	3,5	10,0	- Inyección de un adsorbente (mezcla de calcio y carbón activado) antes de los filtros de bolsa
Total C	mg/Nm ³	1,1	10,0	
Nota:				
* Los valores medidos y los límites de emisión hacen referencia a un contenido de oxígeno del 11% en volumen. Metales pesados y dioxinas están bastante por debajo de los valores límite. Se miden periódicamente.				

Tabla 5.29: Datos de emisiones de la incineración de lodo de destintado (+ un 5% de exceso de lodo) en una planta de combustión en Alemania en comparación con la Normativa Legal Alemana [Declaración Medioambiental Simplificada 1998, fábrica de Sachsen].

La recuperación de energía puede ser un objetivo secundario para aplicar esta técnica. Después de la deshidratación hay un ligero balance energético positivo del orden de 4-5 MJ/t en relación con la incineración de lodo deshidratado (a un 58% de materia seca). Sin embargo, para algunas fábricas de papel que aplican destintado por lavado (ej: las fábricas de papel tisú a partir de FRC), la incineración de lodo produce un consumo neto de energía. Esto es normalmente debido al alto contenido de ceniza y por lo tanto al valor energético reducido del lodo

Efecto sobre otros medios: se lanzan emisiones a la atmósfera desde el incinerador, que deben ser tratadas. Las emisiones alcanzables se indican en la Tabla 5.29 arriba. Por contra, se

reducen las emisiones potenciales de gases del vertedero. Normalmente, la purificación de gases residuales de los incineradores genera una cierta cantidad de residuos que deben ser gestionados. En caso de tratamiento húmedo del gas residual se generan aguas residuales.

Experiencias operativas: la incineración de *lodo* en combinación con la generación de electricidad y vapor se utiliza en muchas fábricas modernas. Sin embargo, la incineración de *rechazos* es mucho más difícil e implica problemas potenciales de emisiones y corrosión. Las posibilidades en la práctica dependen de la capacidad y del tipo de la caldera. La tecnología puede aplicarse de forma limitada en fábricas de papel más pequeñas.

Además de HCl, el cloro desvolatilizado de la combustión en lecho fluidizado será también en forma de cloruro potásico (KCl) y cloruro sódico (NaCl). Se sabe que estas sustancias condensan en la superficie de los tubos, con una tendencia a aumentar la posibilidad para la corrosión en fase fundida. Este tipo de corrosión puede encontrarse en supercalentadores cuando las temperaturas del vapor están por encima de 500°C.

Economía: los costes de inversión para un incinerador nuevo de lodo y rechazos son de unos 7-9 Meuros, y los costes operativos de 0,7 - 0,9 MEuros/a, para una producción de pasta de 700 ADt/d.

Motivo principal de aplicación de la técnica: el área requerida para desecho en vertedero puede reducirse perceptiblemente mediante la incineración de residuos, según el contenido orgánico de los materiales que se quemarán. En muchos Estados Miembros, se desaconseja el desecho en vertedero de residuos con un alto contenido orgánico.

Plantas de la referencia: algunas plantas de proceso de DIP en Europa para papel prensa y papel tisú han instalado sistemas de incineración en lecho fluidizado, como Sachsen Papier Eilenburg, papel prensa (DE), Papierfabrik AG, papel tisú (CH), Haindl Papier Schwedt, papel prensa (DE), WEPA Giershagen, papel tisú (DE).

Bibliografía:

[CEPI, 1998b], [Finnish BAT Report, 1997], [StoraEnso, 1999]

5.4 Mejores Técnicas Disponibles

5.4.1 Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se llama de nuevo la atención del lector al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumos asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector; para las plantas integradas de proceso de FRC, las principales preocupaciones son el consumo de agua, las descargas de aguas residuales (DQO, DBO, sólidos en suspensión, N, P, AOX), el consumo de energía (vapor y electricidad), los residuos sólidos como rechazos, lodo y ceniza, las emisiones a la atmósfera de generación de energía (SO₂, NO_x, CO₂, polvo), el ruido, el calor residual al agua y a veces el olor; los tres últimos son impactos de carácter local;
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico (grupo de trabajo) relevante ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse que esto significa que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe entenderse que significa que puede esperarse que el nivel se alcance durante un período de tiempo substancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica en relación a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar tales factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTDs generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales del MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información de guía a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumo alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

La fabricación de papel a partir de papel recuperado no es un solo proceso sino una serie de procesos unitarios, a menudo ligados e interdependientes. Por lo tanto, es siempre una combinación adecuada de técnicas la que constituye MTD para las plantas de proceso de FRC. El orden de prioridad y la selección de las técnicas o las combinaciones de técnicas depende de las circunstancias locales.

Las mejores técnicas disponibles abajo indicadas son, si no se indica lo contrario, aplicables a plantas nuevas y existentes. En las fábricas de pasta y papel, la aplicabilidad de una técnica está menos influenciada por el hecho de si una fábrica es nueva o existente. Las fábricas de y papel se caracterizan por el hecho de que la maquinaria se remodela en lugar de ser sustituida por completo. La remodelación y el desarrollo modular de las plantas significa que cada instalación es un producto único de su localización e historia. Por otra parte, hay una serie de procesos unitarios que son comunes en todos los países.

Los criterios a considerar en la determinación de las MTD en los casos específicos son más bien que los costes específicos para fábricas más pequeñas son relativamente más altos (economía de escala). Otros factores a considerar son las limitaciones de espacio, que algunas fábricas antiguas pueden afrontar, o la falta de adecuación del material o de la configuración de equipos antiguos que no son compatibles con un mayor grado de cierre de los circuitos de agua. Un mayor cierre del sistema del agua se combina en general con una mayor complejidad del sistema, que necesita ser monitorizado, controlado y comprendido. En ocasiones, las fábricas más pequeñas podrían no disponer del conocimiento necesario para gestionar y controlar soluciones de proceso más complejas con la máxima eficacia posible.

5.4.2 MTD para fábricas de papel que procesan papel recuperado

A continuación se detallan las técnicas que se consideran como MTD para plantas de proceso de papel recuperado. La lista siguiente de MTD no se considera exhaustiva, y cualquier otra técnica o combinación de técnicas que alcancen el mismo (o mejor) funcionamiento pueden también ser consideradas; tales técnicas pueden estar en fase de desarrollo o ser técnicas emergentes o ya

disponibles y no estar descritas en este documento. Para las fábricas integradas de pasta mecánica y papel, se hace referencia a la Sección 6.4 donde se da más información sobre MTD para la fabricación de papel. Si no se indica lo contrario, los datos hacen referencia a valores medios anuales.

Medidas generales

1. Formación, educación y motivación del personal y operarios. Las fábricas de papel son gestionadas por personas. Por consiguiente, la formación del personal puede ser una forma muy rentable de reducir el consumo de agua y las descargas de sustancias nocivas, como por ejemplo los vertidos accidentales de productos químicos.
2. Optimización del control de procesos. Para poder reducir distintos contaminantes de forma simultánea y mantener bajas las emisiones, se requiere un sistema de control de proceso y medición mejorado.
3. Para mantener la eficacia de las unidades técnicas de las fábricas de papel y las técnicas de eliminación asociadas a un alto nivel, debe asegurarse un mantenimiento suficiente.
4. Un sistema de gestión medioambiental que defina claramente las responsabilidades de los aspectos medioambientalmente relevantes en una planta, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, listas de chequeo y otra documentación relevante.

Medidas para reducir las emisiones al agua

Puede conseguirse la reducción del consumo de agua fresca y con ello de los caudales de aguas residuales mediante la aplicación de una combinación de diversas técnicas, como por ejemplo:

1. Separación del agua menos contaminada de la más contaminada y reciclaje del agua de proceso. La separación y reutilización de aguas de refrigeración limpias y el reciclaje del agua de sellado y del agua de proceso de las bombas de generación de vacío son otras formas de reducir el consumo de agua fresca.
2. Gestión óptima del agua (configuración de los circuitos de agua), clarificación del agua por técnicas de sedimentación, flotación o filtración, y reciclaje del agua de proceso para diversos propósitos.
3. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación estricta de los circuitos y flujos de agua a contracorriente.
4. Generación de agua clarificada para plantas de destintado (flotación).

La eliminación de la contaminación del agua está fuertemente relacionada con la recuperación y el reciclaje del agua de proceso para reducir el consumo de agua fresca. El cierre creciente del agua de proceso dará lugar a descargas más pequeñas y concentradas, que en general pueden tratarse más eficazmente. La disminución de los caudales de agua de proceso también aumentará la aplicabilidad de tecnologías avanzadas. Por lo tanto, la reducción del consumo de agua fresca puede dar lugar a menores descargas a las aguas superficiales. El consumo de agua fresca viene determinado principalmente por los requisitos del producto, las calidades de papel y el diseño del circuito de agua de la fábrica de papel (estado de la fábrica). El consumo de agua depende de la cantidad de agua requerida para las duchas de la máquina de papel. Además, la cantidad de consumo del agua fresca depende del conocimiento sobre gestión del agua y la motivación de todo el personal para apoyar la idea de hacer funcionar una fábrica de papel utilizando el mínimo posible de agua. El exceso de agua blanca y de otras aguas de proceso contaminadas se purga del sistema y se trata biológicamente.

5. Instalación de una balsa de homogeneización y tratamiento primario.
Estas medidas se aplican en casi todas las fábricas de papel y se consideran como buena práctica. Son un requisito previo para las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales con un funcionamiento eficaz y estable. Para las fábricas de papel que procesan FRC, no se considera MTD si se emplea como una técnica independiente.

6. Tratamiento biológico aerobio. Ésta es la opción preferible para calidades destintadas y, según las condiciones, también para calidades sin destintar. Hay diversas opciones de tratamiento disponibles que alcanzan buenos resultados en la reducción de la carga orgánica a los medios receptores. La elección de la opción de tratamiento está gobernada principalmente por la concentración inicial, las características de las aguas residuales y la eficacia de eliminación a alcanzar. El diseño y el mantenimiento apropiados de la planta de tratamiento es un requisito previo para sistemas biológicos con un buen funcionamiento. Según la concentración inicial y el sistema de tratamiento elegido, las eficacias de eliminación de carga de contaminación asociadas con las MTD son las presentadas en la Sección 6.3.10 y 5.3.6. El tratamiento común de las aguas residuales de una fábrica de papel o de un consorcio de fábricas de papel en una planta municipal de tratamiento biológico de aguas residuales también se considera MTD cuando se consiguen eficacias de eliminación comparables mediante este tratamiento común.
7. Tratamiento biológico combinado anaerobio y aerobio. Ésta es la opción preferible para calidades sin destintar. Normalmente deben tratarse aguas residuales más contaminadas o debido a un mayor grado de cierre del circuito del agua o a mayores cantidades de sustancias orgánicas disueltas en la preparación de pasta. También hay algunas buenas experiencias para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales de plantas de DIP. El tratamiento anaerobio nunca se utiliza como único tratamiento biológico, sino que va siempre seguido de tratamiento aerobio. En comparación con el tratamiento aerobio, el tratamiento combinado genera perceptiblemente menos exceso de lodo (ver las medidas para reducir los residuos sólidos más adelante).
8. Reciclaje parcial del agua tratada después del tratamiento biológico. El grado posible de reciclaje del agua depende de las calidades específicas de papel producidas. Para calidades de papel sin destintar, esta medida se considera como MTD. Sin embargo, las ventajas y las desventajas deben ser investigadas cuidadosamente y normalmente se requerirá limpieza adicional.
9. Tratamiento de los circuitos internos de agua. Esto incluye las técnicas que deben ser tenidas en consideración cuando el equipo debe ser sustituido o en zonas donde deban cumplirse requisitos ambientales más estrictos. Generalmente, de toda el agua sólo se tratan corrientes parciales que tengan sustancias específicas a eliminar. Aunque los circuitos cerrados de agua con tratamiento biológico en línea del agua de proceso están funcionando en algunos usos a plena escala productiva en Europa para calidades sin destintar, todavía no se considera como MTD. Esto es debido a que los problemas causados por la precipitación de carbonato cálcico en las conducciones y la balsa de aireación de la planta de lodo activado están todavía a la espera de una solución técnica satisfactoria.

Es difícil presentar cifras fiables de cargas de las aguas residuales antes del tratamiento biológico, ya que es raro que dichas emisiones se divulguen con transparencia. Por ejemplo, no suele quedar claro qué técnicas integradas de proceso se aplican para alcanzar los niveles de emisiones notificados sólo con el tratamiento primario. Las emisiones al agua antes del tratamiento dependen en gran medida de la calidad de las materias primas usadas (papel recuperado, aditivos químicos) y de la configuración del proceso (consistencia, temperatura, tratamiento alcalino, y diseño de los circuitos de agua). No se considera que las fábricas representan MTDs, sino que son ejemplos prácticos del mundo real que pueden dar una indicación de las emisiones al agua cuando no se aplica tratamiento biológico. Por consiguiente, los valores de la Tabla 5.30 hacen todos referencia a vertidos al agua con tratamiento primario solamente.

Ejemplos de fábricas de papel a base de FRC	Niveles de emisiones informados después del tratamiento primario solamente			Producción 1997 [Adt/a]	Comentarios
	DQO [kg/t]	DBO ₅ [kg/t]	Caudal ³⁾ [m ³ /t]		
Fábricas con destintado *					
Haindl Papier Schongau, DE	20,2 (2500 mg/l)	10.1 **	8.2	500000 papel prensa, 40000 papel SC, 47000 DIP	Datos de 1997, 84% DIP, 16% TMP
Haindl Papier (Schwedt), DE	23,0 (1500 mg/l)	11.5 **	15.2	250000 papel prensa	Datos de 1997, 100% DIP
Lang Papier Ettringen, DE	15,9 (2100 mg/l)	7.9 **	7.7	129000 papel prensa, 123000 papel SC, 5100 DIP	Datos de 1997, 88% DIP, 12 % pasta GW
Sachsen Papier Eilenburg, DE	18,1 (1600 mg/l)	9 **	11.4	284000 papel prensa, 47000 DIP	Datos de 1997, 100% DIP, 1998: 10 m ³ /t, 13 kg DQO/t
Fábrica 1, tisú a base de RCF, DE	47	23.5 **	10	n./d.	Calidades bajas de papel recuperado como materia prima
Fábrica 2, tisú a base de RCF, DE	20	10 **	10	n./d.	Calidades medias de papel recuperado como materia prima
Fábrica 3, tisú a base de RCF, DE	37	18.5**	11	n./d.	Calidades medias de papel recuperado como materia prima
Fábrica 4, tisú a base de RCF, DE	17,8	9**	17	n./d.	Calidades altas de papel recuperado como materia prima
Sin destintado					
Valor de DQO de [Dutch note on BAT, 1996]	20-30	10-15** (valor estimado)	0 - 5	n./d.	No hay datos disponibles de ejemplos del mundo real
Notas: n./d. = no hay información disponible * Los datos para plantas de DIP están tomados de [Pfitzner, 1999]; los datos de plantas de papel tisú a base de FRC están tomados de [Zippel, 1999] ** El valor de DBO ₅ es estimado, suponiendo que DQO = 2*DBO ₅ . No tiene sentido dar el valor de nitrógeno y fósforo antes del tratamiento biológico, ya que N y P se agregan a las aguas residuales de la fábrica de papel para alimentar la biomasa de la planta de tratamiento de aguas residuales.					

Tabla 5.30: Ejemplos de niveles de emisiones medias anuales al agua después de sólo tratamiento primario de algunas plantas integradas de proceso de FRC con y sin destintado. La lista de fábricas es una selección de las fábricas de las que hay datos disponibles, y por lo tanto no pretende ser completa.

Debido a una falta de transparencia acerca de si las fábricas sin tratamiento biológico han aplicado las MTDs (y también en qué medida), no se proponen niveles de emisiones asociados con el uso de MTDs con sólo tratamiento primario.

La Tabla 5.31 muestra los niveles de emisiones alcanzables de algunas plantas integradas de proceso de FRC en Europa. Puede suponerse que han aplicado una combinación adecuada del MTDs, aunque no necesariamente todas, así como tratamiento biológico de aguas residuales.

Ejemplos de fábricas de papel a base de FRC	Niveles notificados de emisiones alcanzadas Después de tratamiento biológico						Tipo de tratamiento
	DQO	DBO ₅	tot-P	SST	Caudal [m ³ /t]	Producción '97 [Adt/a]	
Con destintado							
Fábrica 1, papel prensa, DE	300 mg/l (2,1 kg/t)	10 mg/l (0,07 kg/t)	0,4 mg/l	14 mg/l (0,09 kg/t)	7	100000	Lodo activado
Fábrica 2, papel prensa, DE	335 mg/l (5 kg/t)	19 mg/l (0,3 kg/t)	0,4 mg/l	n./d.	15	233000 (data: 1996)	Lodo activado
Sachsen Papier, papel prensa, DE	200 mg/l (2 kg/t)	4 mg/l (0,04 kg/t)	0,3 mg/l	n./d.	10	355000 (data: 1998)	Filtro de goteo + Lodo activado
Fábrica 4, papel tisú a base de FRC, DE	100 mg/l (0,9 kg/t)	10 mg/l (0,09 kg/t)	n./d.	n./d.	9	64000	Lodo activado
Sin destintado							
Fiskeby, cartón, SE	90 mg/l	5 mg/l	0,1 mg/l	5 mg/l	n./a.	123000	Biofilm sumergido de alta carga (Kaldnes) + lodo activado
Industriewater Eerbeek, (Consorcio de 3 plantas de proceso de FRC), NL	85 mg/l	5 mg/l	0,4 mg/l	9 mg/l	n./a.	450000 (15% DIP, 5% GWP)	Anaerobio/aerobio (Lodo activado)
Fábrica 1, (principalm. Papel ondulado + papel menos especial, DE	94 mg/l (0,9 kg/t)	4 mg/l (0,04 kg/t)	0,6 mg/l	17 mg/l	9	120000 papel para ondular	Anaerobio/aerobio (Lodo activado)
Fábrica 2, Cartón fino, DE	65 mg/l (0,32 kg/t)	5 mg/l (0,02 kg/t)	0,65 mg/l	n./a.	5	650000	Filtro de goteo + Lodo activado
Fábrica 3, Papel ondulado, DE	168 mg/l (1,1 kg/t)	9 mg/l (0,06 kg/t)	1 mg/l	25 mg/l	7	38000	01-8/97: Lodo activado y: Anaerobio/aerobio
Fábrica 4, Papel ondulado, DE	140 mg/l (0,6 kg/t)	5 mg/l (0,02 kg/t)	0,9 mg/l	4 mg/l	4.2	300000	Anaerobio/aerobio (Lodo activado)
Fábrica 5, Papel ondulado, DE	0	0	0	0	0	40000	Anaerobio/aerobio en línea (nivel cero de efluentes)
Fábrica 5, testliner blanco + cartones para cajas plegables, DE	90 mg/l (0,6 kg/t)	13 mg/l (0,09 kg/t)	1,1 mg/l	n./a.	7	120000, data: 1998	Anaerobio/aerobio (Lodo activado)

Tabla 5.31: Ejemplos de emisiones medias anuales al agua alcanzadas después del tratamiento biológico de algunas fábricas de papel con proceso de FRC en Europa (año de referencia: principalmente 1997). La lista de fábricas es una selección de las fábricas de las que hay datos disponibles, y por lo tanto no pretende ser completa. Los datos se derivan de miembros del grupo de trabajo y de comunicaciones personales. En Suecia, los valores de DBO se dan como DBO₇

Suponiendo un adecuado diseño y capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales y un funcionamiento y control apropiados por operarios expertos, los niveles de la emisión asociados con una combinación de MTD se consideran los indicados en la tabla siguiente. Las cargas de los efluentes incluyen desintegración de la pasta, blanqueado, calidades con destintado y fabricación de papel.

A pesar del enorme número de distintas clases de productos de papel fabricados a partir de papel recuperado, puede afirmarse que las fábricas de papel que han aplicado MTDs alcanzan emisiones al agua relativamente similares. Por lo tanto, en lo que respecta a las descargas después de un tratamiento de aguas residuales adecuado de las varias categorías de producción de papel, no se observaron otras diferencias significativas entre las calidades de papel.

Los datos de emisiones hacen referencia a fábricas de papel integradas con proceso de FRC. No obstante, hay un número de creciente de fábricas en Europa que utilizan diversas clases de suministro de fibra. Una parte del suministro puede consistir en fibras recuperadas, una parte es proporcionada por la producción de pasta mecánica in situ, otra parte podría consistir en pasta química comprada. Los niveles de emisiones MTD para esta clase de fábricas se presentan en las Secciones 4.4 y 6.4.

Parámetro	Unidades	Sin destintado ⁴	Con destintado ¹	Papel tisú a base de FRC
DBO ₅	kg/t de papel	<0,05-0,15 ⁵	<0,05-0,2 ⁵	<0,05-0,5 ⁵
DQO	kg/t de papel	0,5-1,5	2,0-4,0	2,0-4,0
SST	kg/t de papel	0,05-0,15	0,1-0,3	0,1-0,4
AOX	kg/t de papel	<0,005	<0,005	<0,005
Total P	kg/t de papel	0,002-0,005 ²	0,005-0,01 ²	0,005-0,015 ²
Total N	kg/t de papel	0,02-0,05 ²	0,05-0,1 ²	0,05-0,25 ²
Cantidad de aguas residuales	m ³ /t de papel	<7	8-15	8-25 ³

Notas explicativas:

- 1) Puede usarse una mezcla de otros tipos de fibras (como GWP, TMP o CTMP) en distintos porcentajes, que van de un 0 a un 30% del suministro de fibras.
- 2) Las emisiones de N y P dependen de la dosificación optimizada de estos nutrientes a la planta de tratamiento biológico de aguas residuales. Para conseguir emisiones bajas se requiere un cierto ajuste fino de la adición de nutrientes.
- 3) Para la producción de papel tisú hay una serie de factores que pueden producir un consumo específico de agua algo superior: menores densidades del papel producido (hasta 12 g/m²), mayor limpieza del producto, frecuentes cambios de calidad o colores, bajas velocidades de las máquinas de papel, y el uso de procesos que requieren mayores cantidades de duchas a alta presión. Por consiguiente, para papel tisú, una demanda de agua de proceso de 8 – 25 m³/t se considera como MTD.
- 4) La fabricación de cartón estucado requiere algo más de agua que, por ejemplo, la producción de testliner, papel para ondular, o cartón sin estucar (7-15 m³/t). Por consiguiente, el extremo superior del rango de emisiones asociado con las MTD es válido para cartón estucado.
- 5) El extremo inferior del rango de emisiones de DBO indica una eliminación casi completa de materia orgánica biodegradable. Debe entenderse como tal y no tomarse como una cifra precisa.

Tabla 5.32: Niveles medios anuales de emisiones y consumos asociados con el uso de MTDs para plantas integradas de proceso de FRC (> 50% FRC) (ej: papel prensa, papel para copia, cartón para cajas plegables en algunos casos) y sin destintado (ej: fábricas de testliner / papel para ondular / fluting / topline blanco)

Las emisiones al agua se presentan sólo para tres distintos grupos: calidades de papel sin destintado, calidades destintadas y fábricas de papel tisú a base de FRC. Por lo que respecta a las emisiones al agua, las diferencias entre distintos tipos de papel no son muy significativas. Por ejemplo, las plantas de proceso de FRC que fabrican papel para impresión y escritura pueden alcanzar niveles de emisiones similares a los de las fábricas de papel prensa a base de FRC.

En Europa, dentro del grupo sin destintado, el grupo más importante abarca las fábricas que fabrican materiales para fabricar cajas (testliner, papel para ondular, y fluting). Otras fábricas están produciendo cartón y cartón para cajas plegables a partir de papel recuperado. Estas últimas utilizan distintas calidades de papel recuperado y procesos de preparación de pasta para las diversas capas del cartón. Algunas fábricas utilizan un cierto grado de pasta kraft blanqueada comprada. Algunas capas pueden consistir en DIP. No obstante, los niveles de emisiones al agua asociados con el uso de las MTD de estas fábricas son del mismo orden que las emisiones de las fábricas de papel a base de FRC sin destintado indicadas en la Tabla 5.32. Por otra parte, el consumo de agua podría ser un poco más alto, especialmente cuando se fabrican papel y cartón en fábricas que producen diversas calidades de papel en la misma máquina. Hay ejemplos de fábricas de cartón a base de FRC que producen cartón para cajas plegables y que aplican procesos de destintado para conseguir, basándose en calidades de papel recuperado de baja calidad, la calidad de producto deseada. Para estas fábricas, al igual que para cualquier otra calidad de cartón producida con destintado, las técnicas a considerar son las de la clase de papel destintado.

Un gran número de fábricas de papel tisú también utiliza fibras recuperadas como fuente importante de fibras. Puede ser que utilicen diversas mezclas de fibras recuperadas y de fibras vírgenes. Si utilizan principalmente DIP, suelen utilizar mejores calidades de papel recuperado como materia prima. Como puede verse en la tabla anterior, las emisiones al agua son comparables a otras calidades destintadas. No obstante, para la producción de papel tisú hay una serie de factores que pueden conducir a un consumo específico de agua algo mayor.

La tabla anterior debe leerse junto con las siguientes explicaciones adicionales:

DBO: en plantas de tratamiento bien diseñadas, la DBO se elimina casi totalmente (eliminación 95%+) de las aguas residuales de las plantas de proceso de FRC cuando la relación de carbono-fósforo-nitrógeno y el suministro de oxígeno se mantienen a un nivel suficiente y se controlan bien. Los niveles de DBO_5 estarán generalmente bastante por debajo de 25 mg DBO_5/l y pueden alcanzar valores de hasta 5 mg/l, es decir, de eliminación casi total. Los niveles de DBO de alrededor de 5 mg/l apenas son medibles y reproducibles de forma precisa. Deben interpretarse como valores cerca del límite de detección. Según el caudal de agua, estos niveles de funcionamiento corresponden a $<0,05 \text{ kg } \text{DBO}_5/\text{t}$ y a $0,3 \text{ kg } \text{DBO}_5/\text{t}$ respectivamente.

DQO: el proceso con destintado da lugar a emisiones más altas de DQO que las emisiones causadas por el proceso sin destintado. Factores tales como las materias primas usadas, la calidad de papel fabricada, las medidas integradas en el proceso y externas aplicadas, y el caudal de agua por tonelada del producto, tienen una influencia en la carga final de contaminación. Pueden alcanzarse concentraciones desde menos de 100 mg/l hasta 200 mg/l DQO (sin destintado) y de 200 mg/l a 300 mg/l DQO (con destintado) cuando se aplican las MTDs.

SST: en condiciones de funcionamiento normal, el agua del clarificador secundario es bastante clara. El contenido de sólidos en suspensión es del orden de 10 a 30 mg/l. Esto corresponde a descargas de 0,1 - 0,3 kg SST/t. Los valores dependen de la carga superficial del clarificador secundario y de las características de la biomasa.

AOX: hoy en día, las descargas de compuestos orgánicos clorados son muy bajas, ya que el contenido de cloro en el papel original recuperado ha ido disminuyendo con los años. En fábricas de papel que utilizan fibras vírgenes, normalmente se utiliza pasta blanqueada ECF o TCF, lo que también se refleja en las emisiones más bajas de AOX descargadas de las fábricas de papel que procesan FRC. El resultado del tratamiento con lodo activado produce una ulterior reducción de AOX entre 30 y 50 %. Sin embargo, esta reducción se alcanza en parte separando estos compuestos durante el tratamiento de aguas residuales. Según el tipo de papel recuperado y los aditivos químicos usados, las plantas de proceso de FRC tienen normalmente descargas de compuestos orgánicos clorados inferiores a 0,3 mg/l o por debajo de 0,004 kg/t.

N y P: normalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C: P: N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Para encontrar y mantener un equilibrio entre carbono biodegradable y compuestos de nitrógeno y fósforo, se requiere un cierto ajuste fino de la cantidad de nutrientes agregados. Generalmente, el fósforo se agrega como ácido fosforoso, y nitrógeno en forma de urea. Cuando el sistema está bien optimizado, pueden alcanzarse descargas de nutrientes bien por debajo de 1 mg tot-P/l y 5 mg N total/l. Las cargas correspondientes son 0,005-0,01 kg P/t y 0,05-0,1 kg N/t respectivamente con destintado, y algo menos para fábricas sin destintado, debido a los menores caudales de agua.

Medidas para reducir las emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera en fábricas de papel a base de FRC están relacionadas principalmente con las plantas de energía instaladas para la producción de calor y la generación de electricidad. El ahorro de calor y electricidad se corresponde por lo tanto con la reducción de las emisiones a la atmósfera. Las plantas de energía son generalmente calderas estándar y pueden tratarse como cualquier otra planta de energía. Por lo tanto, las MTDs generalmente reconocidas se mencionan sólo brevemente en esta sección. Para reducir las emisiones a la atmósfera se hallan disponibles las medidas siguientes:

1. Cogeneración del calor y electricidad

- Mejora de las calderas de vapor existentes mediante la instalación de tecnología baja en NO_x y usando combustible bajo en azufre o controlando las emisiones de S.
- Uso de fuentes renovables como madera o restos de madera para reducir las emisiones de CO_2 fósil (sólo aplicable en fábricas de papel a base de FRC que tengan una línea de producción de pasta virgen).

Los niveles de emisiones asociados con las MTDs de calderas auxiliares que incineren biocombustibles propios y/o diversos combustibles fósiles se indican en la Tabla 5.33. Hay que destacar que las calderas auxiliares, dentro de la industria de la pasta y el papel, son de un tamaño muy variable (desde 10 a más de 200 MW). Para las más pequeñas solamente, puede aplicarse el uso de combustible bajo en azufre y técnicas de combustión con costes razonables, mientras que para las más grandes es necesario aplicar también medidas de control. Esta diferencia se refleja en la tabla siguiente. El rango más alto se considera MTD para instalaciones más pequeñas, y se consigue cuando sólo se aplican medidas de calidad de combustible y medidas internas; los niveles más bajos (entre paréntesis) están asociados con medidas de control adicionales como SNCR y lavadores, y se consideran como MTD para instalaciones más grandes.

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel-oil pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (ej: corteza)
mg S/MJ de aporte de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50-100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO_x /MJ de aporte de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 -60 ²	60 -100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/ Nm^3	10 - 30 ⁴ at 6% O_2	10 - 40 ⁴ a un 3 % O_2	10-30 a un 3% O_2	< 5 a un 3% O_2	10 - 30 ⁴ a un 6% O_2
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas a fuel-oil o carbón dependen de la disponibilidad de fuel-oil y carbón con bajo contenido de azufre. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; normalmente sólo en instalaciones grandes. 4) Valores alcanzados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos eficaces. 5) Cuando se utiliza un lavador; sólo se aplica a instalaciones grandes.					

Tabla 5.33: Niveles de emisiones asociados con el uso de las MTDs para distintos combustibles

Para calidades de papel estucado, una elección cuidadosa de las recetas de color de estucado se considera MTD. Con esta medida, puede evitarse o reducirse la emisión de compuestos orgánicos volátiles y de algunas sustancias objeto de preocupación, como por ejemplo acrilonitrilo o formaldehído, que pueden aparecer en el aire de extracción de las máquinas de estucado. Deben evitarse especialmente las recetas de colores de estucado que contengan compuestos carcinógenos.

Las molestias locales debidas a olores molestos pueden evitarse en gran parte mediante medidas de ingeniería de proceso o, si la planta de tratamiento biológico de aguas residuales es la fuente principal de olores, mediante plantas bien diseñadas y controladas.

Medidas para reducir los residuos sólidos

Para reducir la cantidad de residuos sólidos a desechar en vertedero, las medidas siguientes se consideran como MTD:

- La minimización de la generación de residuos sólidos y la recuperación, reciclaje y reutilización de estos materiales en la medida de lo posible.
- Recogida separada de las fracciones residuales en origen y, en caso necesario, almacenaje intermedio de residuos / desechos para hacer posible el reciclaje o reutilización de un mayor porcentaje, en lugar de su desecho en vertedero..
- Optimización de la recuperación de la fibra modernizando las plantas de preparación de pasta.
- Optimización de la cantidad de etapas de limpieza en la preparación de pasta.

5. Flotación por aire disuelto (DAF) para recuperar fibras y cargas, así como para clarificar el agua de proceso. En el diseño de los conceptos de la planta de preparación de pasta (según lo mencionado en los puntos 3 a 5) debe encontrarse un equilibrio entre limpieza de la pasta, pérdidas de fibra, calidad del producto, requisitos energéticos y costes.
6. Pretratamiento biológico anaerobio del agua residual
En comparación con el tratamiento sólo anaerobio de aguas residuales, el tratamiento combinado anaerobio / aerobio genera considerablemente menos exceso de lodo.
7. Manipulación eficaz de rechazos y lodo in situ (deshidratación) para aumentar el contenido de materia seca con el fin de mejorar las características de incineración. Después de la deshidratación de los rechazos y el lodo, el contenido de materia seca alcanzado dependerá principalmente de las características del lodo y del equipo técnico de deshidratación. Un mayor contenido de materia seca significa normalmente un menor requisito de transporte y un mayor valor del lodo, lo que es especialmente interesante en caso de que se quemen los residuos.
8. Reducción de la cantidad de residuos a desechar en vertedero. Identificación de las posibilidades de operaciones de recuperación y - si es factible - utilización de los residuos para el reciclaje del material o la incineración rechazos y lodo con recuperación de energía. La ceniza producida puede utilizarse a menudo como materia prima en la industria de materiales de construcción. Hay disponibles diversas opciones para la incineración de rechazos y lodo. La aplicabilidad está limitada por el tamaño de la fábrica. En algunos casos (ej: fábricas de papel tisú), se requieren combustibles o la adición de residuos con mayor valor calorífico (ej: corteza, restos de madera) en la reducción de la cantidad de desechos en vertedero mediante técnicas de combustión.

Según la calidad del papel recuperado usado para la producción y las propiedades del producto que deban obtenerse, la cantidad de residuos sólidos variará. El proceso de calidades más bajas de papel recuperado y la fabricación de mejores calidades de papel a partir de materias primas similares dan lugar a un aumento de rechazos. Generalmente, la producción de calidades sin destintar genera menos cantidad de residuos sólidos que la producción de calidades destintadas. Dentro de las calidades destintadas existen diferencias relevantes. Por ejemplo, para la fabricación de papel de impresión y escritura a partir de papel recuperado normalmente se generan mayores cantidades de residuos sólidos que para papel prensa, especialmente si se requiere destintado con lavado. Para los papeles gráficos, hay una tendencia a utilizar mejores calidades de papel recuperado. Para la producción de papel tisú a base de FRC es necesario eliminar las cargas y finos mediante destintado con lavado. Este proceso genera cantidades considerablemente mayores de residuos para manipular y tratar que para otras calidades de papel con destintado.

No se presentan niveles asociados con las MTDs de la cantidad de residuos a desechar en vertedero, ya que dependen principalmente del grado de utilización, de las opciones de tratamiento elegidas y de la calidad del papel recuperado utilizado como materia prima fibrosa. Además, hay poca información detallada y fiable disponible acerca de las cantidades de residuos sólidos obtenibles en las fábricas de papel a base de FRC. Hay carencia de datos estadísticos comparables y en Europa se utilizan distintos términos para las diversas fracciones de residuos.

Medidas de ahorro de energía

En general, en este sector, se considera MTD el uso de tecnologías energéticamente eficientes. Hay disponibles muchas opciones para el ahorro de energía en muchas etapas dentro del proceso de fabricación. Estas medidas están generalmente vinculadas a inversiones para sustituir, remodelar o modernizar el equipo de proceso. Debido a economías de escala, las fábricas más pequeñas tienen menos posibilidades de invertir en nuevas tecnologías energéticamente eficientes. Hay que destacar que la mayoría de medidas de ahorro de energía no se aplican sólo por ahorro de energía. La eficacia de producción, la mejora de la calidad del producto y la reducción de los costes globales es la base más importante para las inversiones. Las tecnologías de ahorro de energía pueden por lo tanto considerarse como técnicas que se incorporan en muchos otros aspectos de la fabricación de papel.

Para disminuir el consumo de energía, se hallan disponibles las medidas siguientes:

1. Puesta en práctica de un sistema para controlar el consumo y el rendimiento energético. Sobre la base de una información fiable sobre rendimiento energético podrán tomarse acciones apropiadas. La gestión de la energía incluye fijar, controlar, estudiar y revisar objetivos de rendimiento energético.
2. Modernización del equipo. Sustitución del equipo por otro que consuma menos energía con posibilidades del control de proceso automatizado en lugar de sistemas manuales convencionales. Los sistemas de control automatizado ofrecen un control más eficaz y pueden producir un proceso más preciso y ahorro de energía (ver también Sección 6.3.8).
3. Aplicación de tratamiento anaerobio de aguas residuales. El consumo de energía es 10 veces menos que para el tratamiento aerobio, y el gas metano generado puede utilizarse como combustible. El tratamiento anaerobio no siempre es aplicable. Las aguas residuales tienen que cumplir los requisitos mínimos indicados en la Sección 5.3.5.

Para otras medidas encaminadas a reducir el consumo de energía que son generalmente aplicables a fábricas de papel, se hace referencia a la Sección referida 6.3.18 Las principales posibilidades de mejora discutidas en esta sección son, por ejemplo, la optimización de la deshidratación en la sección de la tela mediante la instalación de una prensa de nip ancho (ver Sección 6.3.17) y uso de tecnologías energéticamente eficaces. También se menciona la reducción del uso directo de vapor mediante la integración cuidadosa del proceso a través de un análisis pinch.

En muchos países europeos, hay poca información disponible públicamente sobre los balances de energía de las fábricas de papel. Se utilizan distintos métodos de divulgación, si los hay, para el consumo de energía. La demanda energética depende también de la calidad del producto (especialmente en fabricas de papel tisú), y en parte de las condiciones locales. Por lo tanto, es difícil presentar valores de consumo de energía asociados con el uso de MTDs. Los rangos de consumo de energía de las fábricas de papel que se muestran en Tabla 5.34 deben tomarse sólo como indicación sobre los requisitos aproximados de calor y electricidad de proceso en fábricas de papel energéticamente eficientes.

En futuras versiones revisadas de este BREF podrían incluirse otros ejemplos de fábricas de papel energéticamente eficientes, incluyendo sus condiciones específicas.

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/t ¹⁾	Consumo de electricidad (neto) en MWh/t ¹⁾
Testliner y papel para ondular a base de FRC, sin destintado	6,0 – 6,5	0,7 – 0,8
Cartón o cartón para cajas plegables a base de FRC, sin destintado	8,0 – 9,0	0,9 – 1,0
Papel prensa a base de FRC, sin destintado	4,0 – 6,5	1,0 – 1,5
Papel tisú a base de FRC, destintado	7,0 – 12,0 ²⁾	1,2 – 1,4
Notas explicativas: Las unidades pueden convertirse de MWh a GJ según los factores 1 MWh = 3,6 GJ y 1 GJ = 0,277 MWh 1) Todos los datos de [J. Pöyry, 1998] 2) En fábricas de papel tisú, el consumo de energía depende principalmente del sistema de secado utilizado. El secado por aire y recrespado consumen una considerable cantidad de energía adicional. Las fábricas de papel tisú utilizan principalmente combustible primario en lugar de vapor para el secado (la mayoría de campanas son con combustión directa a gas).		

Tabla 5.34: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTD para distintos tipos de producción con papel recuperado, por tonelada de producto

Atenuación del ruido

Es MTD la reducción de los niveles de ruido audibles en la vecindad de las fábricas de papel. Las medidas aplicadas dependerán en gran medida del problema de ruido específico de una fábrica, así como de los objetivos fijados. Normalmente serán mucho más estrictos si la fábrica está situada junto a un área residencial.

Uso de productos químicos

En general, se considera que las MTD para el uso de productos son:

1. Asegurar la disponibilidad de una base de datos para todos los productos químicos y aditivos utilizados, con información de la composición de las sustancias, su degradabilidad, su toxicidad para las personas y el medio ambiente y su potencial de bioacumulación.
2. Aplicación del principio de sustitución, es decir, utilizar productos menos peligrosos si los hay disponibles.
3. Medidas para evitar las descargas accidentales al suelo por la manipulación y almacenaje de productos químicos.
4. Diseño y operación de las instalaciones de modo que no pueda haber fugas de sustancias peligrosas.

5.5 Técnicas Emergentes

En este apartado se incluyen una serie de técnicas que no se aplican (todavía) a escala industrial. Otras técnicas han alcanzado una fase de desarrollo más avanzada pero todavía no se consideran disponibles.

5.5.1 Tratamiento avanzado de efluentes con un proceso combinado de ozonificación y reactores de biofilm de lecho fijo

Descripción: el tratamiento secundario de las aguas residuales de las fábricas de papel se aplica en numerosas fábricas en Europa, reduciendo con ello considerablemente las emisiones al agua. Sin embargo, los actuales desarrollos en la industria están intentando una mayor reducción de las emisiones de sustancias orgánicas y del calor residual combinando medidas integradas en el proceso con medidas externas. El tratamiento avanzado de los agentes contaminantes restantes después del tratamiento biológico tiene por objetivo una mayor reducción de la DQO, de AOX, color y otras materias.

El tratamiento avanzado y eficaz de efluentes – a menos que las corrientes parciales puedan ser pretratadas con éxito – es normalmente posterior a la etapa biológica.

Durante los últimos cinco años se ha desarrollado un proceso de tratamiento para mejorar la calidad de los efluentes tratados con vistas a normativas ambientales más estrictas y a la posibilidad de reutilización del efluente tratado en el proceso. Este tratamiento terciario de efluentes consiste en una combinación de ozono con reactores de biofilm de lecho fijo, y produce una eliminación significativa de DQO, color y AOX con un mínimo de dosificación de ozono. Un esquema típico de este proceso se muestra en la Figura 5.18.

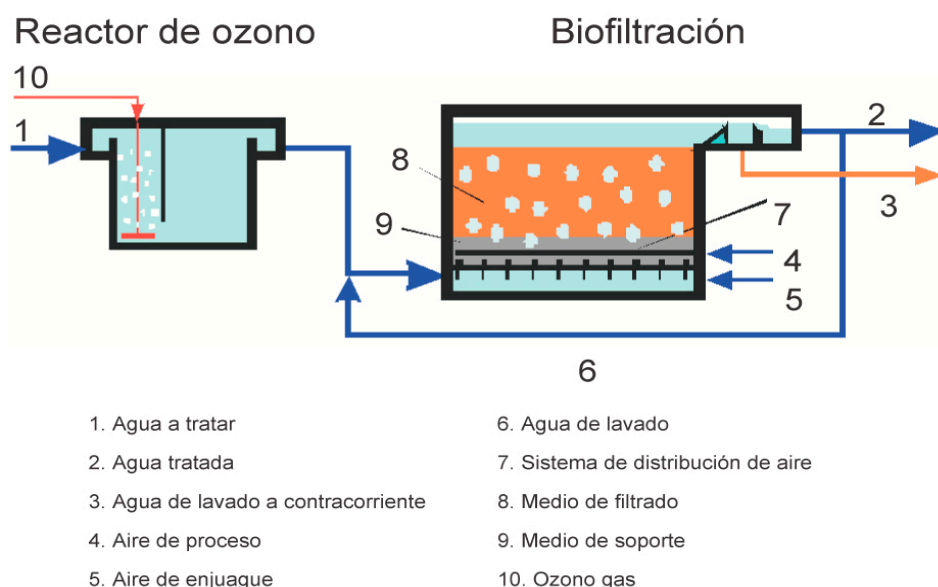


Figura 5.18: Proceso combinado de ozonización y reactores de biofilm de lecho fijo

El efluente tratado tiene un bajo contenido de materias contaminantes, por lo que la reutilización del efluente del tratamiento terciario en el proceso parece ser una opción interesante. Esto significa que el agua tratada con ozono puede descargarse o reutilizarse en la producción.

El análisis químico de los efluentes del tratamiento terciario muestra que, aparte de la eliminación de materia orgánica (medida como DQO), otras sustancias también son reducidas o

eliminadas drásticamente, como por ejemplo color, AOX, blanqueantes ópticos y agentes quelantes fuertemente degradables, bacterias y esporas.

Estado del desarrollo: el tratamiento con ozono de las aguas residuales purificadas biológicamente para la reducción adicional de la DQO residual y la mejora de la eliminación del color ha sido probado durante algunos años en laboratorio y en ensayos piloto. Estos ensayos en laboratorio [Öller, 1997 a +b] e investigaciones a escala semitécnica [Möbius, 1996] han demostrado que el tratamiento con ozono puede reducir perceptiblemente la DQO y los colores según la cantidad de ozono aplicada. El proceso puede considerarse en fase de desarrollo. En aplicaciones a plena escala productiva, sólo es necesario determinar la eficacia de eliminación y la capacidad de ozono (kg ozono / h) en pruebas de laboratorio o ensayos piloto.

Generalmente, cabe esperar que esta clase de técnica se aplique primero en fábricas situadas junto a medios receptores sensibles o en fábricas que deseen aumentar considerablemente su capacidad y al mismo tiempo no tengan permiso para aumentar la carga de efluentes al río. En tales casos, la carga específica de sustancias debe reducirse.

En 1999 se puso en marcha el primer tratamiento a plena escala productiva, que consiste en una etapa combinada de ozonificación y biofiltración (Firma Lang, Alemania).

Implicaciones medioambientales: la eficacia del tratamiento con ozono depende mucho de la calidad del agua individual a tratar y la configuración específica del sistema de tratamiento. Por lo tanto, no es posible realizar afirmaciones generales sobre el comportamiento medioambiental alcanzable. En los efluentes que cumplen ciertas condiciones de límites en términos de índices de DQO y DBO₅/DQO, puede potenciarse la biodisponibilidad para permitir el tratamiento biológico adicional. El agua tratada con ozono se puede entonces ser reutilizada en la producción.

Sin embargo, la base de este proceso es la transferencia de los compuestos orgánicos persistentes (DQO residual, AOX y color) a fracciones biodegradables (solamente oxidación parcial, es decir, oxidación limitada y controlada de los compuestos orgánicos). Esto da lugar a un aumento significativo del índice de DBO/DQO. Los resultados de las pruebas piloto con efluentes de fábricas de papel después del tratamiento biológico demuestran que pueden alcanzarse eficacias de eliminación de DQO de hasta un 90% (referido a la concentración de DQO después del clarificador secundario) con un consumo específico de ozono de alrededor del 50% o más mediante ozonación-biofiltración en una etapa. Se alcanzan eficacias de eliminación de DQO claramente por encima del 50 % y de hasta un 90% cuando el proceso se realiza en dos etapas. Después de la primera etapa del ozonación, un biofiltro degrada la materia orgánica parcialmente oxidada. La segunda etapa consiste en otro paso de ozonación seguido de un biofiltro. Esta configuración de proceso evita la oxidación completa de la materia orgánica por la ozonación, reduciendo así la cantidad de ozono requerida y optimizando los costes operativos. El objetivo de esta configuración es no consumir ozono para materia fácilmente biodegradable.

A excepción de la pequeña cantidad de exceso de lodo biológico producido en los biofiltros, las sustancias contaminantes se eliminan realmente, y no sólo se separan. Por lo tanto, este tratamiento no genera un concentrado que requiera tratamiento adicional, como es el caso cuando se utilizan membranas o evaporación. Los efectos negativos sobre otros medios son el consumo de energía para la generación del ozono, que es del orden de 10 - 13 kWh/kg ozono, y una cantidad menor de consumo de energía para la producción de oxígeno puro.

Consideraciones económicas: Las estimaciones de costes han revelado que en la comparación con las actuales técnicas de tratamiento avanzadas como floculación / precipitación, el tratamiento con ozono proporciona un alternativa económicamente viable bajo ciertas condiciones.

El tratamiento específico para un proceso de una etapa con biofiltración seguida de ozonización cuesta normalmente menos de 0,5 Euros por m³ de efluente tratado. Esto cubre la inversión

total y los costes operativos (generación del ozono, bombas, etc.) e incluye el oxígeno suministrado como oxígeno líquido.

El tratamiento con ozono puede también dar una decoloración más o menos completa a un coste razonable.

Bibliografía: [Öller, 1997 a +b], [Möbius, 1997 a], [Möbius, 1999], [Helble, 1999], [Kaindl, 1999]

5.5.2 Bioreactor de membranas para tratamiento de final de línea (end of pipe) o en línea

Descripción: Los bioreactores de membranas (MBR) son procesos combinados de separación-oxidación. Tienen dos funciones principales:

1. Oxidación biológica potenciada (descomposición de materia orgánica). Es potenciada, ya que las condiciones en un bioreactor de membrana son tales que fomentan la adaptación de la biomasa (larga duración del lodo y retención absoluta de biomasa (no hay clarificador que actúe como selector de biomasa)).
2. Separación de sólidos y líquido mediante el uso del proceso de membranas.

Esta nueva generación de bioreactores de membrana utiliza membranas sumergidas sin carcasa, en lugar de módulos externos, como se muestra en la figura inferior.

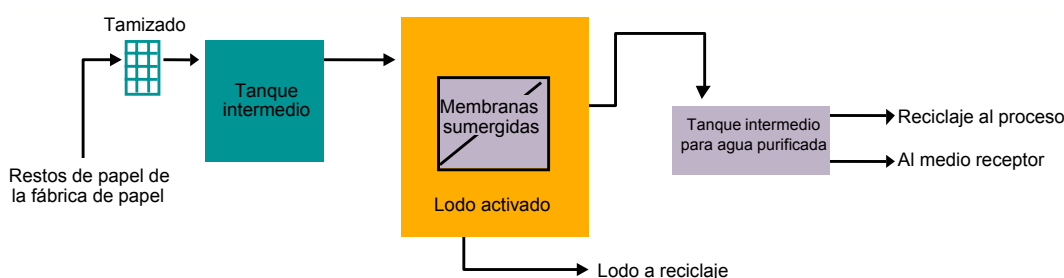


Figura 5.19: Bioreactor de membrana con membranas sumergidas en un reactor de lodo activado

Las membranas se sumergen directamente en la biomasa de la planta de lodo activado y funcionan a presiones transmembrana muy bajas (0,2 bares típicamente). El consumo de energía de este proceso es de sólo 0,2 kWh/m³ para la filtración (incluido bombeo y aireación de las membranas para promover la turbulencia) en comparación con 4 - 8 kWh/m³ los MBRs en circuitos externos (las cifras hacen referencia a las condiciones del reactor denominado BIOSEP).

Estado del desarrollo: la primera aplicación a plena escala productiva entró en funcionamiento en 1999 en una fábrica francesa de cartón (Papeterie du Rhin). En el caso de esta fábrica de papel, el lodo se reinyecta en el pulper. El caudal del diseño es relativamente pequeño (900 m³/día). Los operadores de la fábrica intentarán aumentar gradualmente la fracción del agua tratada reciclada de nuevo a la fábrica.

Implicaciones medioambientales: para algunos tipos de fábricas, que no podrían cumplir los límites de descarga (por ejemplo, cuando tienen una concentración o cargas ligeramente más altas) un MBR podría permitir que alcanzaran sus límites de descarga. Sin embargo, el proceso podría también utilizarse como pretratamiento para procesos posteriores de separación / concentración tales como nanofiltración (NF) o evaporación. Esta aplicación podría ser

interesante para operadores de fábricas de papel que piensan utilizar MBRs en sus planes de cierre de los circuitos de agua de la fábrica, permitiendo por ejemplo usar configuraciones más baratas de NF y alcanzar condiciones de funcionamiento más estables.

Los bioreactores de membrana pueden producir mucho menos lodo (hasta la mitad) que un tratamiento biológico convencional, debido a las características específicas de la biomasa activa que crece en estas aplicaciones de MBR.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía: hay distintos proveedores de bioreactores de membranas sumergidas.

5.5.3 Recuperación de la ceniza y del dióxido de carbono gas de las calderas para producir cargas minerales recicladas para uso en el papel

Descripción: un nuevo proceso químico utiliza tanto la ceniza resultante de la combustión del residuo de destintado como el dióxido de carbono generado durante la combustión para producir un tipo de carga mineral reciclada de carbonato cálcico precipitado (CMR de CCP) para uso en papel. El nuevo proceso se deriva del proceso químico usado para producir carbonato cálcico precipitado (CCP) puro, un mineral comúnmente usado en la fabricación de papel. El carbonato cálcico precipitado es químicamente idéntico al carbonato cálcico natural (piedra caliza o yeso molido), pero es generalmente más puro. La ventaja principal para el fabricante de papel, sin embargo, es que el proceso químico de su producción permite que las partículas individuales de CCP adopten una variedad de formas y tamaños (morfologías). La selección cuidadosa de tamaño y forma puede potenciar al máximo la funcionalidad del CCP en una amplia gama de aplicaciones en la fabricación de papel. Estas ventajas también se imparten al papel cuando se utiliza la CMR de CCP como carga.

El proceso para producir una carga mineral reciclada de CCP (CMR de CCP) puede describirse mediante la ecuación siguiente:

Materiales	Ceniza de caldera	+ Ca(OH) ₂	+ CO ₂	=> Ceniza / CaCO ₃	+ H ₂ O
Cantidades	5-50g	37-70g (cal fresca)	22-43g	100g (Carga mineral reciclada)	9-18g

La ceniza resultante de la combustión de los residuos de la fábrica de papel o del lodo de destintado contiene principalmente compuestos ricos en calcio, silicio y aluminio. Estos se derivan de los minerales contenidos en los residuos, principalmente carbonato cálcico (CaCO₃) y arcilla de caolín (H₂Al₂Si₂O₈-H₂O).

Se ha descubierto que los minerales de aluminosilicato cálcico de las cenizas de caldera son adecuados para la nucleación y el crecimiento del CCP. También se ha descubierto que estas cenizas pueden sustituir hasta la mitad de la cal (CaO) que se utiliza para producir la pasta aguada de hidróxido cálcico. Las partículas individuales de la CMR de CCP son compuestos de CCP y de ceniza de la caldera. La reacción es controlada, de modo que el CCP de una morfología particular precipita y cubre la superficie de un "núcleo" de ceniza. El proceso ha sido patentado (Patente U.S. 5.759.258) y es suministrado por Speciality Minerals Inc. (SMI), uno de los principales proveedores de carbonato cálcico precipitado (CCP) a la industria de papel europea.

Estado del desarrollo: una fábrica de papel alemana (Haindl Schongau) está realizando un ensayo piloto para adaptar la planta existente a la producción de CCP puro a la producción de la carga mineral reciclada de CCP. También se hallan en curso trabajos de desarrollo sobre el uso del CCP para estucado.

Implicaciones ambientales: el proceso reduce significativamente la cantidad de residuos sólidos que se desechan en las plantas de destintado. La utilización de la ceniza de caldera como materia prima en la producción del carbonato cálcico precipitado (CCP) reduce el consumo de combustibles fósiles para la producción de CaO en canteras de piedra caliza (CaCO_3) hasta un 50%, y reduce así las emisiones del CO_2 en una cantidad correspondiente. Si las fábricas de papel que generan grandes cantidades de residuos de destintado reducen la cantidad de residuos sólidos del proceso de destintado mediante incineración, se emitirá CO_2 a la atmósfera, y además deberá desecharse la ceniza. Un proceso para producir PCC de RMF puede consumir total o parcialmente la ceniza y el CO_2 generados en estas fábricas. Esto se suma a las reducciones en la cantera de piedra caliza, tanto en combustible fósil como en emisiones de CO_2 . El principio básico del proceso en sí mismo y las principales ventajas principales se resumen en la ilustración siguiente.

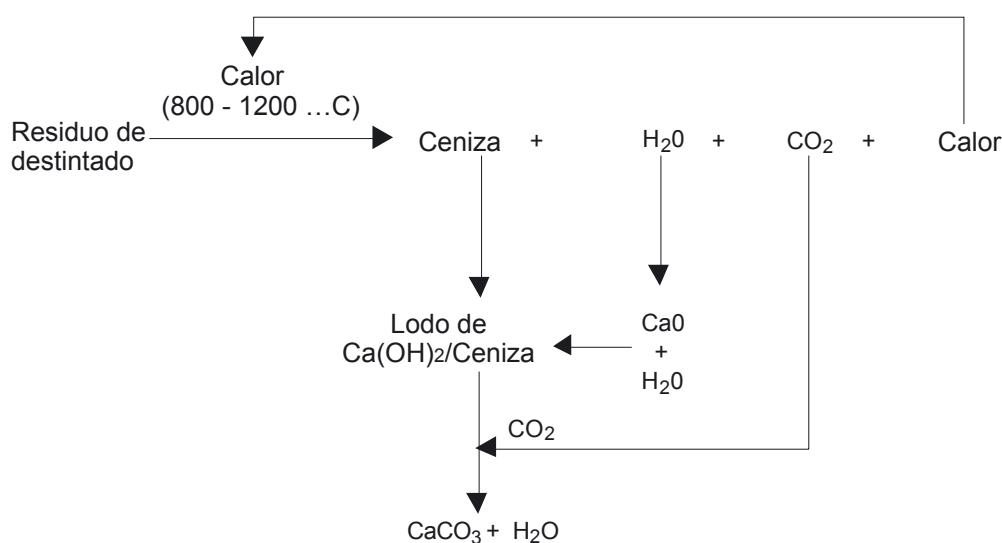


Figura 5.20: Principios fundamentales del proceso de CMR de CCP. Reproducción de "Recycling of Mineral Fillers from the Residue of a Paper Deinking Plant", Sohara et. al., U.S. 5,759,258, 1998

Consideraciones económicas: En países en los que el coste de desecho en vertedero es alto, la opción de entregar la ceniza de destintado como materia prima para la producción de carbonato cálcico precipitado (CCP) es atractiva, puesto que produce beneficios económicos y ambientales. Sin embargo, la blancura de la Carga Mineral Reciclada de CCP, basada en una mezcla realista de un tercio de ceniza, y dos terceras partes CCP puro, es del 90%, y por lo tanto inferior al del CCP puro (96%). Puede ser que también aumente la abrasividad. Por otra parte, la CMR de CCP tiene mejores características de opacidad que el CCP puro. La economía de la Carga Mineral Reciclada de CCP depende mucho de la calidad del papel recuperado a partir del cual se produce el residuo de destintado (altas cantidades de cargas de carbonato cálcico son beneficiosas). Cuanto más alto es el contenido de calcio en el papel recuperado, mejor para la operación de este proceso.

Un requisito previo para la puesta en práctica de la Carga Mineral Reciclada de CCP es la posibilidad de combustión en caldera del residuo de destintado. Normalmente, la planta que produce el CCP puro se adapta para la producción de Carga Mineral Reciclada de CCP. Gradualmente, la cal es sustituida por la ceniza de destintado.

Bibliografía: [Roberts, 1998]

5.5.4 Tratamiento “riñón” – Técnicas para limpieza de los circuitos de agua

Ver También Sección 6.5.1.

Descripción: puede conseguirse una carga baja de las aguas residuales mediante una combinación de un sistema de agua de proceso convenientemente diseñado y purificación interna de las aguas residuales. En la industria de papel, el agua de proceso se utiliza para una serie de diversos usos, con diversos requisitos de calidad del agua. La separación hidráulica de diversas unidades de proceso crea circuitos de agua internos relativamente pequeños, que pueden tratarse de forma más eficaz.

El cierre de los circuitos de agua está actualmente restringido por diversos contaminantes (sustancias perturbantes) en el agua de proceso, que tienen un efecto indeseable en la tecnología o el producto. La separación de las unidades de proceso entre sí (por ejemplo, mediante espesadores) permite eliminar las sustancias perturbantes dentro de la unidad de proceso en la cual se generan, evitando que los contaminantes viajen por todo el proceso de fabricación de papel. Los contaminantes en los circuitos separados de agua pueden ser (parcialmente) eliminados del circuito del agua en cuestión hasta un nivel deseado, para satisfacer los requisitos de calidad del agua de proceso fijados para esa unidad de proceso específica. Este enfoque da lugar a conceptos complejos que requieren un gran conocimiento para el control del sistema.

Hay diferencias básicas entre la composición, las tecnologías y los requisitos del papel acabado dependiendo de si están implicadas calidades gráficas ("calidades blancas") o papeles de embalaje ("calidades marrones"). En principio, la configuración de sistemas para los papeles de embalaje es siempre más simple que para las calidades blancas. Para las calidades marrones fabricadas a base de fibras recicladas, es posible controlar circuitos totalmente cerrados integrando una etapa de tratamiento biológico (ver Sección 5.3.4). Hay incluso fábricas de papel que fabrican calidades marrones que funcionan con sistemas de agua cerrados (nivel cero de emisiones al agua) sin tratamiento interno.

Con los papeles "blancos", la carga de las aguas residuales puede minimizarse mediante el tratamiento interno del agua de proceso por medio de la filtración con membranas, ozonación más biofiltro, o alternativamente mediante tecnología de evaporación, tratamiento denominado de "riñón". Sin embargo, la conveniencia de tales tecnologías en funcionamiento continuo debe ser ensayada meticulosamente antes de su aplicación en producción industrial. Estas técnicas pueden también aplicarse como tratamiento externo avanzado tras el tratamiento biológico común (ver Sección 5.5.1 y Sección 5.5.2).

Estado del desarrollo: el tratamiento avanzado de corrientes parciales de agua de proceso exige métodos de tratamiento y gestión de agua que todavía no son comunes en las fábricas de papel. Sin embargo, se han realizado muchos trabajos de desarrollo para el tratamiento de aguas de proceso en la mayoría de los países europeos. Ya hay en funcionamiento muchas plantas pequeñas de prueba y algunas aplicaciones a plena escala productiva. Sin embargo, especialmente para las "calidades blancas", todavía hay preguntas pendientes referentes a la química de la circulación cerrada del agua y la separación de los compuestos individuales en procesos de separación. Se requiere una mayor investigación experimental y la creación de modelos, así como nuevas medidas de calidad del agua y métodos de control.

La configuración óptima de la planta debe ser siempre ser determinada cuidadosamente caso por caso tomando en consideración todos los aspectos relevantes (tales como características del producto, costes, demandas del mercado, costes de suministro y tratamiento del agua, requisitos normativos, consideraciones específicas locales, etc.).

Implicaciones medioambientales: el reciclaje del agua tratada reduce el consumo de agua fresca y también el volumen de efluentes. Seleccionando la corriente parcial de agua de proceso más apropiada para el tratamiento interno es posible reducir la descarga total al agua. Sin embargo, el impacto de la circulación cerrada de agua sobre el balance de energía y de materia de toda la fábrica debe ser determinado siempre con atención.

En algunos casos, el concepto de tratamiento interno de aguas ("estrategia del riñón") puede mejorar la eficacia para toda la fábrica (ej: ahorro de energía, consumo reducido de productos químicos). En otros casos puede que conduzca sólo a la reducción de las emisiones al agua

Consideraciones económicas: no hay datos específicos disponibles. La ampliación del sistema de tratamiento externo de efluentes con una etapa terciaria no suele considerarse económica a altos niveles de consumo de agua. El tratamiento de aguas interno presenta la ventaja de que el agua puede ser tratada en el lugar donde se utiliza. Además, las diversas aguas pueden tratarse por separado solamente hasta el grado que sea realmente necesario. Por otra parte, estas medidas exigen un cambio en la gestión de proceso y requieren inversiones relativamente grandes.

Bibliografía: [Borschke, 1997], [Proceedings, 1997 a]

5.5.5 Sistema continuo de recuperación de fibra para el proceso de papel recuperado en un sistema completo

Descripción: esta tecnología, el Sistema Continuo de Recuperación de Fibra (CBFRS) (también denominado "Túnel de lavado") tiene el potencial de mejorar la competitividad de fábricas y de máquinas de papel pequeñas, ya que puede procesar económicamente los materiales de papel recuperado en cantidades a partir de 3 t/d. La finalidad primaria es proporcionar mini-plantas de reciclaje cerca de la fuente de papel recuperado. El equipo no está previsto para ser la base para una planta grande de FRC. El CBFRS combina un pulper, una lavadora y un tamiz grueso en una máquina. Se basa en ideas desarrolladas en el negocio de la lavandería industrial.

El sistema consiste en células dentro de unidades que pueden ampliarse y agregarse según el producto final requerido. Idealmente se combinan dos unidades de cuatro células, dando una capacidad de 7 - 8 toneladas diarias FRC. El papel recuperado se carga en la primera célula. Las células se dividen dentro de un tambor giratorio con una secuencia definida. La primera carga es transportada a la célula siguiente, mientras que la primera célula recibe una nueva carga. Esto continúa hasta que las fibras aceptadas, en forma de pasta, se descargan a través de una placa de extracción en el fondo de las cuatro células finales.

Estado del desarrollo: hay una instalación en una fábrica de papel en Norteamérica, IPMC, en Detroit, Michigan. La fábrica produce 175 toneladas al día de calidades especiales de papel, y ha instalado una línea de 25 t/d para procesar papel recuperado generado en el estado de Michigan. Un segundo sistema para la producción de 20 - 25 t/d de fibras recicladas de cajas de bebidas han sido instaladas en México. Hay otras aplicaciones previstas en un futuro próximo.

Implicaciones medioambientales: la ventaja del sistema de CBFR es que combina los efectos de varios componentes tradicionales que se utilicen comúnmente en el proceso de papel recuperado. Así, elimina la necesidad de varios equipos de proceso (ej: equipos de desescamado, lavado, flotación, dispersión, amasado), dando como resultado el ahorro en energía e inversiones.

Al igual que en los sistemas convencionales, el agua de proceso circula a contracorriente en el sistema. La ventaja es que se reduce el volumen requerido de agua de proceso. Las aguas residuales pueden tratarse por flotación de aire disuelto, que da un agua bastante limpia para ser reutilizada. Cabe esperar un consumo de agua de proceso de menos de 4,5 m³/t.

El sistema procesa también materiales más difíciles (tales como briks de leche, cajas de bebidas, cartón ondulado encerado) que contienen fibra de alta calidad pero que normalmente no se clasifican porque se generan en volúmenes pequeños y no se consideran como opción económica para reciclar. El fabricante puede adoptar un enfoque más local o más regional para la localización de material recuperado.

El sistema puede también aplicarse para tratar en línea rechazos que contengan fibra de sistemas convencionales. La recuperación de fibra produce un mayor rendimiento en el proceso de papel recuperado, reduciendo así los rechazos a desechar en vertedero.

Consideraciones económicas: no hay datos específicos disponibles. El proveedor indica que el sistema puede procesar económicamente materiales de papel recuperado en cantidades a partir de tan solo 3 t/d, gracias a sus costes de inversión comparativamente menores.

Bibliografía:

[Regenex, 1996], [Braeuer, 1998]

6 FABRICACIÓN DE PAPEL Y PROCESOS RELACIONADOS

Esta sección describe la producción de papel y cartón de las principales calidades que se fabrican en las fábricas de papel europeas.

Durante la producción de distintas calidades de papel se utilizan fibras vírgenes (pastas químicas o mecánicas) o fibras recicladas como materias primas principales. En Europa, hay también un número grande de fábricas que fabrican papeles con una mezcla de materiales fibrosos. Hoy en día, la composición de la materia prima usada para el papel está influenciada más que nunca por el coste de los componentes individuales. La composición de las materias primas usadas para la fabricación de papel (ej: material fibroso, cargas minerales, estucos) tiene un efecto fundamental en los costes de producción totales, la calidad del producto y las consecuencias para el medio ambiente del proceso. La fabricación de las fibras usadas para la fabricación de papel se ha descrito en los Capítulos anteriores 2 a 5. A continuación se describe la fabricación de papel y de cartón independientemente de la fabricación de la pasta. Este enfoque se considera razonable, ya que en todas las fábricas de papel se requieren los mismos procesos unitarios alrededor de la máquina de papel y cartón. La descripción de la fabricación de papel como parte de fábricas integradas de pasta aumentaría la complejidad de la descripción técnica. Por último, en número, la mayoría de fábricas de papel en Europa son fábricas no integradas.

Aunque hay una gran variedad de productos de papel y distintas configuraciones de proceso en las fábricas de papel, casi todos los tipos de procesos de fabricación de papel y cartón se componen de las siguientes unidades básicas:

- Preparación de la pasta
- Circuito de cabeza de máquina.
- Una máquina de papel y cartón consistente en:
 - Caja de entrada introduce la suspensión de fibras a la tela y crea una dispersión uniforme de fibras en todo el ancho de la mesa de fabricación.
 - Una sección de tela escurre la hoja continua a un contenido de materia seca del 12- 20%.
 - Una sección de prensa elimina más agua de la hoja continua por prensado, hasta un contenido de humedad de alrededor del 50%.
 - Una sequería elimina el resto de la humedad calentando la hoja continua con cilindros secadores.
 - Una rebobinadora rebobina la hoja de papel formando un rollo.
- Según la calidad del papel y del cartón, hay unidades de proceso adicionales (opcionales) como calandras, estucadoras, una cocina de salsa de estucado, bobinadoras, rebobinadoras y una estación envolvente de rollos.

En las páginas siguientes se describen las unidades básicas de la fabricación de papel. Los principales aditivos y productos químicos del proceso de fabricación de papel se incluyen en estas descripciones. Sus características medioambientales se discuten más en detalle por separado en el ANEXO I. Dado que la fabricación de papel es un sector que requiere grandes cantidades de agua, se incluye un párrafo sobre circuitos de agua. También se cubre el estucado y los principales procesos de acabado.

6.1 Procesos y Técnicas Aplicados

6.1.1 Preparación de pastas

La preparación de pastas se realiza para convertir la pasta cruda en pasta acabada (alimentación) para la máquina de papel. La preparación de la pasta para la máquina de papel incluye la mezcla de diversas pastas, la dilución y la adición de productos químicos. Las pastas crudas usadas son diversos tipos de pasta química y pasta mecánica, así como papel recuperado y sus mezclas. La calidad de la pasta acabada determina esencialmente las características del papel producido. La pasta cruda está disponible en forma de balas, material suelto o, en el caso de fábricas integradas, en forma de suspensiones. La preparación de pasta consiste en diversos pasos de proceso adaptados entre sí, como la desintegración de la fibra, la limpieza, la modificación de la fibra y su almacenaje y mezcla. Estos sistemas difieren considerablemente según la pasta cruda usada y la calidad de alimentación requerida. Por ejemplo, en el caso de pasta bombeada directamente de la fábrica de pasta, se omiten las etapas de aguado y desescamado.

La preparación de pasta se basa en la eliminación de impurezas, el acondicionamiento de las características de resistencia de las fibras (refino) y la adición de productos químicos como aditivos de proceso y para afectar la calidad final de la hoja de papel (resinas, agentes de resistencia en húmedo, colores, cargas). En fábricas no integradas las fibras se reciben secas. Se suspenden en un pulper para crear una suspensión que pueda ser bombeada. Entonces, las impurezas sin disolver son eliminadas de la mezcla mediante depuración (depuradores) y limpieza (limpiadores centrífugos). El objetivo de la depuración es la separación de las sustancias que interfieren de las fibras. La suspensión de fibra se pasa a través de un depurador con aberturas en forma de ranuras o agujeros redondos, y las impurezas a separar son rechazadas por el depurador. La limpieza es la separación de impurezas de la suspensión de fibra en un campo centrífugo. La limpieza se realiza en depuradores centrífugos. Se hace una distinción entre depuradores de partículas pesadas y de partículas ligeras, dependiendo de la finalidad de la separación. La mayoría de los depuradores son sistemas multietapas (hasta 5 etapas).

Para mejorar la capacidad de cohesión de las fibras individuales del papel acabado, puede realizarse un refino (opcional).

El refino tiene la finalidad de acondicionar las fibras para crear las características requeridas del producto acabado. El refino se realiza en refinados equipados, por ejemplo, de un disco giratorio que se presiona sobre un estator. La energía eléctrica consumida en el refino como parte del proceso de la fabricación de papel es generalmente del orden 100 – 500 kWh/t para la mayoría de los papeles, pero puede ser de hasta 3000 kWh/t para papeles especiales. Así, para una fábrica de papel no integrada que utilice pasta química, el refino representará el mayor consumo de energía eléctrica (siendo el secado el mayor consumo de calor). Prácticamente todo el aporte de energía a este refino se convertirá en calor y aquí no hay opción para la recuperación de energía, aunque este calor generado contribuye a la temperatura elevada buscada en el proceso.

Una sección de pastas completa para una máquina de papel consiste generalmente en varias líneas, en cada una de las cuales se prepara una pasta distinta. El reprocesado de roturas de la máquina de papel es también parte de este proceso (ver Sección 6.1.4). Por último, la pasta se bombea a las tinas de almacenaje o de mezcla. Estas tinas sirven como almacenaje intermedio entre la preparación de pasta y la máquina de papel en sí, para promover la continuidad de proceso. En las tinas de mezcla, la pasta preparada se mezcla en las proporciones apropiadas para producir una calidad particular de papel, se agregan los aditivos requeridos y se ajusta la consistencia correcta de la fibra.

6.1.2 La máquina de papel

En la máquina de papel se forma el papel y se determinan la mayoría de las características del papel. La máquina de papel es en realidad un gran dispositivo de deshidratación que consiste en una caja de entrada, una sección de tela, la zona de prensa y la sección de secado. El diseño más común de máquina incluso en tiempos recientes sigue siendo el proceso Fourdrinier, en el cual la hoja se forma sobre una tela metálica o tela continua sobre la cual se introduce la suspensión de fibra desde la caja de entrada. Recientemente se han utilizado formadores de doble tela para la formación de la hoja continua, y se han convertido en la técnica avanzada de referencia. En las formadoras de doble tela, la suspensión de fibra se conduce entre dos telas que funcionan a la misma velocidad, y es drenada por uno o ambos lados. Hay diversos tipos de formadoras de doble tela (ej: formadoras de hueco). En las formadoras de hueco, la pasta diluida se inyecta directamente en el hueco entre las dos telas y las combinaciones de Fourdrinier y de doble tela (formadoras híbridas).

La Figura 6.1 muestra las características claves de una máquina de papel.

El papel se forma introduciendo una suspensión diluida de fibras, y posiblemente cargas, colorantes y otros productos químicos, sobre una malla fina a través de la cual el agua dreña, dejando la hoja continua de fibras, finos y cargas que sedimenta sobre la malla. La pasta aguada de fibra, que en la parte húmeda de la máquina de papel tiene típicamente una consistencia entre 0,2 y 1,5%, se transporta a la sección de la tela a través de la caja de entrada. La tarea de la caja de entrada es crear una dispersión uniforme de fibras a través de todo el ancho de la tela, para conseguir la formación de un papel uniforme. En el momento en que la hoja continua de papel ha drenado a un contenido de materia seca de un 10 - 20% en la tela, la hoja continua tiene consistencia propia y puede sacarse de la malla, llevándola a etapas subsiguientes de prensa y secado. El agua dreña a través de la tela ayudada por los denominados elementos de desgote. Ejemplos de ello son rodillos, “foils” y cajas de vacío debajo de la tela, de forma que después de normalmente unos 10 m, se forma la hoja de papel continuo. En una formadora de doble tela la

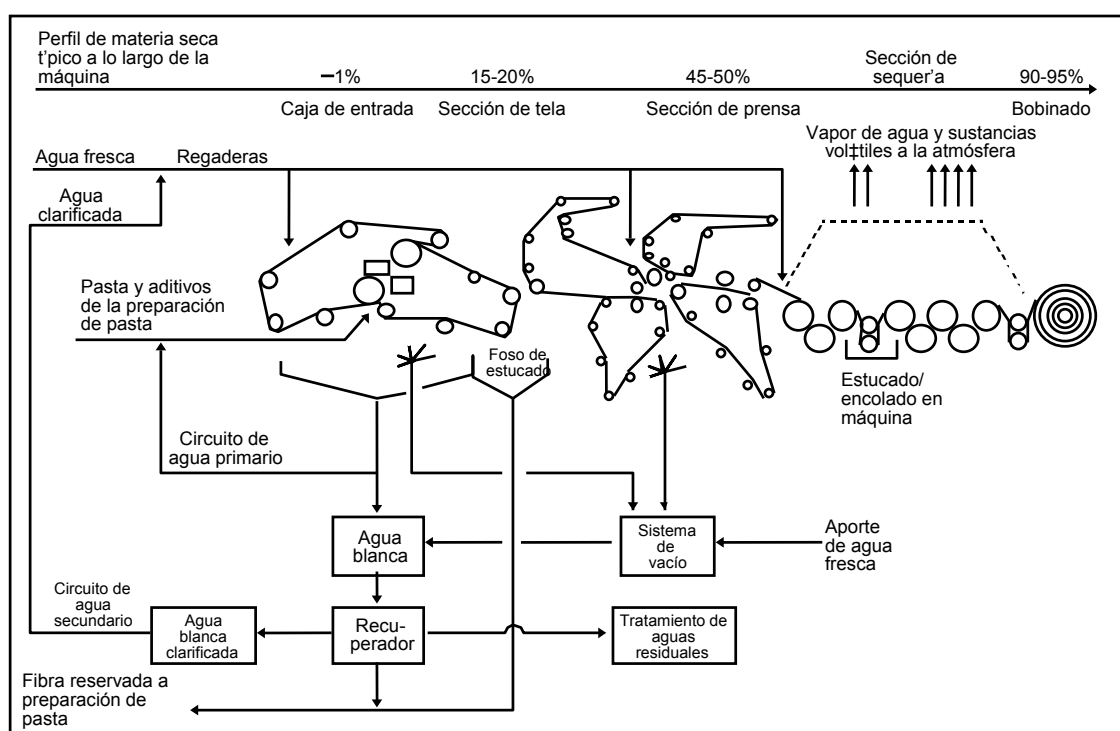


Figura 6.1: Características claves de una máquina de papel de doble tela

presión de deshidratación se forma también por la tensión de la tela sobre una superficie curvada de láminas o de un rodillo. Las velocidades de la máquina varían considerablemente con la hoja continua en las máquinas más rápidas, normalmente de papel prensa, que trabajan a 1500 m/min con un ancho de hoja continua de 10 m. Las máquinas de papel tisú, aunque generalmente tienen un menor ancho, funcionan ahora a velocidades de más de 2000 m/min. Algunas máquinas incorporan una serie de telas para hacer los papeles o cartones multicapa.

La hoja continua de papel pasa a una sección de prensa apoyada en fieltros entre rodillos y a través de secciones de vacío para eliminar más agua (normalmente hasta un 60-55%, y en algunos casos hasta un contenido de agua de alrededor del 50%) y luego a través de la sección de sequería. El secado se hace normalmente usando los cilindros calentados con vapor metidos dentro de una campana. En la sección de sequería, la hoja continua se seca a un contenido de materia seca final del 90 - 95%. Prácticamente todo el calor usado para el secado acaba en el aire de salida de la campana. La temperatura del aire de salida es normalmente de 80-85 °C, y la humedad 140-160g_{H2O}/kg_{aire seco}. Una parte de la humedad (aproximadamente 1 - 1,5 m³/t de papel) se elimina a la atmósfera. Por motivos económicos, todas las fábricas de papel tienen instalados sistemas de recuperación de calor. La Figura 6.2 muestra un esquema de la sección de sequería y recuperación de calor de una máquina de papel.

En el primer intercambiador de calor del sistema de recuperación de calor, se recupera calor al suministro de aire entrante. El siguiente intercambiador de calor es para el calentamiento del agua fresca entrante. En algunos casos también se recupera calor al agua del foso de la tela, para compensar las pérdidas de calor en la parte húmeda. El último intercambiador es para el agua de circulación. El agua de circulación se utiliza para calentar el aire de ventilación entrante. El aire alimentado y el agua de las regaderas se calientan a sus temperaturas finales (90 - 95 °C y 45 - 60 °C respectivamente) con vapor.

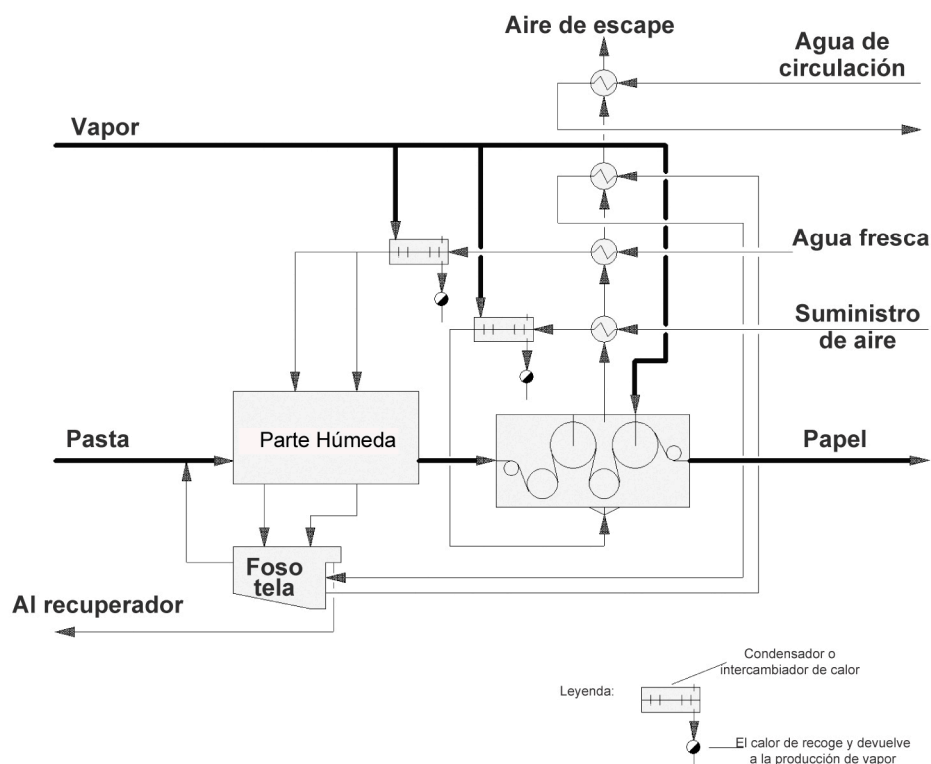


Figura 6.2: Sistema de recuperación de calor de una máquina de papel

La Tabla 6.1 muestra un ejemplo de flujos de calor en una típica máquina de papel moderna de gran tamaño. La capacidad de producción de la máquina es de 240120 t/a (667 t/d). El contenido de materia seca de la hoja continua al entrar en la sección de sequería es del 44,5% y el del producto del 91%. La temperatura del aire de salida es de 82 °C, y la humedad de 160 g_{H2O}/kg_{aire seco}. Los valores son para condiciones invernales en Escandinavia. En un clima más cálido, el porcentaje de agua de circulación disminuye o desaparece, y el de salida a la atmósfera aumenta consiguientemente.

Puntos de recuperación de calor	Destino del flujo de calor de la sección de sequería [MW] y [MJ/t]	Distribución del calor [%]
Suministro de aire	1,8 MW o 233 MJ/t	6
Agua del foso de las telas	3,6 MW o 466 MJ/t	11
Agua fresca	5,5 MW o 712 MJ/t	19
Agua de circulación	8,0 MW o 1036 MJ/t	27
Salida a la atmósfera	10,8 MW o 1399 MJ/t	37
Total (Aire de salida de la campana)	29,7 MW o 3847 MJ/t	100

Tabla 6.1: ejemplo de recuperación de calor y pérdidas de calor de una máquina de papel con una producción de 667 t/d [datos de Valmet]. Los valores hacen referencia a condiciones invernales en Escandinavia. En países con un clima más cálido, no hay necesidad de calentamiento del agua de circulación que se utiliza para calefacción de la sala de la máquina.

Una variación para la producción de papel satinado ligero o papel tisú convencional es el uso de un cilindro "Yankee" grande calentado en la máquina. El secado de la hoja continua de papel se realiza durante la rotación del cilindro.

En una máquina simple, el papel después puede ser bobinado y enviarse para su corte y acabado. En otros casos se incorporan una serie de diversas etapas dentro de la máquina. Una "size press" (prensa encoladora) es una sección de la máquina donde se aplican almidones y otros productos químicos a la superficie del papel mediante inmersión o rociado, siendo eliminada el agua residual en una sección corta de postsecado.

En la mayoría de las aplicaciones, los bordes de la hoja continua se recortan continuamente con chorros de agua de corte, en el foso de estucado, al salir de la tela. Cuando se rompe la hoja continua, lo que puede suceder varias veces al día, hay una pérdida considerable de papel. Ocurren pérdidas similares en los arranques rutinarios. Todo este papel, llamado "roturas", es repulpeado y devuelto a las tinas de pasta en la zona de preparación de pasta. Las pérdidas de papel seco pueden ser repulpeadas inmediatamente o almacenarse y reintroducirse en el sistema en una fecha posterior. Las roturas coloreadas o estucadas se reciclan si es posible, pero a veces deben ser blanqueadas o tratadas químicamente primero (ver Sección 6.1.4).

Hay una necesidad continua de evitar la acumulación de sólidos en cualquiera de las telas, fieltros o rodillos que se mueven a gran velocidad, ya que producirían rápidamente roturas de la banda de papel. Las duchas o regaderas utilizadas con este fin son los principales consumidores de agua fresca y/o de agua reutilizada en el sistema. Los sistemas de vacío pueden también consumir cantidades substanciales de agua fresca.

La retención de sólidos (fibra, finos y cargas) y de las sustancias solubles (productos químicos agregados, compuestos orgánicos de la pasta, etc) en la hoja continua de papel, en lugar de que pasen a través de la malla y permanezcan en el circuito del agua, es un concepto importante. Afecta claramente el posible destino de cualquier sustancia - al producto o al efluente. La monitorización en línea de la consistencia se utiliza a menudo para estabilizar la retención. La retención de sólidos en la tela puede elevarse mediante la adición de aditivos de retención (productos químicos que mejoran la retención), y es una práctica normal en la mayoría de las

calidades de papel. Sin embargo, esto está restringido en algunas calidades por la calidad del producto.

6.1.3 Circuitos de agua y recuperación de fibras

En una fábrica de papel existen tres circuitos de agua de proceso: el circuito primario, el secundario y el terciario. En la Figura 6.3 se muestra un esquema de los circuitos de agua.

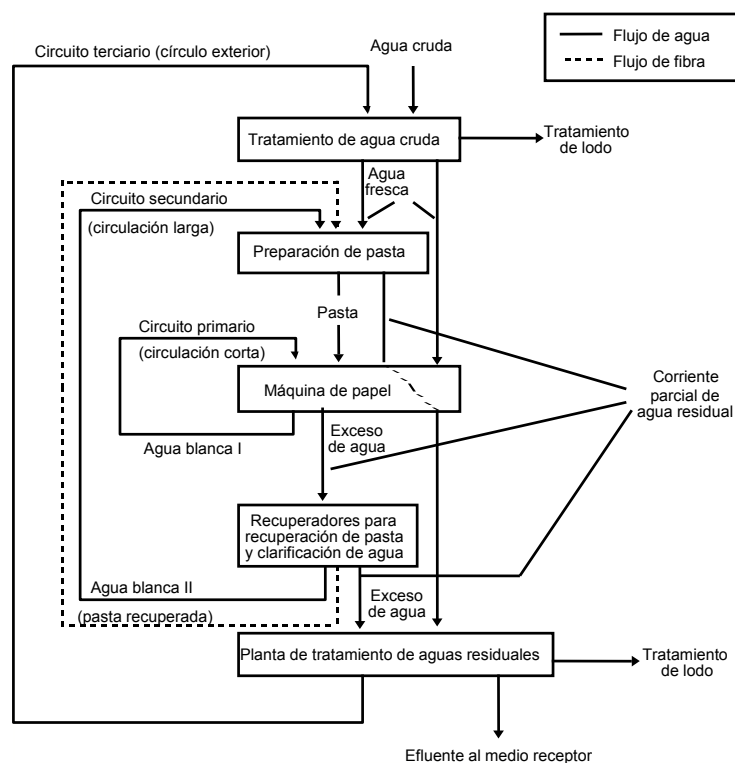


Figura 6.3: esquema simplificado de las corrientes de agua y pasta en una fábrica de papel

En el circuito primario (circulación corta), el agua rica en fibra, finos y cargas obtenida en zona de formado de la hoja de la sección de tela (agua blanca I) se recicla para dilución de la pasta en el circuito de cabeza de máquina. El circuito primario se mantiene todo lo cerrado que sea posible.

El exceso del agua de la sección de formado de la hoja, el agua de aspiración y prensado, así como el agua de limpieza, se denomina agua blanca II y se circula al circuito secundario (circulación larga). El agua blanca que drena de la tela se trata normalmente a través de un recuperador, que puede ser una planta de sedimentación o de flotación o una unidad de filtración como un tambor o filtro de discos. Esta agua se denomina entonces agua clarificada.

Un filtro de discos previo al estucado acondicionado con pasta cruda produce pasta con la máxima consistencia (10-30%) y está diseñado para realizar una separación de tres (o cuatro) vías del agua blanca dando fibra, un primer drenaje de agua turbia y drenajes subsiguientes de filtrado claro y superclaro. El filtrado turbio se recicla generalmente de nuevo al filtro como agua de dilución, pero puede también usarse en sustitución del agua fresca en el proceso o utilizarse para la dilución de la pasta. Un mayor índice de reciclaje del filtrado turbio al filtro de discos produce un filtrado más limpio. La concentración de sólidos en suspensión en el filtrado claro (finos y cargas) es generalmente de unos 10-150 mg/l para pasta virgen o de 100-400 mg/l con pasta reciclada.

Los sistemas de flotación también se utilizan como recuperadores. En condiciones óptimas, la eficiencia de los sistemas de flotación para la separación de los sólidos es a menudo casi del 100% dando como resultado la concentración de sólidos en suspensión de 10 - 50 mg/l (para pasta virgen). La consistencia del lodo que flota está entre el 3 y el 10%. Las plantas de flotación consisten en una balsa de clarificación con eliminación de lodo, equipo de aireación para una corriente parcial de agua clarificada, y una planta de dosificación para los agentes químicos de flotación. La ventaja de la flotación es que el material coloidal de pequeño tamaño también puede ser retirado (si ha sido adecuadamente floculado antes de la flotación). Esto es una gran ventaja en plantas de papel recuperado (ver Sección 5.3.8) con destintado, donde gran parte del material sólido en el agua de proceso es coloidal (en una planta de destintado, el lodo flotado se bombea a la deshidratación de lodo en vez de ser reciclado al proceso).

Las instalaciones de sedimentación son adecuadas para la clarificación del agua de proceso, pero requieren grandes volúmenes y por lo tanto precisan mucho espacio.

La corriente de fibra que se recupera en los recuperadores se devuelve a la tina de pasta, y las aguas de distintas calidades se devuelven a diversos usos en función de su calidad, en sustitución del agua fresca.

El circuito terciario contiene exceso de agua del circuito secundario y, además, el resto del agua de proceso que no es directamente reutilizable debido a su grado de contaminación. Se trata en plantas de tratamiento de aguas residuales quimicomecánicas y/o biológicas. Hasta ahora la reutilización del agua purificada no es totalmente aplicable para todas las calidades de papel. En algunos casos el agua purificada es parcialmente devuelta al proceso según la calidad del producto y las condiciones locales. Los circuitos cerrados del agua sólo se aplican en algunas fábricas de papel que producen papel ondulado a base de papel recuperado (ver Sección 5.3.4) o cartón.

De esta descripción se observa que hay una cantidad muy grande de agua implicada en la parte húmeda de una máquina de papel, y que generalmente hay un alto grado de recirculación del agua en diversos circuitos de agua. Normalmente se evaporan entre 1 y 1,5 m³/t de papel en la sección de sequería de una máquina, que se pierden del proceso. El producto de papel "seco" en equilibrio con una atmósfera normal tiene un contenido de agua entre el 6 y el 10%.

6.1.4 Sistema de rotos

El término "rotos" hace referencia a cualquier papel formado, desde el principio del proceso de fabricación de papel hasta el producto acabado, que no se envía al cliente. Los rotos existen en muchas formas y en cantidades variables, y siempre son generados por el proceso de fabricación de papel.

El objetivo principal de un sistema de rotos es devolver la fibra de papel al proceso sin perturbar la uniformidad y la calidad de pasta que fluye a la máquina de papel. Cada máquina de papel es diferente. No hay dos máquinas de papel que sean exactamente iguales, ni siquiera máquinas que producen las mismas calidades de papel. De ahí se deduce, por lo tanto, que no hay dos sistemas de rotos iguales (desde punto de vista químico).

La cantidad de rotos producidos durante la fabricación de papel es normalmente un 5 - 20 % de la capacidad de la máquina. En ocasiones pueden alcanzar incluso el 50 % de la producción normal. Frecuentemente son debidas a la rotura de la hoja de papel continuo. También se generan roturas húmedas durante el funcionamiento normal, por el recorte de bordes en la sección de la tela, y también se producen roturas secas en las operaciones de acabado. Las roturas de pasta procedentes de las partes húmeda y seca de la máquina de papel no son idénticas en términos de sus características para fabricación de papel.

En las máquinas de papel estucado, el sistema de rotos requiere distintas torres de almacenaje para las roturas húmedas (sin estucar) y secas (estucadas) (ver Figura 6.4). La figura muestra una posible configuración de un sistema de rotos de una fábrica de papel que fabrica papel estucado.

Los rotos se bombean desde las torres de almacenaje a los espesadores, donde se elimina el exceso de agua. Las roturas más espesas se alimentan al recipiente de dosificación de rotos, donde se mezclan los rotos estucados y sin estucar. Después del recipiente de dosificación de rotos, éstos se limpian en varias etapas para minimizar las roturas residuales que no pueden recircularse al proceso. Las roturas limpias se descargan al recipiente de mezcla de la línea principal, desde donde el suministro final para la fabricación de papel es bombeado a través de una unidad de limpieza adicional a la máquina de papel.

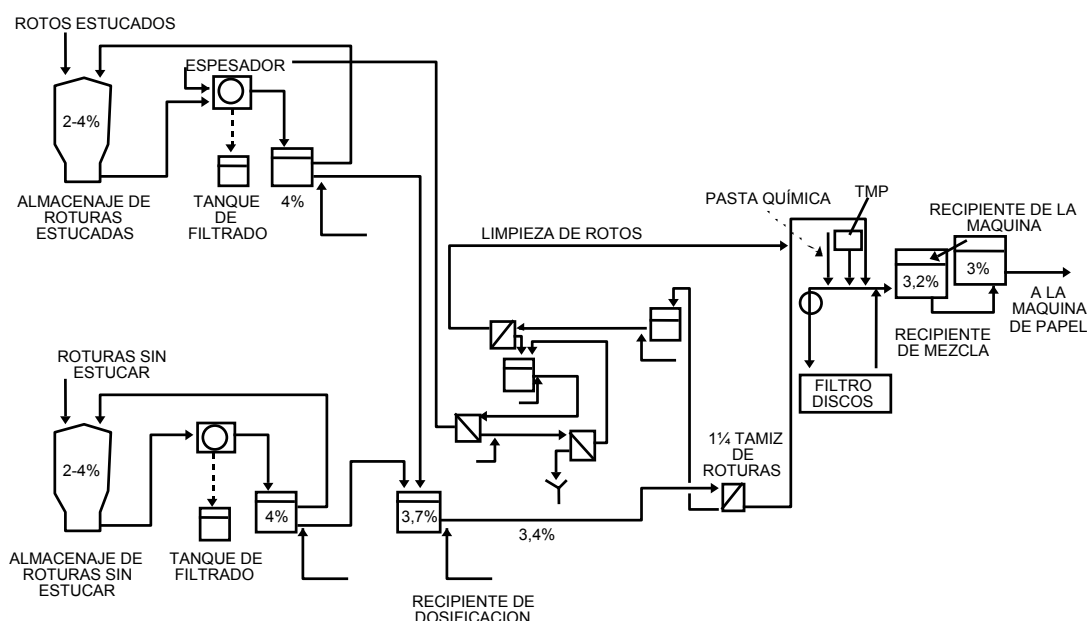


Figura 6.4: Posible configuración de un sistema de rotos de una fábrica de papel estucado

6.1.5 Encolado (opcional)

Generalmente el encolado se realiza en la parte húmeda, donde se agrega almidón o agentes de encolado sintéticos al suministro de pasta para reducir la capacidad natural de absorción del papel. En el encolado, el almidón u otros agentes de encolado se aplican a la matriz de fibras para aumentar la resistencia de hoja continua de papel baja y para modificar las propiedades superficiales con respecto a la absorción de líquido durante la escritura, la impresión o el estucado. El encolado en la parte húmeda se aplica por ejemplo al papel fino (papel para copadoras) y a algunas calidades de papel especial.

Las consecuencias potenciales para el medio de la aplicación de agentes de encolado son principalmente las emisiones al agua. Si se agregan colas a la pasta de papel, pueden medirse concentraciones considerablemente mayores de DQO en los circuitos de agua. Asimismo, el repulpeado de los rotos encolados aumenta algo la DQO en los circuitos de agua. Por ejemplo, la desintegración de rotos recubiertos con almidón es una de las fuentes principales de DQO en el sector de papel de escritura y papel fino.

También pueden aplicarse colas a la superficie de la hoja de papel (encolado superficial) para evitar que se desprenda polvo (pelusa) del papel en el proceso de impresión offset. El encolado superficial aumenta también la resistencia superficial del papel. En el encolado superficial, la hoja continua de papel pasa a través de la balsa de solución de encolado, que está situada antes de un prensor (nip) de rodillo que presiona sobre la hoja continua (prensa de encolado). De este modo, la hoja de papel continuo absorbe la solución de encolado. La cantidad de cola absorbida depende del contenido de materia seca de hoja continua, que puede llegar al 98% antes de la prensa de encolado.

La tecnología de las prensas de encolado ("size press") ha avanzado en tiempos recientes, y la prensa de encolado de película se ha convertido en la norma, siendo preferida a la tecnología más antigua que empapaba efectivamente la hoja en un prensor entre dos rodillos. Las prensas de encolado de película implican la aplicación uniforme de una cantidad controlada de mezcla de encolado con base acuosa en la hoja de papel, creando primero un espesor de película uniforme en un rodillo adyacente y transfiriendo luego la película sobre la hoja de papel como si se imprimiera la película de cola sobre el papel. El agua aplicada en la prensa de encolado se evapora en la sección posterior a la sequería. Las prensas de encolado se utilizan principalmente para papeles de impresión y escritura, así como las calidades de embalaje a base de fibra reciclada.

Si la cola se aplica mediante una prensa de encolado, sólo es necesario evacuar cantidades pequeñas de cola concentrada cuando cambian las condiciones de funcionamiento.

Aunque el tratamiento en la prensa de encolado es una forma de recubrimiento o estucado del papel para mejorar sus características superficiales, el término "estucado" se reserva generalmente para la aplicación de una mezcla pigmentada en la superficie del papel con el fin de mejorar su imprimibilidad o para otras aplicaciones especiales.

6.1.6 Estucado (opcional)

El papel, compuesto por fibras individuales, tiene una superficie relativamente áspera. Dado que esta aspereza tiene un efecto negativo sobre la impresión, una gran cantidad de papel y cartón se estuca para obtener una superficie lisa para imprimir. El término "estucado" describe la aplicación de una mezcla de agua, de pigmentos blancos, de ligante, y de diversos aditivos en una o ambas caras de la superficie del papel para crear calidades superficiales específicas. El papel puede estucarse en equipos que son parte integral de la máquina de papel (en máquina) o en equipo de estucado separado (fuera de máquina). La hoja estucada es secada por una corta sección cilíndrica calentada con vapor, por rayos infrarrojos, aire caliente o una combinación.

La composición de la salsa de estucado viene determinada en gran medida por los requisitos impuestos a la superficie del papel por el proceso de impresión particular. Los estucos pueden ser mezclas complejas de ingredientes y requieren generalmente preparación antes de su uso. La preparación de la salsa de estucado se realiza en la denominada cocina de estucado, donde se mezclan y se ajustan los productos químicos de estucado. La salsa de estucado acabado es tamizada antes de entrar en la máquina de estucado. Algunas materias primas pueden recibirse húmedas para una manipulación más fácil y para evitar problemas de polvo. Todos los estucos contienen algún tipo de ligante. Puede utilizarse almidón para una mayor rigidez, pero normalmente se someterá a cocción antes de uso. Los estearatos (Ca y NH_4) se utilizan para proporcionar lubricación durante la aplicación, así como textura superficial. También se utilizan pigmentos, como por ejemplo arcilla fina, talco, o carbonato cálcico, así como colores, blanqueantes y otros productos químicos especiales de bajo volumen.

Las máquinas de estucado consisten en una desenrolladora, una estación o estaciones de estucado (unidad de aplicación de estuco), una sección de secado (se utilizan infrarrojos, aire caliente y

cilindros calentados) y una bobinadora. Para un funcionamiento óptimo, hay instalados diversos sistemas de medidas de control.

Casi todos los estucos son a base de agua y se aplican con sistemas de encolado de rodillo, cuchillo de aire, prensa de encolado, cuchilla o barra, todos con el mismo objetivo de aplicar un espesor constante de material de estucado en la hoja de papel. Los cuchillos de aire funcionan con un 30 - 50% de materia seca, los otros alrededor de 50 - 70 %. La pasta aguada de estucado se recircula generalmente a través del sistema con filtración constante para quitar las fibras y otra contaminación con el fin de mantener la calidad de la mezcla. Estos filtros se limpian a intervalos regulares, generando así una corriente residual concentrada.

Cabe distinguir diversas calidades de papel y cartón estucado. Sin embargo, la clasificación de calidades estucadas todavía no se ha estandarizado. En Europa se utilizan una serie de términos para describir los principales tipos de papel y cartón estucado, que se describen brevemente a continuación.

Papel Artístico: el término hace referencia a papel sin pasta mecánica o con un poco de pasta mecánica estucada en ambas caras. El peso del estucado es de más de 20 g/m² por cara, lo que produce la desaparición completa de la estructura de fibra del papel crudo. Se aplican hasta tres capas en cada cara para obtener la alta calidad requerida. Este papel se utiliza para productos impresos de alta calidad.

Papeles Estucados en Máquina: esta calidad incluye papeles sin y con pasta mecánica con un peso de capa de estucado de hasta 18 g/m² por cara. Con frecuencia se obtienen pesos más altos aplicando una capa de estucado doble. Las formulaciones del estucado son normalmente más simples que las usadas para el papel artístico. Los papeles estucados en máquina se utilizan principalmente para aplicaciones de impresión.

Papeles Estucados Ligeros (LWC): estos papeles tienen un alto contenido de pasta mecánica y generalmente tienen pesos de capa de estucado del orden de 5-12 g/m² por cara. Son papeles que se producen en masa y se utilizan para la producción de catálogos, revistas, folletos publicitarios, etc. Las gamas de peso han ampliado estos límites hacia abajo (ULWC = ultraligero) y también hacia arriba (MWC = medio y HWC = pesado). Actualmente, las calidades gruesas se suelen suministrar con una capa doble y, por lo tanto, se agrupan con las calidades estucadas en máquina.

Cartón para cajas plegables y cartón cromado: en estas calidades de cartón, el toplaner blanco se estuca en la máquina de cartón. Las capas restantes de cartón pueden consistir en pasta blanqueada o sin blanquear o papel recuperado. El peso de capa de estucado es del orden de 12-33 g/m², y el estuco consiste normalmente en una capa inferior y una capa superior. Más recientemente, se han aplicado también tres capas de estucado. El cartón raramente es estucado en el reverso.

Según el funcionamiento de la cocina de estucado, la aplicación del estucado y las medidas in situ para la recuperación o el tratamiento separado de los efluentes que contienen salsa de estucado, pueden producirse emisiones relevantes de efluentes al agua (ver 6.3.5 y 6.3.6). En algunas aplicaciones pueden medirse concentraciones algo elevadas de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en los gases de escape de la campana de secado.

Las emisiones potenciales al agua pueden ser causadas por el vertido de componentes de estucado concentrados (\cong consistencia del 50%) de la cocina o estación de estucado, o componentes de estucado diluidos del agua de lavado de tanques y de las conducciones. Las descargas concentradas pueden recogerse en tanques o recipientes móviles para el tratamiento de residuos sólidos. Las corrientes diluidas se recogen en tanques, de los cuales se conducen al tratamiento de efluentes. Generalmente, los efluentes de estucado requieren un tratamiento

previo separado en una planta de floculación (ver 6.3.6). De lo contrario, las aguas residuales de estucado pueden causar trastornos en el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales. En años recientes, la tecnología de filtración de membrana descrita en la Sección 6.3.5 ha producido buenos resultados en el reciclaje de la salsa de estucado. En aplicaciones en Finlandia, Suecia, Francia y Alemania, la salsa de estucado recuperada se recicla de nuevo en la cocina de estucado en donde se mezcla proporcionalmente con la salsa de estucado fresco. Los rotos estucados son normalmente devueltos al pulper, por lo que algo del estucado es devuelto al circuito de agua.

6.1.7 Coloreado del papel (opcional)

Los papeles coloreados se obtienen tiñendo la pasta de papel o la superficie de papel (prensa de encolado, estucado del papel). Los papeles con blanqueantes ópticos pueden producirse de forma similar.

El teñido de la pasta es el tipo de coloreado de papel usado más frecuentemente. Los colorantes, pigmentos, y blanqueantes ópticos se agregan por cargas en el pulper o depósito de mezcla, o se introducen de forma continua en el flujo de pasta. La adición continua tiene la ventaja de una zona más corta en la línea de pasta, que debe limpiarse cuando se cambia el color. Sin embargo, debido al menor tiempo de contacto en comparación con la adición por cargas, se obtiene un menor rendimiento del color para los papeles intensamente coloreados y se requiere un equipo más complejo para este proceso de teñido.

Cuando se colorea la superficie del papel en la prensa de encolado, los colorantes se agregan a la solución de la prensa de encolado. El teñido superficial ha ganado aceptación solamente en casos particulares, ya que es difícil conseguir un teñido uniforme del papel. Sin embargo, este proceso tiene la ventaja de la ausencia de colorantes en los circuitos del agua.

Las superficies de los papeles pueden también colorearse por estucado. En el estucado normal (ver 6.1.6), la superficie del papel o del cartón se cubre con una capa de pigmento. En el caso de estucos coloreados, el material inicial es la mezcla de estucado blanco, y el tono deseado se logra agregando una dispersión de un pigmento orgánico o inorgánico.

Según el material fibroso a teñir y la finalidad prevista del papel, se utilizan diversos tipos de pigmentos y colorantes como colorantes básicos (colorantes catiónicos), colorantes directos, colorantes ácidos. Además se utilizan agentes de fijación y otros aditivos para mejorar la fijación del colorante y para obtener mejores resultados de teñido. Como pigmentos se utilizan pigmentos inorgánicos u orgánicos (por ejemplo, los tipos con grupos azo y ftalocianina) para el teñido de papel.

Los impactos potenciales para el medio ambiente del coloreado son principalmente las emisiones al agua. Especialmente en fábricas con varios cambios de tintes o de tonalidades al día, los circuitos de agua tienen que limpiarse después de un cierto tiempo. Generalmente, las fábricas de papel trabajan por campañas, produciendo primero los tintes más pálidos, que van cambiando gradualmente a tintes más oscuros. Entonces, la coloración del agua sólo debe reajustarse. Sin embargo, cuando por ejemplo se llega al verde oscuro, el sistema del agua debe lavarse. Las aguas residuales coloreadas se envían al agua previo paso por la planta de tratamiento de aguas residuales. Varias veces por mes, las conducciones son sometidas a un ataque químico para eliminar depósitos y color de las tuberías. En algunas fábricas, para este tratamiento químico se utilizan cloro elemental e hipoclorito.

6.1.8 Adición de productos químicos

Aparte de las materias primas principales, es decir, material fibroso y cargas, la fabricación de papel requiere el uso de diversas mezclas de aditivos y auxiliares químicos. Una parte sirve como medio para conseguir ciertas propiedades del papel (ej: aditivos de encolado, agentes de resistencia en húmedo, colorantes, salsa de estucado); la otra parte mejora las operaciones en el proceso de producción (ej: agentes de retención, agentes antiespumantes, agentes de limpieza, y biocidas).

Los añadidos químicos pueden ser suministrados a las fábricas listas para su uso o ser preparados in situ – normalmente los productos químicos especiales de volumen típicamente bajo se suministran listos para su uso, mientras que los productos químicos de mayor volumen pueden suministrarse en cualquiera de las dos formas. Esto es cierto para los estucos, así como los agregados a la pasta de papel.

Los aditivos químicos pueden agregarse en la parte húmeda con la pasta de dilución, o rociarse sobre la tela, con lo cual se integran en el cuerpo del papel, o en la prensa de encolado o en la sección de estucado de la máquina, donde se agregan a la superficie. En el primer caso, todo del producto químico que es retenido por la hoja de papel continuo permanecerá en el circuito de agua pasando probablemente al efluente. Los productos químicos remanentes en el circuito de agua pueden obstaculizar el proceso del cierre del circuito de agua y pueden también tener un impacto negativo en la planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, depende del tipo y de la cantidad de productos químicos aplicados.

La adición de productos químicos a la superficie, por rociado o inmersión, es potencialmente más controlada y sólo requiere el agua para lavado y limpieza. Sin embargo, esto es solamente posible para algunas aplicaciones. En esos pocos casos cualquier agua de lavado podría segregarse para su tratamiento separado. Por ejemplo, los residuos líquidos de estucado pueden tratarse por separado en un paso de precipitación o por medio de ultrafiltración (ver Sección 6.3.5 y Sección 6.3.6).

Los principales aditivos de la fabricación de papel y sus propiedades medioambientales se discuten más detalladamente por separado en la Sección 6.2.2.3 y en el ANEXO I.

6.1.9 Calandrado (opcional)

El objetivo del calandrado es producir una superficie de papel lisa que cumpla los requisitos de impresión y escritura para su uso previsto. En el calandrado, la hoja continua se alimenta a través de rodillos prensores y, en este proceso, la rugosidad superficial se ve influenciada por la acción de la presión y muy a menudo por la temperatura. La calandra consiste en dos o más rodillos de fundición enfriados con superficies muy lisas que están dispuestos uno encima del otro según se muestra en la Figura 6.5.

La hoja continua se pasa a través de la presión (nip) de estos rodillos (nips duros). Hoy en día, las calandrias tienen un rodillo calentado de fundición combinado con un rodillo con una cubierta de plástico blando (nip blando). Se disponen dos o más de éstos uno detrás del otro. Los rodillos se calientan internamente con agua caliente, vapor o aceite de calefacción.

La hoja continua de papel que se ha producido en la máquina de papel o la estucadora es sometida a menudo a otro tratamiento de acabado denominado supercalandrado (Figura 6.5). Este proceso produce una elevada lisura superficial, muy uniforme, y se realiza independientemente de la máquina de papel, generalmente en supercalandras. Este tratamiento

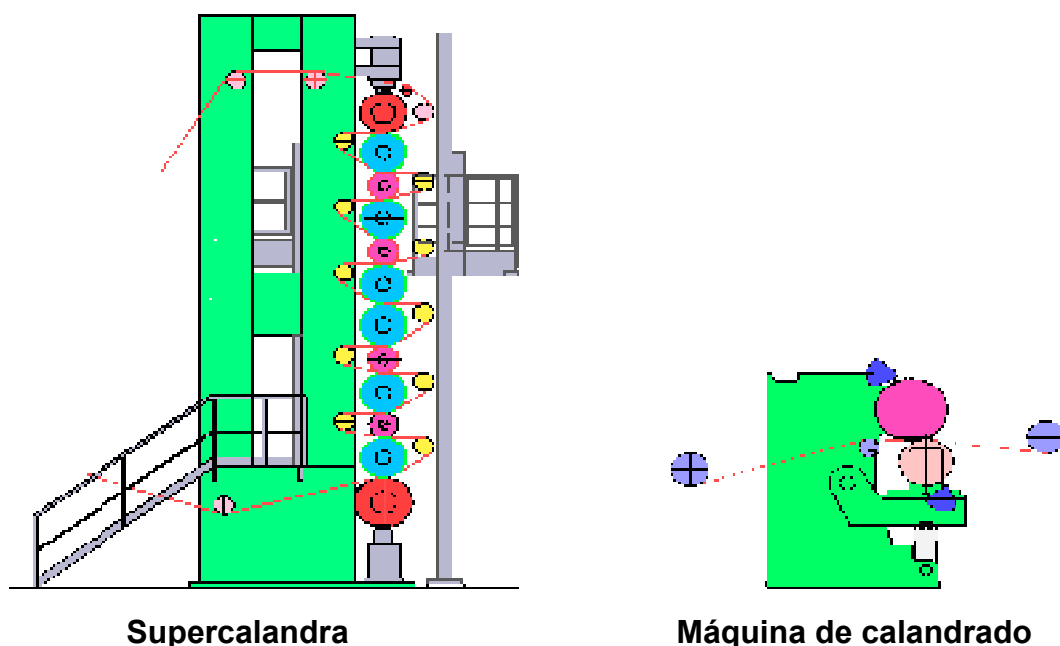


Figura 6.5: Ejemplo de dos calandrias distintas: supercalandra y máquina de calandrado
[Figura facilitada por Valmet]

también mejora el brillo. El supercalandrado aumenta la imprimibilidad necesaria en caso de impresión de imágenes. Para algunas calidades, antes del supercalandrado, la hoja continua se comprueba en rebobinadoras por si presenta defectos. Las partes defectuosas se eliminan y los extremos de la hoja se empalman otra vez. El sistema de supercalandra consiste en el soporte de devanado, la supercalandra en sí, y el soporte de bobinado.

Los impactos para el medio ambiente del (super)calandrado son principalmente el consumo de energía necesario para hacer funcionar la máquina y calentar los rodillos.

6.1.10 Bobinado / corte / despacho

El producto de papel final se hace siguiendo las especificaciones del cliente en lo que respecta a tamaño de rollo o de hoja, peso del papel, color y acabado. La mayoría de las máquinas de papel producen rollos de papel grandes, en los que el ancho de hoja de papel continuo se ha determinado recortando los lados de hoja continua en la parte húmeda de la máquina. Es frecuente acabar los productos con cuchillas giratorias y guillotinas en la máquina, recortando los rollos al ancho exacto y cortándolos en hojas antes de su envoltura para envío.

Puede haber también una etapa de acondicionamiento del producto de papel a un contenido de humedad especificado de modo que sea consistente en todas partes, dimensionalmente estable y apto para el uso previsto, como impresión o embalaje.

Las consecuencias medioambientales de estas operaciones son relativamente pequeñas, pero existe la generación potencial de polvo en el corte. Los procesos implicados consumen poca energía. Se generan residuos en el recorte de papel, que se reciclan normalmente como rotos al proceso de fabricación de papel.

6.1.11 Ejemplos de fábricas de papel no integradas en Europa

Los procesos de fabricación de papel y cartón pueden realizarse en el mismo lugar que la producción de pasta (fábricas integradas) o por separado en una instalación propia (fábricas no integradas).

En 1993 funcionaban 830 fábricas de papel no integradas en Europa Occidental con una capacidad total de unos 30 millones de toneladas/año. Esto corresponde a una capacidad de producción media de unas 35.000 t/año. Una gran parte de las industrias de papel no integradas se encuentran en países como Italia (211), Alemania (161 fábricas), España (114 fábricas), Francia (107 fábricas) y Reino Unido (81 fábricas) [J. Pöyry, b 1994].

Distintas calidades de papel y cartón se fabrican a partir de diversas materias primas con máquinas que están diseñadas para cada calidad de papel y cartón. Sin embargo, hasta ahora no hay un acuerdo general en Europa acerca de qué calidades de papel cabe distinguir desde un punto de vista ambiental para describir las emisiones alcanzables en las fábricas de papel que han puesto en práctica las MTDs. Los sistemas de clasificación de las estadísticas comerciales (ej: estadísticas nacionales, estadísticas del CEPI) no son iguales que las usadas por los Estados Miembros para fijar los requisitos legales para la industria del papel. La clasificación de las fábricas de papel varía de un país a otro. Por consiguiente, no hay una clasificación existente que pueda simplemente adoptarse.

En Europa, la mayoría de fábricas de papel no integradas fabrican papel fino, papel tisú o papeles especiales. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en algunos países estas calidades de papel también se producen en fábricas integradas. Por ejemplo, en los países nórdicos las fábricas de papel fino se encuentran en la mayoría de los casos adyacentes a una fábrica de pasta. El papel tisú también se produce en fábricas de papel integradas (principalmente con fibras recuperadas) o no integradas.

6.1.11.1 Papeles para impresión y escritura sin pasta mecánica y sin estucar

Los papeles para impresión y escritura incluyen productos como papeles para impresión de revistas con pasta mecánica (ver Capítulo 4) y los papeles de impresión naturales sin pasta mecánica.

Los papeles de impresión naturales sin pasta mecánica consisten casi exclusivamente en pasta química blanqueada de fibra corta y fibra larga. Puede usarse un 10 - 20% de cargas. Estos papeles sin estucar son generalmente estucados y se mejoran mediante encolado superficial y calandrado. Los papeles de impresión sin pasta mecánica no amarillean de forma apreciable y tienen una alta resistencia.

Durante la limpieza y el tamizado de la pasta sólo se purgan cantidades pequeñas de rechazos, ya que las materias primas son en gran parte puras. Durante el refino, las fibras se acortan y fibrilan. Durante la fibrilación de la fibra se disuelve una pequeña parte del material orgánico.

Otros productos de papel sin pasta mecánica, consistentes principalmente en pasta química, incluyen entre otros productos como papel tisú, guata de celulosa, papel de filtro, papel decorativo, papel base para laminación o papel base para papel pergamino. También incluyen aquellos productos en los que se agregan colas a la masa para reducir la capacidad natural de la absorción de hoja de fibra como por ejemplo, papel para carteles, papel carbón, papeles kraft y papeles de dibujo. El encolado aumenta las sustancias orgánicas en los circuitos de agua, y durante el reprocesado de los rotos la mayor parte de los aditivos pueden redisolverse (ej: almidón nativo convertido).

6.1.11.2 Papel de impresión y escritura con pasta mecánica estucado

Los papeles de impresión estucados representan el mayor grupo dentro de los papeles para impresión y escritura. La mayor parte de este grupo – papeles de impresión estucados que contienen pasta mecánica – se describe en el Capítulo 4.

La base para el papel estucado sin pasta mecánica consiste predominante en pasta química. Se aplica una capa de color de estucado a ambas caras de la hoja de papel continuo. Estos papeles se pueden calandrar además para darles una superficie mate o satinada. Además del papel de impresión y del papel artístico, la producción de cartón cromo (el topliner blanco de cartón) se incluye también en este grupo.

Durante el proceso de preparación de pasta, sólo se purgan pequeñas cantidades de rechazos, pues las materias primas son en su mayor parte puras. El papel estucado se seca dos veces, la primera en la sección de sequería normal y otra vez después de la aplicación del estucado húmedo. Según el tipo de papel producido, se agregan aditivos adicionales en los recipientes de mezcla, lo que puede dar lugar a contaminación de las aguas residuales. El estucado y el acabado consisten en un encolado superficial y en la aplicación de una salsa de estucado (una o varias capas en una o ambas caras). La preparación de la salsa de estucado y el reprocesado de los rotos producen contaminación adicional de las aguas residuales, consistente en sustancias sin disolver así como sustancias disueltas que consumen oxígeno.

6.1.11.3 Papel tisú

El papel tisú es generalmente un producto donde las capas simples producidas en la máquina de papel se combinan después en un producto de múltiples capas, en una unidad separada. Esto es debido a su hoja de bajo peso básico (hasta sólo 12 g/m² en la tela). Las características principales del producto son suavidad y lisura, limpieza, alto poder absorbente y resistencia. La conversión en productos acabados se integra a menudo con la producción de papel tisú, es decir, es frecuente que las fábricas de papel tisú vendan sus productos al consumidor final (incluido envasado).

El papel tisú está predominantemente hecho de pastas químicas blanqueadas o de fibras recuperadas destintadas (ver Capítulo 5). En caso de usar papel recuperado, las cargas y los finos (fibras muy pequeñas inadecuadas para la fabricación de papel) deben ser eliminados. También se suele utilizar una mezcla con diversos porcentajes de fibras vírgenes y recuperadas. Si se utilizan fibras recuperadas, las fábricas son integradas o parcialmente integradas. En el proceso de papel recuperado, se utiliza mucha agua para eliminar cargas y finos de la pasta. Estas sustancias aparecen en forma de lodo adicional a manipular y tratar. Para el proceso del papel recuperado con destintado, se hace referencia al Capítulo 5.

En la fabricación de papel tisú, se utilizan diversas tecnologías de secado para los distintos productos, como por ejemplo el secador convencional Yankee o el proceso de secado a través de aire (TAD) que consume considerablemente más energía, al tener que calentar las cantidades ingentes de aire. Los productos secados con el sistema TAD tienden a ser más voluminosos y suaves, lo que produce un consumo considerablemente más bajo de fibra para un producto dado, en comparación con el papel tisú crespado convencional.

Durante el proceso de preparación de pasta hay sólo pequeñas cantidades de pérdidas de material fibroso (1 - 2%). Las emisiones a la atmósfera dependen principalmente de la fuente de energía y la configuración del proceso de secado. Las fábricas de papel tisú tienden a utilizar volúmenes algo más altos de agua fresca en regaderas que otros tipos de papel, ya que la limpieza de las telas y los fieltros es crucial para la formación de la hoja muy ligera. Muchas máquinas de papel tisú realizan cambios frecuentes de calidad y/o color para diversos productos, lo que reduce algo la

eficiencia del uso de materias primas, del agua y de la energía. Este fenómeno es más evidente en las fábricas pequeñas que sólo tienen una máquina de papel. Según las características del producto se agregan aditivos, que pueden producir contaminación de las aguas residuales. Como ejemplo, el uso de resinas orgánicas halogenadas para la mejora de la resistencia en húmedo produce niveles más altos de AOX en las aguas residuales.

6.1.11.4 Papeles especiales

Los papeles y cartones para aplicaciones técnicas y especiales cubren una amplia gama de calidades. Los papeles especiales suelen requerir materiales fibrosos o procesos específicos de la fibra que de otra manera resultan demasiado costosos de usar. Por ejemplo, el papel para documentos, billetes de banco y papeles de identificación no sólo contienen fibras, sino también pasta de algodón y yute procedente de trapos.

Este grupo comprende papel altamente pulverizado consistente en pasta química pura. Las características específicas, tales como transparencia e impermeabilidad a la grasa, se alcanzan mediante refinado intensivo. Entre otros, se fabrican los tipos de papel siguientes: papel pergamino para contabilidad, papel eléctrico aislante, papel para condensadores, papel de calco sin recubrimiento, papel cristal, sustitutos de papel pergamino, papel de fumar, etc. Sólo se pierden cantidades pequeñas de materiales inadecuados durante las etapas de proceso de limpieza y tamizado, ya que las materias primas son en gran parte puras. Durante el refinado, las fibras se acortan y se fibrilan fuertemente. Durante la fibrilación de la fibra, una parte del material orgánico se disuelve. Según el tipo de papel, se agregan aditivos químicos, parte de los cuales pueden terminar en las aguas residuales. El caudal específico de las aguas residuales varía fuertemente entre 40 y 300 m³/t según el producto y las condiciones específicas de la producción. Las posibilidades de cierre de los circuitos de agua están limitadas por la tecnología de producción para este grupo de productos (aumento del calor debido al refinado intensivo) y por los requisitos de calidad que tienen los diversos tipos de papel (ej: conductividad eléctrica, transparencia, características sensoriales).

Los papeles especiales para aplicaciones técnicas, médicas, farmacéuticas y otras se producen en lotes pequeños con más de un cambio de tipo por día y máquina del papel como promedio anual. La composición de la pasta para los productos individuales puede variar considerablemente e incluye plantas anuales pretratadas, pasta química blanqueada y sin blanquear, así como fibras químicas y minerales.

La pasta usada varía considerablemente en tipo y calidad. Se fabrican los siguientes tipos de papel, entre otros: papel de ensayo, papel fotográfico, papel de filtro para el uso en laboratorio, papel especial para uso clínico, papel de filtros de aceite, papel de filtros de polvo, papel base para impregnación, papel base de fibras vulcanizadas, papel laminado eléctrico, papel sellante, papel para rodillos de calandrado (ej: para rodillos de gofrado), papel autocopiativo, papel térmico, papel de etiquetas, papel estucado de alto brillo, etc. Para la producción de papeles especiales, el agua puede recircularse sólo en un grado limitado debido a los estrictos requisitos de calidad de estos papeles especiales. En consecuencia, y debido al cambio frecuente de tipos, el consumo específico de agua puede exceder 100 m³/t. La carga orgánica de las aguas residuales es baja. Según los criterios de calidad a alcanzar, un cambio del tipo de papel puede producir un vaciado más o menos total del sistema de pasta y de agua.

6.2 Niveles actuales de emisiones y consumos de las fábricas de papel

6.2.1 Resumen de entradas y salidas

La Figura 6.6 presenta un esquema general de la entrada de materias y energía, y la salida de productos, residuos para reutilización y principales emisiones (emisiones, residuos, etc.) de la fabricación de papel.

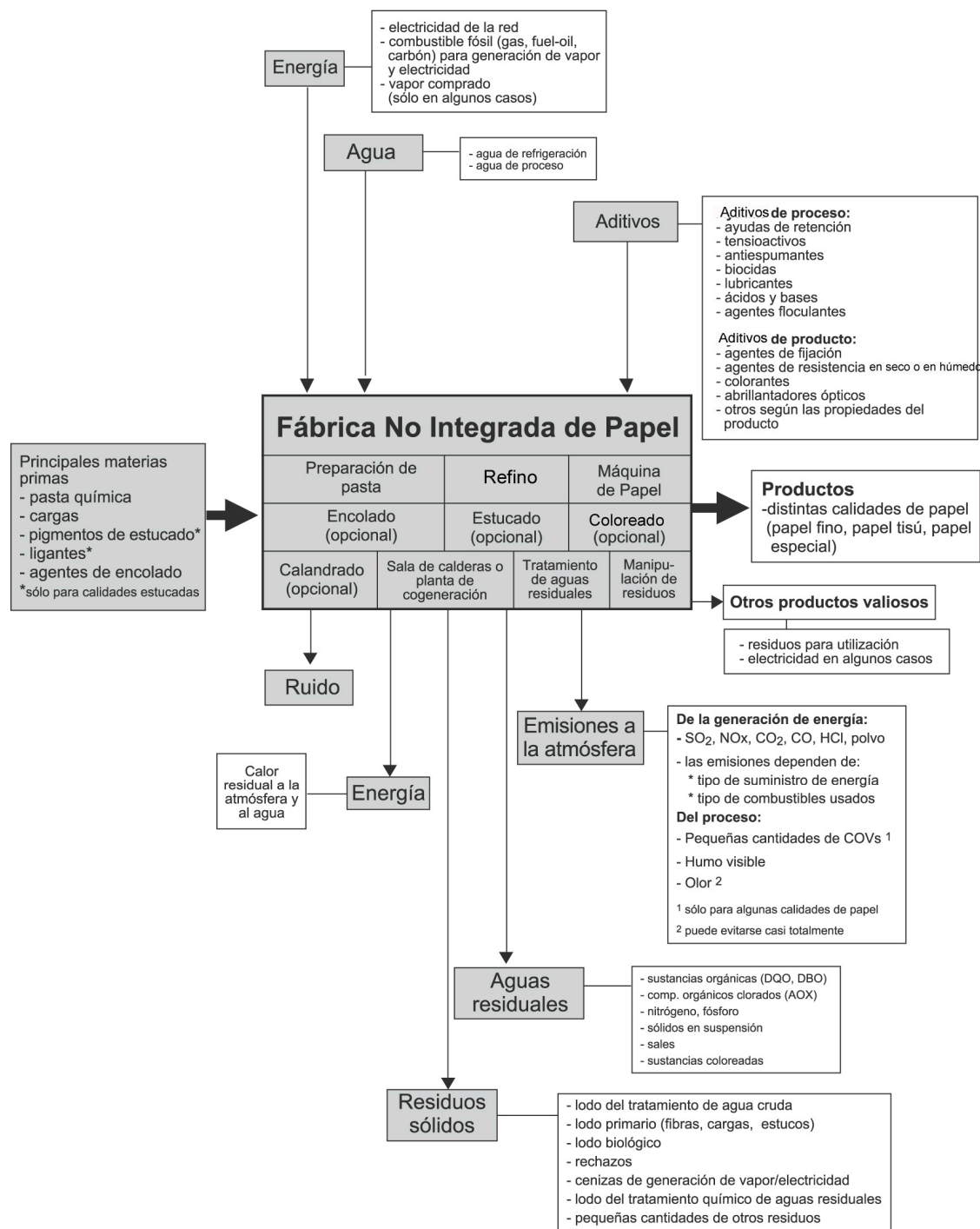


Figura 6.6: Diagrama de flujos de materia de una fábrica de papel. La presencia de algunas sustancias depende principalmente de la calidad del papel y de las propiedades a conseguir, así como del tipo de fuente de energía.

Utilizando el diagrama de flujos de materias, es posible calcular el consumo específico de materias primas y las emisiones específicas por tonelada de producto. La Tabla 6.2 presenta datos de la

principal fábrica de papel fino en Europa, ya que no había otros datos disponibles. Este ejemplo es para una fábrica que ha alcanzado los mejores niveles de comportamiento medioambiental. En la Tabla 6.3 inferior se indican los datos para fábricas de papel típicas.

Entrada			Salida		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Pasta química blanqueada (5% humedad)	610,03	kg/t	Papel fino (estucado y sin estucar)	1000	kg
Cargas (CaCO ₃), 73% MS	209,28	kg/t	Emisiones		
Pigmentos de estucado (CaCO ₃ y caolín, 73% MS)	210,18	kg/t	CO ₂ ³⁾	298	kg/t
Almidón, seco	40,33	kg/t	CO ₂ , regenerativo	-	kg/t
Ligantes, secos	29,34	kg/t	NOx ³⁾	0,2	kg/t
Agentes encolado, 20% MS	6,36	kg/t	CO ³⁾	0,02	kg/t
Otros aditivos y colorantes	15,35	kg/t	SO ₂ ³⁾	despreciable	kg/t
Energía			Polvo ³⁾	despreciable	kg/t
Gas natural para la generación de vapor	5217	MJ/t	Ruido: en 2 puntos de medición ⁴⁾	47,4 (600m) 39,8 (1200m)	dB (A) dB (A)
Gas para carretillas elevadoras	0,002	MJ/t	DQO	0,44 (97)	kg/t (mg/l)
Gas para hornos de contracción	15,4	MJ/t	DBO ₅	0,11 (24)	kg/t (mg/l)
Electricidad contratada ²⁾	611,8	kWh/t	Sólidos suspensión	0,14 (30)	kg/t (mg/l)
Total energía consumida	2065	kWh/t	AOX	0,0007 (0,15)	kg/t (mg/l)
Total energía primaria ¹⁾	3136	kWh/t	N _{inorgánico}	0,041 (9,2)	kg/t (mg/l)
			P _{total}	0,003 (0,8)	kg/t (mg/l)
			Vapor de agua	1,5	m ³ /t
			Caudal de aguas residuales	4,5	m ³ /t
Demanda de agua			Residuos		
Agua cruda / fresca	6	m ³ /t	Lodo (utilizado en la fabricación de ladrillos)	12,7 (100% MS)	kg/t
			Otros residuos	5,1	kg/t

Notas:

- 1) La contribución de la electricidad contratada al consumo específico de energía primaria se calcula suponiendo un rendimiento energético de las compañías eléctricas del 36,75%, es decir, 1 kWh de electricidad contratada corresponde a 2,75 kWh de energía primaria. Factor de conversión: 1 MJ = 0,2778 kWh y 1 kWh = 3,6 MJ.
- 2) El consumo de electricidad incluye el suministro a las bombas de agua cruda.
- 3) No se incluyen las emisiones a la atmósfera de la electricidad contratada. El vapor se produce in situ en una caldera de vapor con combustión a gas. Las emisiones a la atmósfera de las fábricas de papel no integradas dependen principalmente del tipo de combustible utilizado.
- 4) La distancia desde las fábricas de papel a una zona comercial es de unos 600 m; a una zona residencial, de 1200 m.

Tabla 6.2: Datos medios anuales de entradas / salidas de la mayor fábrica no integrada de papel fino sin pasta mecánica en Europa (calidades estucadas y sin estucar), con una producción de unas 1.018.450 t/a (1997)¹. Los datos de las emisiones al agua representan la situación después de un tratamiento biológico en dos fases (filtro de goteo de alta carga más lodo activado)

La Tabla 6.2 hace referencia a una fábrica de papel muy grande. No obstante, hay que destacar que las fábricas pequeñas suelen tener mayores valores de consumo específico de energía que las fábricas grandes. Los motivos para las diferencias en el comportamiento energético entre las fábricas grandes y las pequeñas son por ejemplo:

¹ Declaración Medioambiental 1998, Nordland Papier AG, UPM, Postfach 11 60, D-26888 Dörpen, Alemania.

- El agua fresca requerida para recortar continuamente los bordes de la hoja continua es la misma para las máquinas anchas y estrechas. Así, las máquinas de papel con un mayor ancho utilizan relativamente menos agua para este fin.
- Las máquinas grandes suelen producir calidades en gran volumen. Esto significa que es necesario realizar menos cambios de calidades, que causan un mayor consumo de agua y aumentan la carga de contaminantes al tener que lavar el sistema.
- Las economías de escala facilitan inversiones en tecnología limpia para las fábricas grandes.
- Las fábricas grandes tienen más recursos económicos y humanos para investigación y desarrollo.

En la Tabla 6.3 se recopilan los niveles de consumos y emisiones para fábricas de papel tisú. La principal diferencia entre las fábricas de fibra virgen y secundaria son los residuos sólidos. Aunque las fábricas de fibra virgen generan 10-40 kg de residuos /t de papel (100% materia seca) del proceso de fibras recicladas se generan unos 400 - 1000 kg de residuos /t (ver Sección 5.2.2.6).

Entradas			Salidas		
Materias primas	Valor	Unidad	Producto	Valor	Unidad
Pasta química blanqueada	1010-1020	kg/t	Papel tisú	1000	kg
Resinas resistencia húmeda	0-80	kg/t	Emisiones		
Almidón, seco	0-30	kg/t	CO ₂ ⁴⁾	300-1800	kg/t
Colorantes	0-2	kg/t	CO ₂ , regenerativo	-	kg/t
Otros aditivos	0-20	kg/t	NO _x ⁴⁾	0.5-5	kg/t
			SO ₂ ⁴⁾	0.07-10	kg/t
			Polvo ⁴⁾	n/d.	kg/t
Energía				Antes-después del tratamiento	
Combustible para generación de vapor	5.000-25.000	MJ/t	DQO	n/d. 2 -6	kg/t
Total consumo eléctrico ¹⁾	1.000-3.000 ³⁾	kWh/t	DBO ₅	n/d. 1 - 2	kg/t
Total consumo energía ²⁾	2.000-10.000	kWh/t	Sólidos suspensión	n/d. 1 - 3	kg/t
			AOX	n/d. 5 - 15	g/t
			N _{total}	n/d. 5 - 100	g/t
			P _{total}	n/d. 1 - 30	g/t
			Vapor de agua	1	m ³ /t
			Caudal aguas residuales	6 - 100	m ³ /t
Demanda de agua			Residuos		
Agua cruda / fresca	7-100	m ³ /t	Residuos sólidos	10 - 40 (100% MS)	kg/t

Notas:

- 1) No se tiene en cuenta la eficacia de las compañías productoras de electricidad.
- 2) El consumo específico de energía primaria se calcula suponiendo un rendimiento energético de las compañías eléctricas. Factor de conversión: 1 MJ = 0,2778 kWh y 1 kWh = 3,6 MJ.
- 3) El extremo superior del rango hace referencia a fábricas de papel tisú que utilizan secado a través de aire (TAD) o técnicas de recespado. En el sistema TAD hay que mover grandes volúmenes de aire mediante ventiladores.
- 4) Las emisiones incluyen todos los tipos de combustible para la producción de vapor. No se incluyen las emisiones a la atmósfera de la electricidad contratada.

Tabla 6.3: Niveles de emisiones y consumos para fábricas típicas de papel tisú [datos ETS]. Las emisiones al agua se dan como valores típicos antes y después del tratamiento. Aparte de los datos de residuos sólidos, no hay diferencia significativa entre los niveles de consumos y emisiones para fibras vírgenes y recicladas.

6.2.2 Niveles de consumos y emisiones

Hay que tener en consideración los siguientes aspectos asociados con la fabricación de papel:

- Consumo de materias primas

- Consumo de agua
- Uso de aditivos
- Demanda de energía.
- Emisiones a las aguas residuales.
- Generación de residuos sólidos.
- Emisiones a la atmósfera de las máquinas de papel.
- Emisiones a la atmósfera de la generación de papel .
- Olor de vapores y de la planta de tratamiento de aguas residuales (local) .
- Ruido de las máquinas de papel (local).

Las vibraciones de baja frecuencia y la emisión de penachos visibles puede también ser objeto de preocupación local. Sobre este aspecto no se ha facilitado información, por lo que no se describe a continuación.

Por lo que respecta a las cifras de emisiones y consumos, debe tenerse en cuenta que, debido al uso de algunos métodos de medición diferentes en los distintos Estados miembros, los datos no son siempre estrictamente comparables de un país a otro (ver ANEXO III para más información sobre este aspecto, pero los distintos métodos no modifican las conclusiones que se extraen en este documento).

6.2.2.1 Consumo de las principales materias primas

El papel se fabrica a base de fibras, agua y aditivos químicos. El consumo de materias primas en la fabricación de papel depende fuertemente de la calidad de papel fabricada y de las propiedades y calidad requerida del producto final. En la Tabla 6.4 se detallan ejemplos de materias primas consumidas. También se indican algunas características de los productos.

Calidad de papel	Principales materias primas usadas	Algunas características de los productos y ejemplos de productos
Papel prensa	Sin nuevas cargas agregadas; pocos aditivos químicos; a veces se agregan pigmentos; muy poco color; pasta mecánica o FRC	Rango de gramaje estrecho 40 - 50 g/m ² a) 100 - 70% FRC + 0 - 30% TMP b) principalmente TMP + 0 - 50% DIP
Kraft embalaje	Sin cargas agregadas, con color; Utiliza principalmente pasta kraft sin blanquear	Gran resistencia del producto; 70 - 100 g/m ²
Kraftliner o Testliner	Sin cargas agregadas; Utiliza pasta kraft sin blanquear y FRC o sólo FRC	Alto gramaje; 110 - 160 g/m ² Testliner: 90-100% FRC
Cartón	A menudo distintas composiciones en distintas capas, principalmente hojas multicapa; todos los tipos de fibras incluidas FRC;	Altos gramajes básicos, 175 g/m ² + (hasta 2000 g/m ²);
Escritura e impresión	Todas las calidades de fibra, principalmente blanqueada; cargas, colas, colores, abrillantadores; puede ser estucado; amplia gama de pesos básicos;	Especificación precisa para el usuario; gramaje de 30 g/m ² a 50-60 g/m ² (LWC) hasta 90-120 g/m ²
Papel Tisú	Sin cargas agregadas; aditivos de resistencia húmeda; Utiliza pasta química + FRC en distintas mezclas	Producto ligero ¹ ej: Pañuelos: 15 g/m ² (tres hojas) Servilletas: 20 g/m ² (dos hojas)
Papeles especiales	Proceso específico de fibras; la pasta usada puede variar considerablemente en cuanto a tipo y calidad	Este grupo cubre una amplia gama de calidades;
Notas: 1. La hoja fabricada en una máquina de papel tisú raramente supera los 40 g/m ³ . Los gramajes básicos más elevados de los productos de papel tisú se consiguen mediante varias capas en la conversión.		

Tabla 6.4: Ejemplos de las principales materias primas utilizadas para la fabricación de distintos tipos de papel.

6.2.2.2 Consumo de agua

En las fábricas de papel se consume principalmente agua fresca:

- Como agua de limpieza para la máquina de papel, mediante rociadores. La función de los rociadores es lubricar y limpiar las telas de formado y los fieltros de las prensas húmedas para mantener un comportamiento de deshidratación satisfactorio: 5 - 20 m³/t.
- Como agua de sellado y confinado en prensaestopas, cajas de aspiración, sistemas de vacío y limpiadores: 1 - 6 m³/t.
- Como disolvente y dispersante de cargas y aditivos: 1,5 - 3 m³/t.
- Para algunas calidades de papel: agua de aporte en la preparación de pasta.
- Refrigeración del equipo de proceso: 3 - 10 m³/t. Estas aguas se suelen reciclar y se utiliza como aguas de proceso. Otras fábricas las descargan por separado. Por consiguiente, estas aguas no se incluyen al reportar el consumo de agua de las fábricas de papel.
- Planta de energía: 2 - 3 m³/t. Estas aguas no se incluyen normalmente al reportar el consumo de agua de las fábricas de papel.

El esquema simplificado de la Figura 6.7 muestra, a través de un ejemplo, los principales puntos en los que se utiliza agua fresca. Se supone que el agua de refrigeración se reutiliza en el proceso. Las fábricas de papel que descargan el agua de refrigeración necesitan por tanto más agua fresca. A la hora de comparar las cifras de consumo de agua en las fábricas de papel hay que estar seguro de que las cifras comparadas incluyen las mismas posiciones para el consumo de agua.

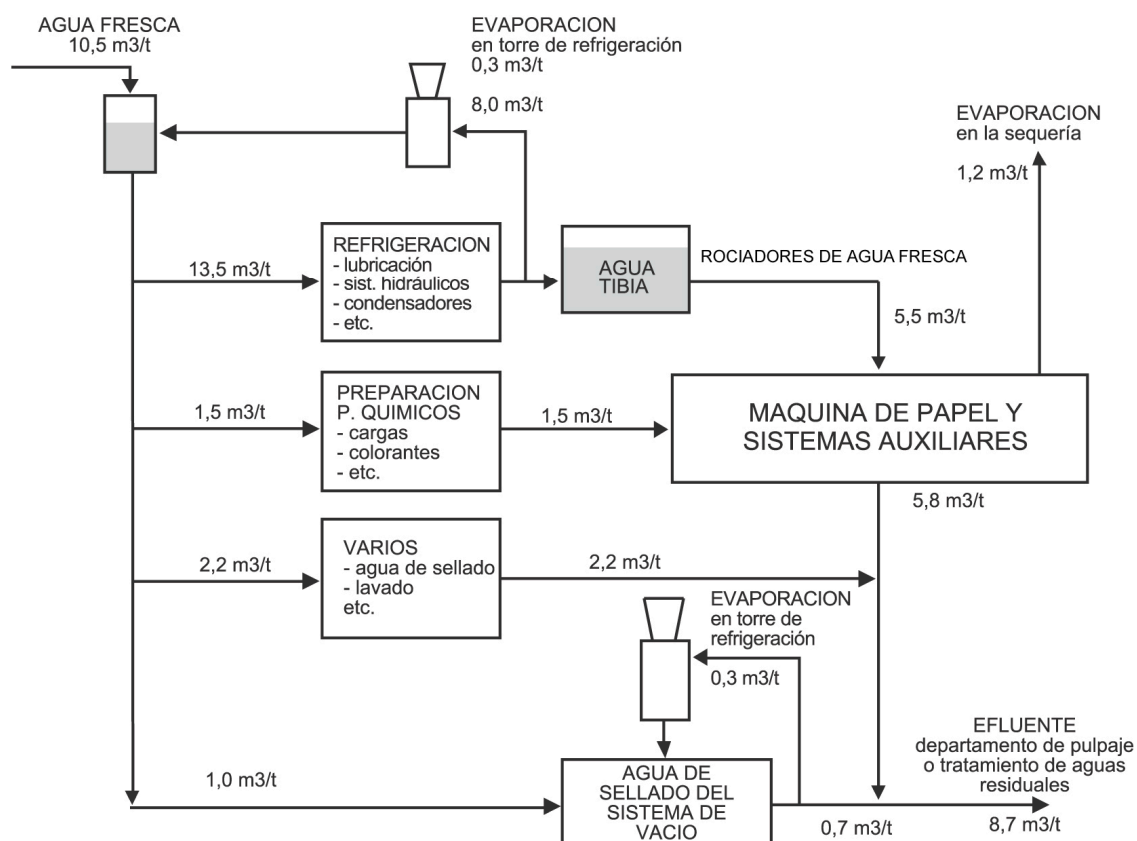


Figura 6.7: Puntos de demanda de agua fresca en una fábrica de papel. Ejemplo de una fábrica de papel que consume 10,5 m³/t de agua fresca. El agua de refrigeración se recicla mediante el uso de torres de refrigeración. El agua recirculada de las bombas de vacío no se muestra (el caudal puede ser del orden de 6-8 m³/t). La cifra muestra sólo los caudales de agua netos (entrada / salida) en funcionamiento continuo. Los desequilibrios de los caudales de agua durante por ejemplo los arranques, en los que normalmente se consume una mayor cantidad de agua, no se tienen en cuenta. "Varios" es un poco una "zona gris", aunque no es despreciable.

El agua fresca se introduce normalmente en el proceso de fabricación de papel principalmente a través de los rociadores de la sección de formación del papel y de la sección de prensa, tras lo cual se alimenta a los diversos procesos de lavado y dilución de la fábrica.

En las unidades de preparación de pasta no suele haber demanda de agua fresca, es decir, normalmente no se requiere agua fresca para la dilución de la materia prima de fibra entrante. Si hay disponibles distintas calidades de agua blanca, el agua con mayor contenido de fibra (filtrado turbio) podría usarse en las unidades de desfibrado. No obstante, la mayor parte del filtrado turbio se utiliza en la circulación corta para ajustar la consistencia de la pasta aguada de fibra entrante. La necesidad de agua fresca se limita a la dilución de productos químicos y a agua de sellado para parte del equipo. La mayoría de aditivos químicos deben ser diluidos con agua fresca antes de entrar en el sistema de la máquina de papel, ya que de lo contrario pueden surgir problemas de calidad y tendrían que aumentarse las dosis. Para la dilución de cargas, a veces es posible sustituir el agua fresca por agua clarificada si no hay riesgo de actividad biológica anaerobia.

Al pasar la fibra por una fábrica de pasta o de papel, se requieren distintas consistencias en las diversas etapas del proceso. Cada aumento en la consistencia de la fibra crea un efluente en ese punto cuya cantidad y tipo de contaminación depende de las operaciones anteriores a esa unidad particular.

La cantidad de consumo de agua fresca en la producción de papel varía según la calidad de papel producida, la naturaleza de la materia prima utilizada y el nivel de calidad final dentro de cada calidad de papel. En la Tabla 6.5 se indican los rangos típicos de consumo de agua en la fabricación de una serie de tipos de papel.

Calidad de papel	Descarga de agua [m ³ /t]	Comentarios
Papel tisú	10 ¹ - 50	Para papel tisú a base de FRC: incluye el proceso de FRC
Impresión/escritura, sin estucar	5 ¹ - 40 ²	Puede incluir el agua usada en el proceso de pasta
Impresión/escritura, estucado	5 ¹ - 50	Puede incluir el agua usada en el proceso de pasta
Cartón	0 ¹ - 20	Incluye el agua usada en el proceso de pasta
Papel especial	10 - 300 ³	
Notas: 1 El extremo inferior del rango ha sido cambiado por la EIPPCB (OEIPPC) según los datos de comportamiento actuales 2 El extremo superior del rango ha sido cambiado por la EIPPCB (OEIPPC), ya que la cifra indicada de 90 m ³ /ADt parece ser irrealmente alta 3 El extremo superior del rango ha sido cambiado por la EIPPCB (OEIPPC), ya que la cifra indicada de 400 m ³ /ADt parece ser irrealmente alta		

Tabla 6.5: Descargas de agua en fábricas de papel europeas
[J. Pöyry, 1994 b]. Para fábricas de papel no integradas no hay datos disponibles

Al calcular el consumo específico de agua fresca, el agua fresca utilizada como agua de refrigeración no se tiene en cuenta, siempre que no haya tenido contacto con materias fibrosas y aditivos.

Algunas explicaciones adicionales sobre consumo específico de agua para fábricas de papel tisú

Al considerar el consumo de agua fresca, hay dos factores principales a tener en consideración con respecto a las fabricas de papel tisú. Una es la necesidad de altos niveles de limpieza en el producto en sí (uso higiénico) y en las telas de la máquina de papel tisú. La otra son las velocidades de producción muy bajas debido al bajo gramaje de los productos fabricados (de sólo 12 g/m² en la tela en comparación con 40 - 50 para papel prensa, 50 - 100 papeles de escritura y varios cientos para calidades de embalaje).

Aunque el volumen absoluto de agua consumido en una fábrica de papel tisú puede que no sea significativamente mayor que en otras fábricas, estos dos factores se combinan para hacer que el consumo específico de agua parezca elevado.

En una fábrica de papel tisú hay una serie de áreas en las que se requiere agua fresca; agua de rociadores para mantener las superficies de los fieltros exentas de contaminantes, agua de rociadores de alta presión para limpiar la tela, y otros usos. Estos últimos varían de una máquina a otra según la actividad del fabricante, los circuitos de agua blanca y el volumen de almacenaje y grado de automatización e información disponible sobre el fabricante. El apartado de otros usos incluye aplicaciones como preparación de productos químicos, boquillas de lubricación (dentro de los rodillos de presión, en los bordes de los cilindros Yankee, etc.), bombas de vacío, etc. Algunos de ellos, como la preparación de productos químicos, pueden ser proporcionales a las velocidades de producción.

En una fábrica que aplique las MTDs, todos los demás usos del agua deberían ser adecuados para el uso de agua clarificada en lugar de agua fresca.

Hay algunas máquinas, especialmente las que fabrican calidades de alto gramaje y baja calidad, en las que la limpieza de las telas y del producto es menos importante, que pueden alcanzar cifras más bajas de consumo de agua, de sólo 10 m³/tonelada o incluso menos. Los papeles ligeros de alta calidad que requieren un alto grado de limpieza tienen generalmente un mayor consumo específico de agua.

Cuando hay cambios de calidades, cambios de color, paradas de máquinas, varias máquinas en una fábrica, etc., las cifras de consumo específico de agua serán mayores. Estas influencias son específicas de cada fábrica, pero pueden aumentar el consumo de agua en un 25% o más. Generalmente, en fábricas que fabrican una menor variedad de productos, menos colores, con menos agentes de resistencia en húmedo o en seco, y en máquinas grandes, el consumo de agua será menor y viceversa.

En resumen: incluso en la misma máquina, un cambio del gramaje base y de la velocidad de la máquina de papel puede tener un efecto significativo en el consumo de agua. Las máquinas de papel tisú generalmente producen gamas mucho más amplias de gramajes base y velocidades que la mayoría de las demás máquinas de papel. La misma máquina puede producir un rango de gramaje base que varíe en un factor de 4, por ejemplo desde 12 g/m² hasta 48 g/m², pudiendo funcionar a velocidades desde 500 m/min hasta 1200 m/min. A lo largo de este rango, el consumo específico de agua puede variar significativamente.

Puede afirmarse que no hay diferencias fundamentales en las medidas de reducción del consumo de agua aplicadas en las fábricas de papel tisú y en otras fábricas de papel. Sin embargo, debido a las amplias variaciones posibles en una máquina de papel tisú, la principal diferencia está en el grado en que las fábricas de papel tisú pueden reducir su consumo específico de agua.

6.2.2.3 Uso de aditivos

Introducción

Según el tipo de papel producido, puede usarse un gran número de aditivos químicos en la fabricación del papel. No obstante, para la fabricación de las calidades de papel de gran volumen, como papeles de embalaje, algunos papeles para impresión y escritura, papel prensa y papeles higiénicos, el uso de aditivos químicos se limita a unos 10 o 20 distintos grupos de aditivos. Por otra parte, para la producción de algunos papeles finos, y en particular los papeles especiales, puede usarse un número mucho mayor de aditivos debido a la variedad de propiedades requeridas en los productos. En total se utilizan unos 1300 productos en los que intervienen unas 800

sustancias [Swedish EPA, 1997]. Junto a los efectos positivos buscados de una mayor eficiencia de producción y calidad del producto, algunos aditivos pueden tener consecuencias medioambientales nocivas.

Los materiales fibrosos vírgenes representan un total de un 45,8% del consumo total de materias primas en la industria del papel europea. Las fibras recuperadas representan un 38,8%. Luego hay un 14,9% de materias no fibrosas [estadísticas CEPI 97], de las cuales alrededor de un 11% son cargas y pigmentos, principalmente en forma de caolín y carbonato cálcico. El 3% restante incluye los aditivos químicos. Una gran parte de los mismos es almidón, que se deriva de materias primas renovables. El alumbre tradicional en la fabricación de papel químico, es decir sulfato de aluminio, tiene también una importante contribución al grupo de aditivos químicos. En promedio, alrededor del 1% de las materias primas utilizadas para la producción de papel son aditivos químicos [EUCEPA, 1997]. La cantidad total de aditivos químicos utilizados para la producción de papel supone 8,1 millones de toneladas en todo el mundo. Se utilizan 2,8 millones de toneladas de productos químicos sintéticos (referido a materia seca). Esta cantidad de productos químicos justifica un estudio más detallado para comprender mejor el posible impacto medioambiental que pueden tener. El objetivo general es encontrar el equilibrio correcto entre el consumo de agua y productos químicos, la calidad del papel y la protección del medio ambiente.

Esta gran variedad de agentes químicos contrasta con un número reducido de grupos de aditivos. No hay datos estadísticos disponibles sobre las cantidades de tipos específicos de aditivos en la producción de papel europea. Sin embargo, puede suponerse que las cantidades son similares a las reportadas a escala mundial. Con referencia a la Figura 6.8, alrededor un 50% de los aditivos químicos sintéticos son ligantes de estucado, un 25% agentes de encolado y un 8% agentes de resistencia en húmedo.

La Figura 6.8 muestra que 5 grupos de sustancias representan alrededor del 95% de la cantidad total de aditivos sintéticos utilizados.

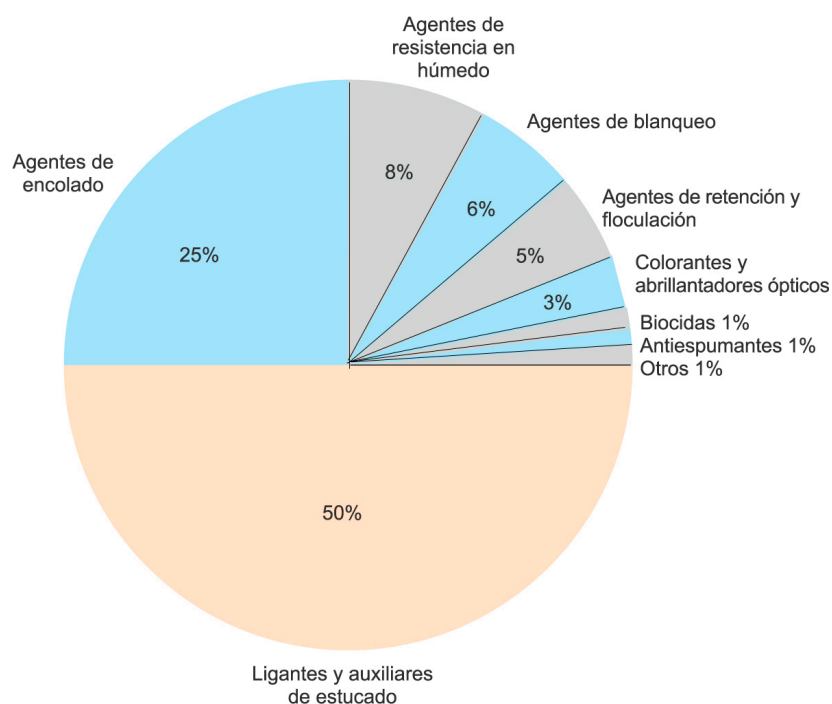


Figura 6.8: Porcentaje de los distintos grupos de aditivos químicos sintéticos en relación con el consumo global [EUCEPA, 1997]. Puede suponerse que las cantidades relativas de aditivos son similares a las utilizadas en Europa. Los agentes de encolado incluyen agentes de resistencia en seco (ej: almidón catiónico) utilizados para encolado en la parte húmeda.

Aspectos generales relativos a los aditivos químicos

Los aditivos químicos son normalmente formulaciones de distintas sustancias químicas y no compuestos uniformes—sólo desarrollan las características deseadas cuando se mezclan. Además, pueden contener subproductos derivados de la fabricación del producto (ej: monómeros, restos de subproductos).

Las hojas de especificaciones de seguridad y características de los aditivos químicos no suelen contener información sobre las cantidades reales de dispersantes, disolventes y agentes auxiliares, sino que a veces sólo indican la categoría de la sustancia activa. Además, las evaluaciones sobre riesgo medioambiental suelen ser difíciles, ya que los nombres de los ingredientes se indican mediante designaciones enigmáticas no químicas, como por ejemplo tensioactivos o emulgentes. Para evitar riesgos al medio ambiente, es importante que todos los usuarios de agentes químicos averigüen qué se entiende por designaciones como "emulgente" o "tensioactivo". Actualmente, los fabricantes, y también los inspectores, desconocen a menudo la composición exacta de los aditivos utilizados, lo que es particularmente cierto respecto a la información sobre el posible impacto ambiental de las formulaciones. La evaluación de riesgos debería incluir preferentemente el proveedor de aditivos químicos y un riesgo aceptado de gestión de riesgos.

Es necesario mejorar la disponibilidad de datos medioambientales sobre los aditivos químicos y el conocimiento de alternativas apropiadas para comprender mejor el destino medioambiental y los efectos durante su uso y tras su descarga.

En algunos Estados miembros (ej: Holanda, Suecia, Alemania) se han realizado amplios proyectos de estudio destinados a identificar y minimizar los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente asociados con el uso de diversos aditivos químicos. Algunos de los proyectos están todavía en marcha. Hay que señalar que los problemas potenciales asociados con el uso de productos químicos en la industria del papel no han quedado "solucionados" definitivamente a través de estos proyectos. Se ha conseguido un conocimiento extensivo de los riesgos de diversos tipos de aditivos químicos, pero queda mucho trabajo por hacer antes de que se puedan conocer los efectos medioambientales de cada producto químico.

Tras su uso, los componentes individuales de los aditivos químicos se distribuyen en distintas proporciones entre el producto de papel, las aguas residuales, los residuos sólidos y el aire de escape, según las características químicas y físicas de los componentes de los aditivos, la materia prima del papel y también las condiciones de la adición química. La Figura 6.9 muestra, a través de un ejemplo (en este caso, biocidas) cuál puede ser el destino de los aditivos en el proceso de fabricación de papel.

El ejemplo muestra que, además de la aplicación de biocidas en el proceso de fabricación de papel en sí (entre 10 - 100 g/t de papel) el aporte de biocidas al sistema junto con otros aditivos químicos en la parte húmeda (ej: almidón, poliacrilamida), cargas (pasta aguada de carbonato cálcico) o fibras usadas (algunos papeles recuperados) debe tenerse en cuenta para la evaluación de los flujos de materia de los biocidas presentados en la Figura 6.9. Debido a la gran variedad del grupo de biocidas y el hecho de que deben hacerse muchas suposiciones para evaluar la posible dispersión de biocidas a las diversas partes del medio ambiente, la investigación ha encontrado rangos relativamente amplios.

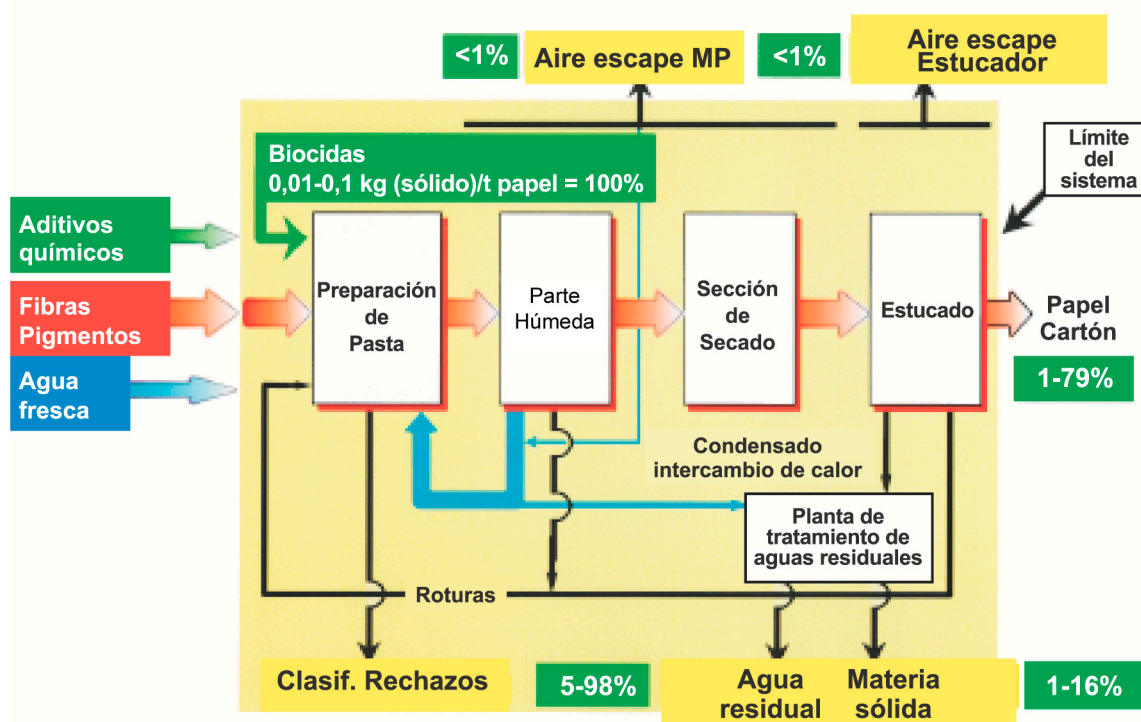


Figura 6.9: Destino de los aditivos químicos en el proceso de fabricación de papel; ejemplo: biocidas [EUCEPA, 1997]

En general, las posibles emisiones de aditivos químicos son rechazos de depuraciones, aguas residuales (después del tratamiento), lodo del tratamiento primario y secundario de aguas residuales, y aire de extracción de la sección de sequería de la máquina de papel y de la máquina de estucado respectivamente. Una cierta cantidad queda normalmente retenida en la hoja de papel.²

La descarga esperada de aditivos al agua está directamente relacionada con la retención de los agentes químicos en el producto de papel (retención en el proceso) y la retención en la planta de tratamiento de aguas residuales.

El factor de retención describe el porcentaje de agentes químicos aplicados que se retiene en el producto de papel y que por lo tanto no pasa al medio ambiente (agua, aire y suelo). Cuanto mayor es la retención, menor es la descarga al efluente y menor el posible efecto ambiental de los aditivos aplicados. En el caso de aditivos, es deseable un grado de retención máximo desde un punto de vista económico (pérdida de aditivos) y ecológico. Dado que los aditivos de producto están diseñados para dar al papel una característica particular, por motivos de costes y eficacia normalmente tienen un nivel relativamente alto de retención en las fibras de celulosa. Los aditivos de proceso se retienen normalmente menos, ya que producen su efecto en los circuitos de agua de las fábricas de papel. Una gran proporción de las mismas se descarga con las aguas residuales. El conocimiento acerca de la retención de los aditivos químicos y auxiliares es por lo tanto importante.

La degradabilidad de una sustancia es el punto crucial a la hora de evaluar la cantidad de sustancias que acabarán en el entorno acuático. Teniendo en cuenta que la mayoría de efluentes de las fábricas de papel se tratan en plantas de tratamiento biológico, el factor de retención junto con

² Esta evaluación sistemática e integrada de los aditivos químicos, de la que el uso y destino de los biocidas es sólo un ejemplo, ha sido elaborada por el Comité Técnico Alemán ZELLCHEMING sobre "Producción de Papel" y, para algunas de las sustancias más comunes, los resultados han sido ya publicados en 1997 [EUCEPA, 1997]. El proyecto está todavía en marcha. No obstante, hay todavía falta de información sobre el grado en que se encuentran las distintas sustancias en el medio receptor.

la biodegradabilidad hacen posible realizar una estimación general de la cantidad de sustancias liberadas al medio receptor.

Por último, si las sustancias no son retenidas en la hoja de papel ni se eliminan en la planta de tratamiento de aguas residuales, los datos sobre toxicidad acuática y potencial de bioacumulación son de especial importancia.

Para información más específica sobre los principales grupos de sustancias o sustancias particulares, se hace referencia a la Sección 5.2.2.3. y en especial a la 5.6. Esta tabla ofrece un resumen de los principales aditivos y ayudas de producto. Para más información, se hace referencia al ANEXO 1 ("agentes químicos y aditivos en la fabricación de papel"). Ahí se discuten uno a uno los principales grupos de aditivos aplicados, divididos en productos químicos funcionales (ayudas de producto) y ayudas químicas (ayudas de proceso) y subdivididos en los grupos más importantes de sustancias en términos de uso y efecto medioambiental.

Cuando se halla disponible, también se facilita información sobre factores de retención, toxicidad y bioacumulación.

6.2.2.4 Demanda de energía

Puede considerarse que la industria del papel tiene un consumo intensivo de energía. La energía es el tercer mayor coste en el proceso de fabricación de papel, representando aproximadamente un 8% del volumen de ventas [DG XVII, 1992]. Esto no concuerda con el hecho de que, por ejemplo, hay menos datos publicados sobre los requisitos específicos de energía a nivel de proceso que sobre la gestión de agua. Por consiguiente, es bastante difícil encontrar información cualificada sobre consumo de energía en relación con las distintas calidades de papel y la calidad del producto, tecnologías energéticamente eficientes y prácticas y usos energéticos dentro de la Industria Papelera Europea.

Los procesos de fabricación de papel pueden dividirse en las siguientes áreas principales: preparación de pasta, parte húmeda, parte seca y estucado (opcional). A su vez, estas áreas pueden subdividirse en unidades de proceso principales. La Tabla 6.6 muestra el papel de la energía en cada proceso y el potencial de ahorro de energía en estas etapas.

Se han dado datos de [SEPA-report 4712-4, 1997] que la demanda total de energía (consumo) en forma de calor (vapor) y energía eléctrica para una fábrica de papel fino no integrada es:

- Calor de proceso: 8 GJ/t (\cong 2222 kWh/t).
- Energía eléctrica: 674 kWh/t.³

Esto significa que se consumen unos 3 MWh de electricidad y vapor por tonelada de producto. Considerando la demanda de energía primaria para convertir los combustibles fósiles en electricidad, se requiere un total de 4 MWh/t de papel.

Las cifras representan una fábrica modernizada, como por ejemplo una fábrica construida en los años 70 y modernizada desde entonces. Los valores incluyen todas las etapas, desde la desintegración de las materias primas hasta el producto final de papel, e incluyen asimismo todos los departamentos de servicio necesarios. El consumo de energía para el proceso de estucado se incluye en el caso de producción de papel estucado (se considera que la fábrica tiene una

³ Esta cifra no tiene todavía en cuenta las pérdidas al convertir la energía de los combustibles fósiles en electricidad. Al convertir la energía contratada en consumo de energía primaria, puede suponerse un rendimiento energético de las compañías eléctricas del 36,75%. En este caso, un consumo de electricidad de 674 kWh/t corresponde a 1852 kWh/t de energía primaria (ej: carbón).

Principales procesos	Principales unidades de proceso	Tipo y función de la energía en cada proceso	Potencial de ahorro de energía
Preparación de pasta	Amasado	Hasta 60 kWh de electricidad para romper la pasta seca	Moderado
	Limpieza / tamizado	La cantidad de energía para bombeo y calentamiento de la pasta depende del número de etapas requeridas y del tipo de fibra (la fibra reciclada requiere más energía que la virgen); se consumen unos 5 kWh/t para pasta virgen.	Bajo para fibras vírgenes
	Refino	Consume mucha energía. Casi siempre se emplea energía eléctrica para el motor del refinador. Depende mucho de las propiedades del papel a conseguir; 100 - 3000 kWh/t	Alto
Parte húmeda	Formación y drenaje	Utiliza grandes cantidades de electricidad para propulsión de las máquinas y vacío. Un diseño eficiente de la caja de entrada y el uso de máquinas de doble tela producen ahorro de energía; unos 70 kWh/t se utilizan para sistemas de vacío (varía con la calidad y la porosidad)	Moderado
Parte seca	Prensa	No consume mucha energía en sí, pero una deshidratación eficaz puede producir grandes ahorros de energía en las sequerías.	Moderado
	Sequería	Aparte del refino, es el proceso de mayor consumo de energía de la fabricación de papel. Principalmente calor.	Muy alto
	Presa de encolado y 2ª sequería	Energía calorífica para el secado después de la prensa de encolado.	Bajo
	Calandrado	Energía eléctrica para los motores de la máquina y prensa.	Bajo
Estucado	Estucado y secadora	Energía eléctrica y calorífica para volver a secar.	Bajo

Tabla 6.6: Papel de la energía en las principales etapas de fabricación de papel y potenciales de mejora [Según DG XVII, 1992; modificado por la EIPPCB].

capacidad de 125.000 t/a de papel fino estucado a partir de pasta comercial. El papel tiene un contenido de pigmentos del 39% y un contenido de humedad del 4,5%).

La Tabla 6.7 muestra con mayor detalle el consumo de energía en forma de calor y energía eléctrica para esta fábrica no integrada de papel fino.

Departamento	Calor de proceso [MJ/t]	Energía eléctrica [kWh/t]
Preparación de pasta	0	202
Máquina de papel	8.000	350
Cocina de estucado	0	118
Total fábrica de papel	8.000	670
Tratamiento de efluentes	0	4
Consumo total por tonelada de papel	8.000	674
Generador de turbina		0
Total suministro externo	8.000	674

Tabla 6.7: Consumo de energía en una fábrica no integrada de papel estucado con un capacidad de producción de 125.000t/a [Informe SEPA 4712-4, 1997]. La cifra de suministro externo muestra la cantidad de la demanda total comprada a fuentes externas como fuel-oil, carbón, gas y electricidad

El consumo de electricidad depende en cierta medida de la calidad de papel producida. Los valores más bajos corresponden a papel de embalaje o papel base ondulado, que consumen unos 500 kWh/t, mientras que el papel para impresión y escritura consume alrededor de 700-800 kWh/t. La mayor demanda de electricidad, de hasta 5600 kWh/ADt, se requiere para algunas calidades de papel especial. La electricidad es consumida principalmente por el refino más intensivo. Más abajo se facilita información más detallada sobre el consumo de electricidad.

El calor de proceso en la industria se utiliza principalmente para cuatro fines:

- Calentamiento de agua y soluciones, madera o pasta, aire y productos químicos a las temperaturas requeridas por el proceso.
- Los sistemas de pasta y agua blanca pueden a menudo mantenerse bastante calientes sin adición de vapor. Es esencial minimizar el consumo de agua fresca y aumentar el uso de agua blanca desde el punto de vista energético. En fabricas de papel no integradas, además de la adición de agua fresca caliente, suele ser necesaria la circulación del agua blanca mediante recuperación de calor para mantener la temperatura a un nivel suficiente en el sistema de agua blanca.
- Evaporación de agua.
- En la fabricación de papel, el secado del papel es la etapa que requiere más energía, y durante la misma se consume la mayor cantidad de calor para evaporar el agua de la hoja de papel. Es importante minimizar la cantidad de agua a evaporar mediante medidas mecánicas (prensado). El desarrollo de la sección de prensa (uso de prensas de doble tela y de nip extendido) ha producido niveles de humedad algo menores del papel que entra en la sequería (esto no se aplica al papel tisú). En el caso del encolado o estucado superficial, el papel secado debe secarse de nuevo tras agregar la cola o estucos superficiales a la hoja de papel continuo. Una mayor concentración y temperatura de estos aditivos químicos produce un menor consumo de calor.
- Compensación de las pérdidas de calor al entorno. La mayor parte de las pérdidas de calor por el aire de escape húmedo de la sección de sequería se compensan mediante la entrada de aire seco que debe calentarse de nuevo. La demanda de calor puede reducirse reduciendo el caudal de aire a través de la sección de sequería. Esto da también una mayor humedad en el aire de salida, lo que aumenta el valor del aire como fuente secundaria de calor. La recuperación de calor a través del intercambio de calor entre el aire húmedo de salida y el aire seco de entrada reduce asimismo el consumo de calor.
- Conversión en energía eléctrica. Un número creciente de fábricas disponen de plantas de cogeneración de calor y electricidad.

En una industria de papel, la energía eléctrica se consume principalmente para el funcionamiento de diversos motores y para el refino en la preparación de la pasta.

Los motores se utilizan para accionar ventiladores, bombas, compresores, agitadores, máquinas de papel, prensas, sistemas de vacío, diversas cintas transportadoras, etc.

En el refino, la energía eléctrica se utiliza principalmente para propulsar el motor del refino. El consumo de energía varía según el producto. Los papeles de filtro y secantes son los que requieren menos energía, mientras que los papeles vegetales son los que requieren un mayor aporte. El consumo de energía típico se muestra en la Tabla 6.8.

Tipo de papel	Energía neta ¹⁾ para refino [kWh/t]	Energía bruta ²⁾ [kWh/t]
Papel tisú	Sin datos	hasta 100
Impresión y escritura	60 - 100	90 - 300
Papeles sin carbón	150 - 200	250 - 500
Glassine /resistente a grasas	450 - 600	600 - 1000
Papeles vegetales	800 - 1200	1600 - 3000
Notas: 1) La energía neta se deriva de la energía bruta menos la energía sin carga ³⁾ o de circulación libre. 2) La energía bruta es la energía total consumida incluidas las pérdidas. 3) La energía sin carga de un motor es la energía absorbida por la fricción mecánica y las fuerzas turbulentas, y por lo tanto no se halla disponible para tratar las fibras.		

Tabla 6.8: Consumo típico de energía de refino según el producto [DG XVII, 1992]

El potencial de ahorro de energía será alto en muchos casos. Por ejemplo, muchos refinós están incorrectamente dimensionados o mal mantenidos, lo que da lugar a un alto consumo de energía sin carga, que reduce la eficiencia del refino. Las cargas incorrectas del refino causarán un mayor consumo de energía para alcanzar una característica dada. Los refinós nuevos con mayor eficiencia pueden también ahorrar energía debido al nivel muy bajo de energía sin carga asociado con este tipo de refino.

A continuación se discute con más detalle el consumo de electricidad en fábricas de papel, con objeto de esclarecer el fundamento técnico que constituye la base para las mejoras y la aplicación de tecnologías energéticamente eficientes.

El consumo de energía eléctrica total en las fábricas papel se resume en la Tabla 6.9. Estas cifras incluyen todo el consumo de energía dentro de la fábrica de papel, comenzando por las torres de almacenaje de pasta (en las fábricas integradas) y finalizando en las operaciones de acabado. Las fábricas de papel no integradas deben tener pulpers que aumentan un poco el consumo específico de energía (hasta 60 kWh/t). No se incluye el tratamiento de aguas residuales. Hay que señalar que la eficiencia de la fábrica modifica las cifras. Cuanto menor es la eficiencia, mayor es la desviación respecto a las cifras, que hacen referencia a una eficiencia del 100%. La corrección de las cifras según el índice de eficiencia alcanzado tiene gran importancia en máquinas antiguas o máquinas con múltiples calidades en las que se realizan muchos cambios de calidades.

Calidad de papel	Consumo de electricidad [kWh/t]
Papel prensa	500 - 650
Papel LWC	550 - 800
Papel SC	550 - 700
Papel fino (sin estucar)	500 - 650
Papel fino (estucado)	650 - 900
Cartón multicapa	≈ 680
Papel para sacos	≈ 850
Linerboard	≈ 550
Papel tisú	500 - 3000 *
Notas: * El rango de los datos hace referencia a ejemplos reales, es decir sin suponer un 100% de eficiencia, permitiendo, por otra parte, una reducción de los requisitos de materias primas. Los distintos sistemas de secado utilizados en las fábricas de papel tisú, como el sistema convencional Yankee, el secado a través de aire (TAD), o procesos como el recrepado, tienen un efecto mucho mayor sobre el consumo energético que otros factores en la fábrica [según el ETS].	

Tabla 6.9: Consumo de energía típico en fábricas de papel modernas, basado en la capacidad dimensional de la máquina de papel [datos de un proveedor]. Se incluye toda la energía eléctrica dentro de la nave de la máquina de papel, que puede calcularse a partir del consumo total de electricidad dividido por la producción dimensional de la máquina

Las cifras totales de consumo de electricidad de las fábricas de papel se componen de una serie de subsistemas que consumen energía y que se explican a continuación. La suma de los subsistemas de la Tabla 6.10 y la Tabla 6.15 [todos los datos de un proveedor de equipos para fábricas de papel] se correlaciona con las cifras de consumo total de energía de la Tabla 6.9:

Tipo de máquina	Consumo	Comentarios
Máquinas rápidas (> 1300 m/min.)	80 - 120 kWh/t	La bomba de alimentación de la caja de entrada aumenta su consumo al aumentar la velocidad de la máquina de papel
Máquinas lentas	60 - 100 kWh/t	Las máquinas lentas pueden no tener desaireación.

Tabla 6.10: Consumo específico típico de energía en el circuito de cabeza de máquina en fábricas de papel

Tipo de máquina	Consumo	Comentarios
Máquinas rápidas (> 1300 m/min.)	70 - 110 kWh/t	Las máquinas rápidas tienen una mayor producción; por consiguiente, el consumo específico de energía es menor.
Máquinas lentas	80 - 120 kWh/t	

Tabla 6.11: Consumo específico típico de energía en el sistema de vacío de la parte húmeda de la máquina de papel en fábricas de papel

Posición	Consumo máquinas nuevas	Consumo máquinas antiguas	Comentarios
Foso bajo prensa húmeda	3 - 5 kWh/t	3 - 7 kWh/t	Las máquinas de papel más antiguas (anteriores a los 90) solían tener cubas de cemento, o la forma del tanque no estaba optimizada para el amasado; el desarrollo técnico produjo una disminución de las desventajas energéticas.
Pulper prensa	5 - 8 kWh/t	7 - 12 kWh/t	
Pulper parte seca	7 - 12 kWh/t	10 - 20 kWh/t	
Nota: Pulpers y tanques bajo la máquina de papel donde se amasa la hoja de papel con agua. Este pulper funciona sólo en caso de rotura de la hoja continua.			

Tabla 6.12: Consumo específico típico de energía en los pulpers bajo la máquina de papel

Calidad de pasta	Consumo	Comentarios
Pasta destintada	30 - 70 kWh/t	La fabricación de pasta no se incluye en estas cifras; el extremo superior del rango hace referencia a niveles de escurrimiento CSF más bajos. La energía real consumida por tonelada de producto final depende de la cantidad de pasta refinada utilizada por tonelada de producto final (si por ejemplo sólo se requiere un 30% de pasta refinada, hay que multiplicar los valores por 0,3).
Fibra larga (blanqueada)	100 - 200 kWh/t	
Fibra corta (blanqueada)	50 - 100 kWh/t	
Fibra larga (sin blanquear)	150 - 300 kWh/t	
Fibra corta (sin blanquear)	100 - 150 kWh/t	

Tabla 6.13: Consumo específico típico de energía para máquinas nuevas en los refinós, por tonelada de pasta refinada

Tipo de proceso	Consumo	Comentarios
Sistema de agua blanca	20 - 30 kWh/t	Torres de almacenaje de agua, recuperadores, recipientes, bombas
Sistema de rotos	40 - 60 kWh/t	Torre y tamices de balas, tanques y bombas
Mezcla	10 - 15 kWh/t	Recipiente de mezcla, de la máquina, bombas y agitadores
Pulpaje de balas (sólo para fábricas no integradas)	25 - 40 kWh/t	Pulpers y transportadores de balas, tanques y bombas
Dosificación de pasta (integr.)	5 - 10 kWh/t	Línea de pasta del almacenaje al recipiente de mezcla; tanques y bombas.
Duchas máquina de papel	5 - 10 kWh/t	Sistema de agua de duchas con bombas, filtros, tamices
Total electricidad	70 - 120 kWh/t	por tonelada de producto

Tabla 6.14: Consumo específico típico de energía en los sistemas de preparación de pasta y de agua blanca, por tonelada de papel (excluyendo refino, pulpers y circuito de cabeza de máquina)

Tipo de proceso	Consumo	Comentarios
Máquina de papel	80 - 140 kWh/t	Motores de la máquina de papel, formadora, prensa, sequería, recortadora, bobina
Ventilación, PM	40 -60 kWh/t	Suministro y extracción de aire de la campana, aire a componentes funcionales, ventilación lado húmedo, ventilación sala máquina, ventiladores y bombas
Ventilación (acabado)	50 - 80 kWh/t	Todo el equipo después de la bobina (ej: estucado, calandrado, zona de bobinado, etc.)
Vapor y condensador	5 - 10 kWh/t	Bombas de condensado y vacío
Lubricación y bombas hidráulicas	15 - 40 kWh/t	Unidades de lubricación y bombas hidráulicas
Estucadoras	15 - 25 kWh/t	
Calandras	100 - 120 kWh/t	
Bobinadora	5 - 10 kWh/t	
Acabado	10 - 15 kWh/t	
Aditivos químicos	5 - 50 kWh/t	Mezcladoras de aditivos químicos, bombas de alimentación, tamices

Tabla 6.15: Consumo específico típico de energía de los motores de la máquina de papel

Casi toda la electricidad que se consume se convierte en energía en forma de trabajo mecánico, y por último se convierte en calor. Este calor puede ser útil en muchos casos, dado que el calor contribuye a mantener los sistemas a los niveles de temperatura requeridos.

El consumo de energía eléctrica en muchos sistemas de la fábrica es bastante constante y bastante independiente de los niveles de producción, especialmente en fábricas en las que no se hace un amplio uso de reguladores. Puede conseguirse un consumo específico de energía bajo manteniendo un nivel de producción alto y uniforme. Entre otros, un mínimo funcionamiento en vacío de las máquinas implica una minimización del consumo eléctrico.

6.2.2.5 Emisiones a las aguas residuales

Hay distintas fuentes de descargas a las aguas residuales de las fábricas de papel (ver Figura 6.3):

Rechazos de la limpieza de pasta: la pasta se limpia antes de la máquina de papel para eliminar impurezas. Los rechazos de los depuradores contienen las impurezas (ej: grumos y arena), así como algunas fibras valiosas, suspendidas en el agua. Estos rechazos son descargados normalmente al tratamiento de efluentes, pero también pueden ser descargados directamente a la deshidratación de lodo.

Exceso de agua blanca: el agua de proceso, junto con los aditivos químicos aplicados, se desagua en la sección de tela de la máquina de papel, en su mayor parte, y luego se acaba de eliminar del papel en la sección de prensa de la sequería. El agua blanca también contiene el agua expulsada por los rociadores para la limpieza de las telas y fieltros. El exceso de agua blanca – una cierta cantidad de agua fresca se agrega continuamente a la máquina de papel, y desplaza agua blanca – se descarga al efluente o se utiliza en la preparación de pasta en fábricas integradas. Esta agua pasa normalmente a través de una unidad de recuperación de fibra antes de ser evacuada.

La cantidad de agua blanca descargada depende del grado de cierre de los circuitos de agua. Contiene la mayor parte de las descargas continuas de sólidos en suspensión y sustancias orgánicas disueltas expresadas normalmente como DQO y DBO.

Descargas temporales y accidentales: estas descargas no están directamente relacionadas con el proceso y ocurren intermitentemente. Ejemplos de las mismas son los rebosamientos de agua blanca o incluso de pasta de los depósitos u otros equipos con un mal control de nivel, agua de lavado usada en la limpieza del equipo y agua de enjuague del lavado de suelos, etc.

Las emisiones al agua o al suelo del almacenaje y manipulación de aditivos químicos potencialmente peligrosos deben prevenirse mediante un apropiado diseño y funcionamiento de las instalaciones, de modo que los posibles contaminantes no puedan escapar (ver Sección 2.2.2.8).

Aguas de refrigeración y sellado: las aguas de refrigeración usadas y las aguas de sellado del sistema de vacío y bombas, no suelen contener sólidos en suspensión. Estas aguas se suelen reciclar en cierto grado. Las aguas de refrigeración limpias deben ser separadas de los otros efluentes con el fin de minimizar la carga sobre las plantas de tratamiento y mantener su eficacia.

Los parámetros de calidad más comúnmente usados para las descargas de efluentes finales de las fábricas de papel incluyen Sólidos en Suspensión (SS); DBO_(5 o 7); DQO; N Total y P Total; AOX; y, a veces, determinados metales. Más recientemente, la toxicidad total de una muestra se ha empleado en determinadas fábricas (ej: en Alemania) o como parámetro en una orden sobre aguas residuales de fábricas de papel (ej: Austria), debido a la complejidad de los efluentes, que contienen una amplia gama de sustancias.

Los datos de la Tabla 6.16 siguiente representan los rangos típicos de los parámetros claves de las aguas residuales en vertidos de fábricas de papel francesas que fabrican distintas calidades. Estos datos deben ser esencialmente válidos para fábricas dentro de la UE. No obstante, la tabla sólo puede dar una indicación acerca de las emisiones típicas, ya que no se han presentado otras especificaciones o suposiciones, y hay variaciones dentro de cada categoría.

Los datos de vertidos de fábricas de papel europeas publicados en otros lugares eran menos cualificados, ya que era incluso más difícil entender qué representar. Los datos cualificados sobre emisiones comunes al agua son todavía raros en Europa, es decir, datos que incluyan especificaciones para las distintas calidades de papel y también información respecto a si se incluye o no la fabricación de pasta, y en qué medida.

Los rangos reflejan las diferencias en el cierre de los sistemas, condiciones de las fábricas (tamaño, antigüedad del equipo), medidas internas aplicadas para optimizar el consumo de agua y distintas eficacias y control de proceso de las plantas de tratamiento externo de aguas residuales. En fábricas integradas (ej: fábricas de proceso de fibras recicladas), el agua blanca de la máquina de papel está integrada con el agua de proceso de la preparación de pasta. Por consiguiente, a veces es imposible distinguir las emisiones de la preparación de pasta y de la máquina de papel en fábricas de proceso de fibras recuperadas (ver Capítulos 2 a 5).

Tipo de papel	SST [kg/t]		DQO [kg/t]		DBO ₅ [kg/t]	
	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Impresión y escritura sin pasta mecánica	12 -25	0,3 - 2	7 -15	1.5 - 4	4 -8	0,4 – 0,8
Cartulina	2 - 8	0,3 - 1	5 -15	1.2 - 3	3 -7	0,3 – 0,6
Papel tisú	2- 30	0,3 – 3 ²⁾	8 -15	1.2 - 6 ²⁾	5 - 7	0,3 - 2 ²⁾
Papel especial ¹⁾	20 - 100	0,1 - 6 ¹⁾	no hay datos	1.5 -8 ¹⁾	no hay datos	0,3 - 6 ¹⁾
Notas:						
1) La cifra de papel especial se deriva de [SEPA-Report 4713-2, 1997] y representa los niveles comunes de emisiones al agua de estas fábricas en la UE. En este informe, después del tratamiento significa después del tratamiento primario solamente						
2) El extremo superior del rango de emisiones para fábricas de papel tisú se deriva de información de la Asociación Papelera Alemana.						

Tabla 6.16: Descargas típicas a las aguas residuales de fabricas antes de cualquier tratamiento y después del tratamiento biológico de aguas residuales [ADEME, 1996]. Para papeles especiales, después del tratamiento significa después del tratamiento primario solamente. Parece que los valores representan medias anuales (aunque no se indica).

La descarga de materia orgánica se origina principalmente en:

- Materia orgánica arrastrada o incluida en la pasta. Esta cantidad es normalmente más importante en el caso de una fábrica integrada.
- Materia orgánica disuelta de la pasta en las etapas de refinado anteriores a la máquina de papel. Esta cantidad de materia orgánica liberada generada en la fábrica de papel es generalmente mayor en pastas mecánicas que en pastas químicas. Esta cantidad – que suele designarse como "generada en la fábrica de papel"–corresponde a unos 2-10 kg DQO/t de papel. Esta materia orgánica es principalmente la descarga dominante de DQO (y DBO) de las fábricas de papel no integradas.
- Los compuestos orgánicos aplicados como aditivos o auxiliares en la fabricación del papel que no son retenidos en la hoja de papel continuo. Normalmente, el almidón y sus productos de degradación contribuyen significativamente a la carga orgánica. No obstante, estas sustancias son fácilmente biodegradables. La importancia de la contribución de los aditivos químicos a la carga orgánica de la fábrica de papel depende de la cantidad y tipo de compuestos químicos usados. Al menos para algunas calidades de papel, el porcentaje de aditivos en la carga orgánica total descargada al medio receptor es significativa, ya que actualmente las emisiones al agua de las fábricas de papel son generalmente menores después de un tratamiento biológico eficaz. Generalmente, hay falta de conocimiento acerca de la contribución de los aditivos químicos a la carga total de las aguas residuales. En una investigación de algunas fábricas en Alemania se ha evaluado el porcentaje de aditivos de la carga total de DQO después del tratamiento biológico. En los ejemplos de fábricas investigadas es de un 26% para papel de impresión y escritura estucado, un 20% para papel prensa a partir de fibra recuperada, un 43% para toallas de mano a partir de fibras recuperadas, y un 35% para cartón estucado a partir de fibras recuperadas [IFP, 1997]. No obstante, estos resultados pueden contener grandes incertidumbres (ej: número reducido de fábricas investigadas; factores de retención obtenidos en ensayos de laboratorio). Por consiguiente, los valores dan sólo una indicación acerca de la posible cantidad de aditivos químicos que puede emitirse a través de las aguas residuales. No deben generalizarse.

Las emisiones de AOX de las fábricas de papel han disminuido con los años, ya que el blanqueo con cloro está prácticamente en desuso en la actualidad, y en general los órdenes de magnitud son inferiores a los de las fábricas de pasta ECF. Hoy en día, por tanto, las fuentes de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles son principalmente algunos aditivos (ej: agentes de resistencia en húmedo e impurezas como por ejemplo la epiclorhidrina) y en menor medida el agua de proceso tratada con desinfectantes que contienen cloro (si se aplica).

Los compuestos de nitrógeno y fósforo tienen su origen principal en la adición necesaria de dichos nutrientes para un funcionamiento eficaz de la planta de tratamiento biológico. Algunos aditivos químicos pueden también contener compuestos orgánicos nitrogenados. Por ejemplo, los blanqueantes ópticos pueden contener hasta un 30% de nitrógeno orgánico (urea).

6.2.2.6 Generación de residuos sólidos

En las fábricas de papel se generan diversos tipos de residuos, de las distintas fuentes siguientes:

Rechazos de la preparación de pasta: los rechazos se generan limpiando el suministro de pasta antes de la caja de entrada de la máquina de papel. Los rechazos contienen diversas impurezas como grumos, arena, etc. y también algunas fibras. El contenido de materia seca es normalmente de un 1 – 25%. Estos rechazos se llevan normalmente al tratamiento de efluentes, pero también pueden enviarse directamente a la deshidratación de lodo. La mayoría de los sólidos acaban en el lodo primario de la clarificación primaria. Es por ello, que muchas veces los rechazos no se cuentan por separado en los datos de residuos.

Lodo del tratamiento de aguas: el lodo del tratamiento del agua bruta y de aguas residuales presenta en muchas fábricas de papel uno de los principales grupos de residuos potenciales. Cabe distinguir distintos tipos de lodo:

- Lodo del pretratamiento químico del agua superficial para generar agua de proceso mediante precipitación / floculación química. Sólo se genera en fábricas que utilizan agua superficial que requiere este tratamiento especial. En tales casos, la cantidad de lodo puede ser significativa.
- Lodo de la clarificación primaria. Se genera en la mayoría de fábricas. Consiste principalmente en fibra y finos, y de materia inorgánica en las fábricas que utilizan cargas.
- Exceso de lodo del tratamiento biológico. Contienen una alta proporción de materia orgánica. La generación de lodo en el tratamiento anaerobio es moderada (alrededor de 1/7 del producido en el tratamiento aerobio).
- El lodo de la floculación química se genera en fábricas que realizan tratamiento terciario de efluentes. Este tratamiento produce una cantidad considerable de lodo. La cantidad de materia orgánica / inorgánica varía de una fábrica a otra según la dosificación y el tipo de floculantes empleados. Muchas fábricas, que fabrican papeles estucados, utilizan un tratamiento separado de las aguas residuales de las operaciones de estucado. Para estos efluentes concentrados, la floculación es una práctica común que produce lodo que debe ser deshidratado y tratado ulteriormente.

La Tabla 6.17 da algunos ejemplos de las cantidades y tipos de rechazos, lodo y otras fracciones de residuos generadas por tonelada de papel. Las cantidades de residuos sólidos generados en las fábricas de papel dependen del tipo de papel fabricado, las materias primas usadas y las técnicas aplicadas. Es difícil encontrar cifras representativas de la cantidad típica de residuos sólidos para distintos tipos de fábricas de papel que estén suficientemente contrastadas, y que diferencien entre distintas materias primas y calidades de papel. En distintos países se reportan distintas fracciones de residuos. Las principales opciones de valorización y las principales rutas de desecho se describen a continuación.

	Papel y cartón sin pasta mecánica	Papel tisú a partir de pasta química comercial	Papeles especiales
Producción anual (1994)	904.509	24.540	965.962
Número de fábricas	6	1	20
Residuos sólidos, total	29.761	211	161.945
Corteza	0	0	407
Rechazos de depuración / limpieza	0	0	639
Lodos, total	27.972	50	76.506
- Lodo físico-químico	8.852	0	46.259
- Lodo biológico	120	0	159
- Lodo mezclado del tratamiento de aguas residuales	19.000	50	30.088
Residuos de incineración, total	1	0	26.842
- cenizas / escorias	1	0	26.671
- residuos de la eliminación de emisiones a la atmósfera	0	0	171
Otros, total	1.788	161	57.551
- residuos de papel	1.709	90	46.817
- otros	79	71	10.734
Residuos específicos [kg residuos/t producto]	33	9	168

Tabla 6.17: Cantidades de residuos sólidos en [t/a] para algunas calidades de papel. (Las cifras hacen referencia a residuos húmedos con un contenido de materia seca necesario para la reutilización, y muestran el residuo total independientemente de si se utiliza o no) [Solid Waste Handbook, 1996]

Los lodos biológicos y químicos tienen malas características de deshidratación. El lodo se espesa normalmente antes de ser deshidratado en una prensa de cinta, prensa de tornillo o filtro de vacío. Normalmente, se mezclan con lodo primario (o corteza, si la hay disponible) antes de su deshidratación.

Se utilizan compuestos químicos inorgánicos u orgánicos para mejorar la deshidratación del lodo formando flóculos más grandes. El lodo mezclado puede deshidratarse a una sequedad del 25-35% con filtros de bandas, del 35-40% con filtros prensa, y del 40-60% con una prensa de tornillo que utilice vapor en la etapa de pretratamiento. El grado alcanzable de eliminación de agua depende en cierta medida de la cantidad de lodo biológico mezclado con lodo primario, así como del contenido de ceniza y de fibra. En algunas fábricas de papel, el lodo también se seca después de la deshidratación.

En muchos Estados miembros el desecho de residuos con alto contenido orgánico es desaconsejado por los gobiernos y se prohibirá en un futuro próximo. La Directiva de la UE sobre el desecho en vertedero de residuos reforzará esta tendencia a fijar objetivos para reducir la cantidad de basura (municipal) biodegradable enviada a los vertederos. Por consiguiente es necesario desarrollar rutas de desecho alternativas y opciones de pretratamiento para cantidades grandes de lodo (ver Sección 6.3.14). Muchas sustancias orgánicas se queman para recuperación de energía. La combustión reduce el volumen de residuos, y el contenido inorgánico queda en forma de ceniza, que normalmente se transporta al vertedero. La ceniza se utiliza asimismo como materia prima para la industria del cemento.

Además de los rechazos y lodos relacionados con la producción, la ceniza y el polvo de las calderas de producción de energía forman un grupo de residuos que se genera en algunas fábricas (según los combustibles utilizados y la técnica de eliminación empleada para las emisiones a la atmósfera).

Otras fracciones de residuos: además, hay otros tipos de residuos generados en pequeñas cantidades, pero que también pueden crear problemas para su desecho. Cabe distinguir los siguientes tipos, aunque es difícil cuantificar su cantidad específica por tonelada de producto:

- Chatarra férrea y de otros metales.
- Plásticos.
- Productos químicos, incluidos residuos de estucado.
- Vertidos de aceite.
- Vidrio.
- Envases y embalajes (ej: recipientes de productos químicos, palets, etc.).
- Residuos de construcción, como madera, cemento, ladrillos, etc.
- Residuos de laboratorios.
- Basura doméstica.
- Residuos de papel que no puedan utilizarse en la fábrica .
- Telas y fieltros

La mayor parte de este material puede utilizarse cuando las fracciones individuales de residuos pueden recogerse y almacenarse separadamente.

6.2.2.7 Emisiones a la atmósfera

Emisiones a la atmósfera de la generación de energía: las emisiones a la atmósfera de las fábricas de papel y cartón están relacionadas principalmente con la generación de energía, es decir, con diversos tipos de plantas de energía, y no con el proceso de fabricación de papel en sí. Dado que los niveles de emisiones atmosféricas de las fábricas de papel están directamente relacionadas con el consumo de energía, el ahorro de energía produce un ahorro en las emisiones a la atmósfera.

Por ejemplo, la cogeneración de calor y electricidad (CHP) consume menos energía que la generación convencional separada de electricidad y calor, ya que la eficacia de conversión del combustible de las plantas de CHP es considerablemente mayor. Por lo que respecta a la cantidad de energía primaria total consumida y las emisiones asociadas, es muy significativo si la fábrica utiliza electricidad contratada de la red pública o electricidad generada in situ en una planta de CHP.

Además, los niveles de emisiones dependen del tipo de combustibles utilizados (carbón, fuel-oil, gas) y de la aplicación de tecnologías de control de emisiones para la reducción de SO₂ y NO_x, partículas y sustancias orgánicas gaseosas no incineradas. Las técnicas de eliminación para las emisiones a la atmósfera son generalmente aplicables a procesos de combustión de combustibles fósiles para la generación de electricidad y vapor. Dado que las tecnologías de control de emisiones a la atmósfera no están específicamente relacionadas con la industria del papel sino con la industria en general, este tema no se abordará con detalle en este BREF. Sólo se discuten algunas posibilidades generalmente reconocidas de mejora del comportamiento medioambiental del suministro de energía en las fábricas de papel, como técnicas a tener en consideración en la determinación de las MTDs (ver Sección 6.3.15 y 6.3.16).

Emisiones a la atmósfera de la fábrica de papel: las emisiones a la atmósfera, que no están relacionadas con la generación de energía, son principalmente compuestos orgánicos volátiles (COVs). Esta emisión es normalmente de poca importancia y está dentro de límites generalmente aceptables (es decir, debajo de los valores límite nacionales para dichas sustancias).

Las situaciones en las que las emisiones de compuestos orgánicos volátiles deban ser controladas están relacionadas con una serie de fábricas de papel de distintos tipos. En el aire de escape de las fábricas de papel que utilizan aditivos orgánicos volátiles en el proceso de producción, estas sustancias se registran en bajas concentraciones. La mayoría de componentes volátiles de las pastas vírgenes se han perdido en la atmósfera cuando la pasta llega a la máquina de papel. No obstante, en la sequería de la máquina de papel o tras el estucado, la hoja de papel continuo se calienta hasta 100°C para evaporar el agua residual. Aparte del vapor de agua, también se liberan componentes volátiles del material fibroso y de los aditivos químicos. Normalmente, en las fábricas de papel no se aplican técnicas de eliminación especiales para estas emisiones, ya que las cargas emitidas son más bien pequeñas.

La Tabla 6.18 resume los resultados de una investigación reciente del aire de escape en siete fábricas de papel en Alemania.

Instalaciones investigadas	Flujo de materia total como Corg, total	Concentración de materia como mg Corg/Nm ³	Comentarios
MP, papel sin pasta mecánica, sin encolar	0,7 kg/h	2 - 17 mg/Nm ³	98% de la sequería
MP+ME papel sin pasta mecánica, estucado	Sin datos	10 - 30 mg/Nm ³	Fluctuaciones; quizás causadas en parte por metano residual
MP+ME, papel con pasta mecánica, estucado	Sin datos	48 mg/Nm ³ pre-sequería 24 mg/Nm ³ post-sequería	90% pre-sequería; 10% post-sequería;
ME, papel sin pasta mecánica, estucado doble	4,9 kg/h	30 - 67 mg/Nm ³	Emisiones parcialmente causadas por metano residual
MP, sin pasta mecánica, prensa encolado	1,6 kg/h	2 - 77 mg/Nm ³	Emisiones principales (56%) de la aspiración de la sección de la tela y de prensa
MP, papel y cartón de FRC	0,8 kg/h	6 - 26 mg/Nm ³	70% pre-sequería
MP, papel a base de FRC	2,4 kg/h	3 - 8 mg/Nm ³	
Notas: MP = Máquina de papel; ME = Máquina de estucado fuera de línea; MP + ME = Máquina de papel con máquina de estucado en línea			

Tabla 6.18: Sustancias orgánicas medidas en el aire de escape de las fábricas de papel antes del intercambiador de calor [PTS-FB 09/97]

Puede concluirse que las concentraciones de sustancias orgánicas en el aire de escape de las fábricas de papel pueden considerarse normalmente tan baja que no se requiere técnica de eliminación para las emisiones a la atmósfera. La concentración medida de carbono orgánico total varía significativamente. Se han medido valores entre 2 y 135 mg/Nm³. Se determinó una carga específica de 0,05 – 0,5 kg C_{org, total}/t de papel en el escape de siete fábricas investigadas [PTS-FB 09/97]. La emisión de determinadas sustancias a controlar en el aire de escape de las máquinas de estucado, como por ejemplo acrilonitrilo (sólo se produce cuando se utilizan sistemas ligantes de acrilonitrilo-butadieno) puede evitarse o reducirse mediante una elección cuidadosa de las recetas de color de estucado. Las recetas de color de estucado que contengan compuestos carcinógenos deben ser evitadas. El formaldehído – se han medido concentraciones de 0,1 – 4,8 mg/Nm³ – es normalmente más difícil de evitar, ya que tiene diversas fuentes, como agentes de resistencia en húmedo, conservantes, biocidas, etc.

A continuación se dan ejemplos de operaciones en las que se emiten concentraciones elevadas de COVs:

- Estucado de papel con colores que contengan disolventes orgánicos. Aunque la base de los colores de estucado es exclusivamente acuosa, pueden medirse concentraciones bajas de diversas sustancias volátiles (como por ejemplo formaldehído, compuestos aromáticos alquílicos, alcoholes bajos) en el aire de escape de todas las máquinas de estucado.
- Preparación de papeles con resinas y producción de papeles especiales con aditivos volátiles.

A continuación se dan ejemplos de compuestos orgánicos volátiles (COVs) que se emiten a la atmósfera:

- Alcoholes.
- Formaldehído contenido en resinas de urea o melamina formaldehído (UF/MF) utilizadas como agentes de resistencia en húmedo.
- Acetona y otras cetonas.
- Fenoles (sólo en casos especiales).
- Disolventes usados para limpiar las telas de la máquina (normalmente es una aplicación menor).
- Ácidos orgánicos y monómeros residuales de polímeros.

En unos pocos casos especiales, las partículas de algunas operaciones de acabado pueden ser motivo de preocupación.

También pueden producirse emisiones de la incineración de lodos y residuos (opcional). No obstante, la incineración in situ de lodos u otros residuos sólo se realiza en fábricas integradas (ver Capítulo 2 – 5). En las fábricas integradas, el lodo puede incinerarse junto con corteza en calderas de corteza o, en fábricas a base de papel recuperado, en incineradores especiales junto con otros rechazos.

Olores de vapores y de plantas de tratamientos de aguas residuales (locales): en las fábricas de papel puede producirse olores. Pueden ser causados por tiempos de retención demasiado largos del agua de proceso en el sistema de agua (tuberías, recipientes, etc.) o por depósitos de lodo que causen la acumulación de ácidos orgánicos volátiles (ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente ácidos acético y propiónico). Estos compuestos pueden formarse por la acción microbiana sobre sustancias orgánicas (especialmente almidones) en condiciones anaerobias, y puede emitirse en la parte húmeda, durante el secado del papel y durante el tratamiento de efluentes. En pequeña medida, también puede generarse sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias. En tal caso, pueden evitarse mediante medidas técnicas de proceso adecuadas. La planta de tratamiento de aguas residuales puede también emitir cantidades significativas de olores.

Si la planta de tratamiento de aguas residuales está bien diseñada y controlada, los olores molestos pueden evitarse.

6.2.2.8 Ruido de las máquinas de papel (local)

El ruido de las máquinas de papel tiene sólo un impacto local, aunque para el entorno laboral y el vecindario puede ser el más grave de los impactos medioambientales causados por una fábrica de papel. Las máquinas de papel son consideradas instalaciones ruidosas. La Tabla 6.19 detalla las principales fuentes de ruido de las máquinas de papel y cartón, así como de las secciones de tela, prensa, sequería, estucado, bobinado y ventilación.

Sección de tela	Sección de prensa	Sequería	Máquina de estucado	Bobinadora	Ventilación
Rodillos de aspiración	Engranajes integrados	Sistema de vapor y condensado	Secadores de aire	Sistema de control de polvo	Ventiladores de proceso
Sistema de vacío	Rodillos de aspiración	Recinto del sótano	Secadores de IR (aire de refrigeración)	Transmisiones	Ventiladores de la sala de la máquina
Rociadores	Sistemas hidráulicos	Ventilación de proceso	Ruido estructural del bastidor de la máquina	Manipulación de recortes	Secadores de aire
Sistema motor	Rociadores	Motores eléctricos	Hojas de estucado	Hoja de papel continuo	Toberas
Ventilación	Cajas de vapor	Engranajes	Transmisiones	Transmisiones	Motores de los ventiladores
Motores eléctricos	Ruido estructural del bastidor de la máquina (engranajes y rodillos-guía)	Transportador de roturas	Hoja de papel continuo	Sistema hidráulico	Abertura de admisión de aire
Limpiadoras centrífugas	Transmisiones	Hoja de papel continuo	Sala de ventiladores de los secadores de aire	Cuchillas	
Bombas de alta presión	Sistema de vacío	Pulper del lado seco		Prensos (Nips)	
Pulper del lado húmedo	Pulper de prensa			Pulper de la bobinadora	

Tabla 6.19: Principales fuentes de ruido de las máquinas de pasta y papel

Además de la máquina de papel, hay otras fuentes de ruido que pueden contribuir al nivel de ruido. Ejemplos son los refinós y las bombas de vacío; los rangos de niveles de ruido para una fábrica de cartulina se muestran en la Figura 6.10. Los valores absolutos de este ejemplo no se consideran representativos para el sector, sino más bien bajos, ya que la máquina de cartulina funciona a baja velocidad (600-800 m/min) y se han aplicado muchas medidas para reducir el nivel de ruido. En

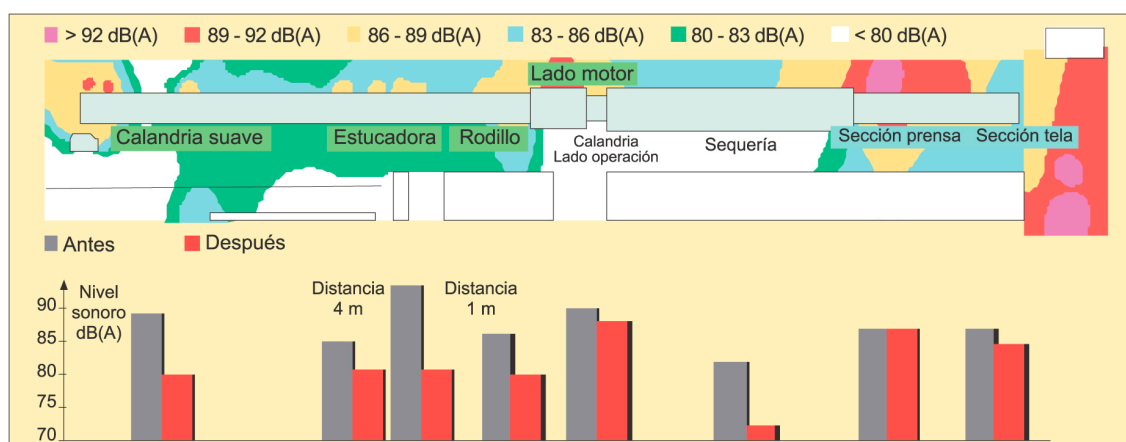


Figura 6.10: Niveles de ruido de la sala de la máquina antes y después de la remodelación en distintas secciones de una fábrica de cartulina. Zonas de ruido a nivel del suelo de la máquina. Máquina de cartulina y naves operativas adyacentes [Paper News].

la parte húmeda de una máquina de papel rápida (ej: 1700 m/min.), el nivel de ruido es de 95 - 105 dB(A).

Puede observarse que, en lo que respecta a niveles de ruido interno, hay diferencia entre el lado de transmisión y el lado del conductor de la máquina.

La figura muestra que es posible reducir el nivel de ruido paso a paso, mediante una serie de medidas en la fuente principal de ruido. Una posible medida para el control del ruido interno es, por ejemplo, la instalación de nuevas campanas cerradas con un mayor aislamiento sonoro. Como ejemplo, en la Figura 6.10 se presentan los resultados para una máquina de cartulina. En ella, el nivel sonoro en el suelo de la parte central de las campanas de la sequería es de 82 dB(A), y en la sección de prensa de 85-88 dB(A).

Para el control externo del ruido, son ejemplos de medidas la instalación de silenciadores de absorción y/o resonadores de tubo para reducir los niveles de ruido de los ventiladores de extracción de aire y bombas de vacío, o silenciadores y campanas de aislamiento acústico para los ventiladores en el techo de la nave, etc. (ver Sección 6.3.19). Las medidas aplicadas dependerán en gran medida del problema específico de ruido de la fábrica y de los objetivos fijados. Normalmente, serán mucho más estrictos cuando la fábrica sea adyacente a una zona residencial.

En cierta medida, los proveedores de maquinaria han dado respuesta a este problema de ruido y ventilación, desarrollando equipos más silenciosos y silenciadores eficaces. Las actividades se centran en las medidas necesarias para atenuar el ruido en origen. Estas medidas tienen por misión la prevención del ruido desde el diseño de la máquina, así como la atenuación del ruido para el equipo existente. Los niveles de ruido a alcanzar dependerán del país donde se encuentre situada la fábrica, así como del objetivo de crear un mejor entorno laboral para los operarios que fabrican el papel.

6.3 Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

En este apartado se incluyen todas las técnicas **relevantes** disponibles comercialmente en la actualidad para la prevención o la reducción de emisiones y residuos, así como para reducir el consumo de energía y de materias primas, para instalaciones nuevas y existentes. En este documento, estas opciones técnicas principales para protección del medio ambiente y ahorro de energía se denominan "Técnicas a considerar en la determinación de las MTD" lo que significa alternativas técnicas o posibilidades de mejora con el mejor comportamiento medioambiental y económico. Estas técnicas cubren medidas de proceso y también tecnología de final de línea (end of pipe). Se destacan las ventajas e inconvenientes de la aplicación de ciertas técnicas. Esta lista de técnicas disponibles no es exhaustiva y puede ampliarse en una revisión de este documento.

La presentación de las técnicas disponibles incluye para cada técnica una descripción, los principales niveles de emisión alcanzados, su aplicabilidad, efectos sobre otros medios, economía, datos operativos, plantas de referencia y bibliografía.

Algunas medidas descritas en este apartado son solamente válidas para calidades específicas de papel, mientras que otras son aplicables independientemente de la calidad de papel producida. Lo primero se denotará, de lo contrario se considera que las medidas hacen referencia a la fabricación de papel en general.

Muchas fábricas de papel están integradas con una fábrica de pasta, otras están parcialmente integradas, es decir, parte de la pasta utilizada es comprada, y parte se fabrica in situ. Por lo tanto, hay una cierta superposición entre la fabricación de pasta química y mecánica y el proceso de papel recuperado por una parte, y la fabricación de papel y los procesos asociados por otra. En estos casos se hará referencia a los capítulos respectivos para evitar una repetición innecesaria y mostrar las similitudes y diferencias entre los procesos dados.

Dado que en cuanto al número la mayoría de fábricas de papel europeas son fábricas de papel no integradas, parece adecuado dedicar un capítulo separado a la fabricación de papel como actividad separada. Sin embargo, hay que tener en consideración que con frecuencia la fábrica incluye "al menos en un cierto grado" una fábrica o sección de pastas. En tales casos, deberán tenerse también en cuenta los capítulos sobre pastas.

A continuación, se recopila un resumen de técnicas para la reducción de las emisiones de la fabricación de papel. Se ha intentado indicar los posibles efectos sobre otros medios de cada técnica en la misma tabla. Puede concluirse que no es tarea fácil describir los efectos sobre otros medios de un forma que no cause ningún conflicto. Hay muchas "zonas grises" en la evaluación de los efectos sobre otros medios. Además, pueden depender de otras técnicas, que pueden estar ligadas a una medida dada, a la referencia con la cual se compara una técnica y también al límite del sistema considerado. Por lo tanto, la evaluación cualitativa de los efectos sobre otros medios debe tomarse solamente como ayuda para los operarios o inspectores acerca de los efectos secundarios que podría producir una medida, y sólo es un punto de partida a la hora de considerar posibles desplazamientos de la contaminación de un medio a otro. Los resultados de la evaluación no deben considerarse como imperativos. Además, la prevención y las medidas de control pueden evitar algunos de ellos.

La tabla puede también indicar a qué medios (agua, aire, residuos, energía) está dirigida una medida. En los párrafos correspondientes de cada técnica, se darán de forma más detallada explicaciones adicionales.

En las filas se detallan las técnicas individuales disponibles. En las columnas, la tendencia de los efectos causados por diversas técnicas sobre las emisiones, el consumo de materias primas y el funcionamiento de la fábrica se indican de forma cualitativa usando flechas hacia arriba "↑" y hacia abajo "↓". Las flechas hacia abajo "↓" indican ahorro de materias primas o de energía y una

Técnicas a considerar en la determinación de las MTDs	Efectos sobre los niveles de consumos y emisiones					
	(efectos sobre otros medios)					
	Consumo prod. químicos	Consumo energía (E) y agua (A)	Emisiones al agua	Emisiones la atmósfera	Residuo sólido	Aplicabilidad
6.3.1 Gestión del agua y minimización del consumo para distintas calidades	(O)	(↓) E, (↓) A	↓	O	O	Todas las calidades
6.3.2 Control de las posibles desventajas del cierre de los sistemas de agua	↑	O	(↓)	O	O	Todas las calidades
6.3.3 Tratamiento en línea del agua blanca mediante filtración por membranas	O	(↑) E, (↓) A	(↓)	O	O	Todas las calidades
6.3.4 Reducción de las pérdidas de fibra y cargas	↑	↓	↓	O	(↓)	Todas las calidades
6.3.5 Recuperación y reciclaje de los efluentes con colores de estucado	(↓)	O	↓	O	↓	Todas las calidades estucadas
6.3.6 Pretratamiento separado de agua residual de estucado	(↑)	O	↓	O	(↑)	Todas las calidades estucadas
6.3.7 Medidas para reducir la frecuencia y efectos de las descargas accidentales	O	O	(↓)	O	O	Todas las calidades
6.3.8 Medición y automatización	(↓)	↓	↓	O	O	Todas las calidades
6.3.9 Balsa de equalización y tratamiento primario de aguas residuales	O	O	↓	O	O	Todas las calidades
6.3.10 Tratamiento biológico aerobio	(↑)	↑ E	↓	O	↑	Mayoría de calidades
6.3.11 Precipitación química	↑	(↑) E	↓	O	↑	Todas las calidades
6.3.12 Sustitución de las posibles sustancias nocivas	O	O	↓	O	(↓) nocividad	Todas las calidades
6.3.13 Pretratamiento del lodo	(↑)	(↑) E	O	O	↓ volumen	Todas las calidades
6.3.14 Opciones para el tratamiento de residuos	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Todas las calidades
6.3.15 Instalación de tecnología de bajo nivel de NOx en las calderas auxiliares	O	O	O	↓	O	Todas las calidades
6.3.16 Uso de cogeneración de calor y electricidad	O	↓ E	O	↓	O	Todas las calidades
6.3.17 Optimización de la deshidratación en la sección de prensa de la máquina de papel	O	↓ E	O	O	O	Todas las calidades
6.3.18 Ahorro de energía mediante tecnología energéticamente eficientes	O	↓ E	O	O	O	Todas las calidades
6.3.19 Medidas para el control externo del ruido	O	O	O	↓	O	Todas las calidades
Notas: También se indican los efectos positivos y negativos. ↑ = aumento; ↓ = disminución; O = sin efecto (o despreciable); (↑) o (↓) = baja influencia según las condiciones.						

Tabla 6.20: Resumen de las técnicas disponibles a considerar en la determinación de las MTDs para fábricas de papel

reducción de emisiones en los diversos medios, agua, atmósfera y suelo. Las flechas hacia arriba "↑" indican un aumento de emisiones, del consumo y de los impactos sobre el proceso de producción. Algunas de las medidas para la prevención y el control de la contaminación presentadas en esta sección afectan a más de un medio ambiental (como agua, atmósfera o suelo) a la vez. Algunas técnicas pueden tener un impacto positivo y/o negativo en otros medios ambientales o sobre el consumo de materias primas y energía (efectos sobre otros medios). Los efectos dados serán indicados usando las flechas. Una flecha entre paréntesis "(↑)" indica sólo un ligero aumento – a menudo despreciable – del consumo de energía, del consumo de materias primas o de las emisiones al medio ambiente al aplicar una determinada medida.

Los aspectos económicos (inversiones, costes operativos) no se incluyen en la tabla pero se explican en el texto. Los datos sobre economía pueden dar solamente una idea general e indicar los

niveles de costes. Variarán con el diseño del conjunto de la planta y dependerán entre otros del tamaño de fábrica y del acoplamiento de una medida con el resto del equipo de la fábrica.

Cada técnica incluye una marca de referencia, que ayuda a identificar la sección correspondiente del texto en la que cada técnica individual se discute en detalle.

6.3.1 Gestión del agua y minimización del consumo para distintas calidades de papel

Esta medida debe leerse junto con la Sección 6.3.2, relativa al control de los posibles problemas de cerrar los circuitos de agua.

Descripción de la técnica: las medidas de reducción de agua en las máquinas de papel y cartón son un tema complejo y dependen en gran medida del grado deseado de cierre de los circuitos. Aunque hay muchas alternativas técnicas que pueden diferir algo de una fábrica a otra, hay algunas soluciones básicas de reducción de agua, entre las que se incluyen:

- Separación eficaz de las aguas de refrigeración del agua de proceso, y enfriamiento con torres de refrigeración para su reutilización. Se requiere un 10-15% de agua de aporte fresca para la corriente de reutilización. Para protección, se recomienda un microtamiz u otro filtro con el fin de eliminar los sólidos. Cuando se evacúan a la alcantarilla fracciones de agua de refrigeración, no se hace a alcantarillas con aguas de proceso contaminadas.
- En fábricas integradas, la circulación de agua en la máquina de papel se mantiene separada de las secciones de desfibrado, y el exceso el agua blanca de la máquina de papel se alimenta a contracorriente al departamento de pastas.
- El sistema de agua de los rociadores es por lo general el mayor consumidor de agua fresca en el sistema de la máquina de papel. El consumo de agua de rociadores es por lo general del orden de 4 - 15 m³/t suponiendo un consumo total de agua de aproximadamente 20-30 m³/t de papel. Para reducir el consumo de agua fresca a niveles razonables, la mayor parte del agua fresca debe ser sustituida por agua blanca clarificada. Por este motivo se aplica la recuperación de fibra eficiente con producción asociada de agua blanca clara (o superclara) en sustitución del agua fresca en los rociadores de la máquina de papel (ver 6.3.3 y 6.3.4). De este modo puede obtenerse un sistema de agua de rociadores con una demanda de agua fresca considerablemente reducida. Sin embargo, normalmente no es recomendable usar los filtrados de los recuperadores para los rociadores de la sección de prensa (duchas de alta presión para los fieltros), ya que de lo contrario puede producirse la precipitación de material coloidal del agua clarificada blanca sobre el fieltro. Esto puede conducir a la obstrucción del fieltro. Hasta ahora, los rociadores de alta presión para fieltros requieren agua fresca. En caso de que un fabricante siga deseando usar filtrado, deberá investigar con detalle cómo tratar el agua, para que al menos se elimine el material coloidal (ver Sección 6.3.3 o 5.3.8).
- Circuito de reciclaje para parte del agua de sellado de la bomba de vacío con enfriamiento y eliminación de sólidos.
- Gestión de todos los flujos de materias primas a través de la fábrica de papel considerándolos como unidades de fibras, agentes químicos y agua que interfieren entre sí. Todos los aportes de agentes químicos, por ejemplo, deben ser controlados e investigar su influencia en la calidad del agua y la química de la parte húmeda (aporte controlado al sistema).
- Diseño y mantenimiento de las conducciones y recipientes de almacenaje de modo que los volúmenes de exceso de agua puedan almacenarse y la calidad del agua no se deteriore.
- La formación y motivación del personal es crucial para conseguir y mantener un consumo de agua bajo.

Según el punto de partida, las características de la fábrica y la calidad del producto, con estas medidas el consumo de agua fresca de una máquina de papel o cartón sin estucar podría alcanzar 5-12 m³/ADt, y el de una máquina de papel de impresión estucado, 7-15 m³/ADt.

La reducción del consumo de agua para una reducción ulterior de efluentes requiere la aplicación adicional de medios fisicoquímicos (ver 5.3.8), biológicos (ver 5.3.4) o mecánicos (ver 6.3.3), o de una combinación de los mismos para tratar el agua para su reciclaje.

La cantidad acumulada de muchas sustancias inorgánicas y orgánicas es una restricción importante para alcanzar este objetivo, ya que estas impurezas deben mantenerse a niveles bajos para prevenir problemas en el funcionamiento de la máquina y cumplir las exigencias de calidad del papel o cartón fabricado.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnicas integradas en el proceso. Las medidas de reducción de agua pueden realizarse en fábricas nuevas y existentes. No obstante, la separación de los circuitos de agua de pasta y de papel en fábricas integradas, o un alto grado de cierre del sistema de agua, resulta más caro en las fábricas antiguas, ya que para un mayor cierre es muy probable que deba procederse a una remodelación importante de las conducciones y fuertes modificaciones en la parte húmeda de la máquina.

En las máquinas existentes, estas modificaciones son, a partir de un cierto punto, difíciles de conseguir sin una importante remodelación o ampliación del proceso. En las máquinas nuevas, la reducción del consumo de agua puede aplicarse algo más fácilmente. Otro problema a tratar en las fábricas existentes es la idoneidad de los materiales para resistir la acumulación de sustancias corrosivas, como cloruros, y la elevación o el aumento de la temperatura del agua. En general, los circuitos de agua son tanto más difíciles de cerrar cuanto más diferenciados están los productos y cuanto más frecuentemente se cambia el tipo de papel producido. Las fábricas pequeñas con una sola máquina de papel tienen normalmente más cambios de producción durante el año (o día) que las fábricas más grandes que fabrican calidades en gran volumen. Debe tenerse en consideración la configuración individual de las plantas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los logros dependen principalmente de la situación precedente de la fábrica. En fábricas existentes, a menudo puede obtenerse una reducción del agua fresca de 10-15 m³/ADt de aguas de refrigeración, y una reducción de 5-8 m³/ADt de agua de proceso, sin la aplicación de ningún tratamiento especial en la fábrica, aunque el grado de cierre depende mucho del producto. Con cartones de bajo brillo es posible conseguir menores volúmenes de efluentes que en cartones para envases de líquidos y papeles para escritura.

Según el estado inicial de la fábrica, los valores alcanzables de consumo total de agua fresca para diversas calidades de papel son del orden de:

- Papel prensa: 8 - 13 m³/t
- Papel fino sin estucar: 5 - 12 m³/t
- Papel fino estucado: 5 - 15 m³/t
- Papel LWC: 10 - 15 m³/t
- Papel SC: 10 - 15 m³/t
- Cartón para cajas plegables multicapa: 8 - 15 m³/t (fibras vírgenes)
- Fluting: 4 - 10 m³/t (fibras vírgenes)
- Papel tisú: 10 - 15 m³/t (fibras vírgenes; productos de alto gramaje o calidades bajas)
15 - 25 m³/t (fibras vírgenes; productos de bajo gramaje o calidades altas)

El consumo de agua fresca depende principalmente de la calidad de papel, de la cantidad de rociadores y de la cantidad de aguas que contienen fibras utilizada para los rociadores de la máquina de papel, de las condiciones de la fábrica y del método de recopilación de información sobre consumo de agua. Los productos de papel ligero requieren generalmente algo más de agua por tonelada de producto final.

Monitorización de emisiones: los dispositivos de monitorización típicos incluyen medidores de caudal para la alimentación de agua fresca a la máquina de papel, alimentación de agua de los rociadores y principales corrientes de aguas blancas. Se hace especial énfasis en las mediciones de

sólidos en suspensión o de turbidez del agua blanca, si se utiliza para los rociadores de la máquina de papel.

Efectos sobre otros medios: en las fábricas de papel con bajo nivel de consumo de agua, los contaminantes están más concentrados en el efluente, lo que suele contribuir a mayores eficacias de eliminación. En cierta medida, las pérdidas de materias primas y energía podrían verse reducidas. Menores volúmenes de agua suelen significar también una menor carga calorífica en el medio receptor.

Experiencias operativas: las medidas descritas se aplican en muchas fábricas de papel en Europa. Las experiencias son también buenas en las fábricas existentes, y el diseño actual de las máquinas de papel acepta bien su aplicación.

El agua clara o superclara del recuperador se utiliza cada vez más en los rociadores de la máquina de papel. Si el contenido de sólidos del agua blanca o el tamaño de partícula se eleva por encima de la capacidad de las boquillas de los rociadores, las boquillas se atascarán. La distribución de agua a esos rociadores debe pasar a través de un filtro protector en línea y disponer de purga automática, como protección contra los efectos de perturbaciones en el recuperador y para evitar además la sustitución del agua blanca por agua fresca. También los equipos de limpieza de rociadores, dotados de un cepillo interno u otros elementos de purga, pueden ser de ayuda para evitar problemas.

No obstante, en fábricas existentes, un bajo consumo de agua como resultado de una combinación de distintas medidas requiere normalmente muchos años de desarrollo y mejoras en el proceso.

Economía: no hay disponible información general sobre estructuras de costes para el cierre de circuitos de agua, ya que cada planta es un caso individual a este respecto. Los costes dependen principalmente de las características técnicas de la fábrica y de las condiciones locales.

Los costes de estas medidas dependen del número y de la naturaleza de reformas necesarias en los circuitos de agua, así como del tipo de instalación adicional requerida.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: hay una serie de posibles medidas para reducir el consumo de agua fresca aplicables en fábricas en las que la disponibilidad de agua fresca es restringida o debe pagarse. Las mejoras tienen a menudo un efecto neto positivo gracias a los posibles ahorros conseguidos gracias a los menores costes de agua cruda, menores pérdidas de fibras y cargas, en ocasiones un menor consumo de energía y menores volúmenes de aguas residuales a tratar.

Tanto el aumento de la capacidad de producción como la limitación de la capacidad hidráulica de la planta de tratamiento de efluentes existente son otros motivos para la aplicación de estas medidas.

Plantas de referencias: numerosas fábricas en Europa.

Bibliografía: [CEPI, 1998 b]

6.3.2 Control de las posibles desventajas del cierre de los sistemas de agua

Descripción de la técnica: el aumento del reciclaje de agua de proceso en máquinas de papel y cartón causa un aumento en la concentración de los componentes orgánicos e inorgánicos coloidales y disueltos de dichas corrientes. Según las características de la alimentación de pasta y los agentes químicos utilizados en la fabricación del papel, los sistemas de agua cerrados pueden tener un efecto negativo en la operatividad de la máquina, la calidad del producto final, e incluso los costes de producción debidos al mayor uso de agentes químicos. Estos efectos negativos potenciales deben ser controlados. Las posibles ventajas y desventajas de reducir el consumo de

agua se indican en la Tabla 6.21. Los posibles inconvenientes del cierre de los circuitos de agua requieren medidas de control que se discuten más adelante.

Posibles ventajas	Posibles inconvenientes
Mejor retención del material soluble en la hoja de papel continuo	Mayores concentraciones de materiales disueltos y coloidales en los circuitos de agua
Menor requisito de energía para calentamiento y bombeo	Riesgo de producción de limo, que puede crear depósitos y roturas de la hoja de papel continuo
Mejores propiedades de deshidratación en la tela, lo que produce ahorros de energía en la sequería	Riesgo de mala calidad del producto en cuanto a blancura, resistencia, suavidad, porosidad
Menos costes de inversión por equipo reducido	Mayor consumo de aditivos de proceso
Ahorro de materias primas debido a menores pérdidas	Riesgo de corrosión (mayor concentración de cloruros)
Mayores eficacias de reducción del tratamiento de aguas residuales	Mayor riesgo de bloqueo de tuberías, boquillas de duchas, telas y fieltros
Reducción de las emisiones totales a los medios acuosos	Problemas de control de higiene para papel tisú y aplicaciones alimentarias y médicas

Tabla 6.21: Posibles ventajas e inconvenientes del mayor cierre de los circuitos de agua en fábricas de papel

La pasta y el agua que la transporta contienen compuestos orgánicos disueltos y coloidales denominados "basura aniónica". A concentraciones elevadas, estas sustancias orgánicas afectan la retención y formación de la hoja de papel continuo y aumentan la obstrucción de los fieltros de la prensa de la máquina, haciendo que la hoja de papel continuo se pegue a los rodillos de la máquina. Al producir papeles a partir de pasta mecánica, los problemas se acentúan, ya que la mayoría de compuestos de la madera están todavía presentes en la pasta y se disuelven parcialmente en el agua de proceso. En la producción de materiales para envases alimentarios, el producto debe estar exento de materias nocivas solubles. También debe controlarse el aumento de temperatura en la máquina de papel o cartón, de modo que no se rebasen los límites de temperatura operativa, de 45-55 °C en la parte húmeda. Por otra parte, en la sección de tela de la máquina de papel, una suspensión de pasta caliente presenta ventajas, ya que la viscosidad del agua se reduce al aumentar la temperatura, produciendo una mejor deshidratación.

Los requisitos para controlar los efectos de los circuitos cerrados de agua son:

- El sistema de agua blanca de la máquina de papel o cartón no debe recibir agua de los departamentos de desfibrado integrados o de máquinas paralelas. La separación de los circuitos de agua se realiza normalmente con espesadores. El diseño óptimo de los circuitos de agua es igualmente crucial.
- El agua de refrigeración o de sellado reciclada y la alimentación de agua blanca limpia a los rociadores de la máquina deben tratarse con un filtro apropiado para proteger contra obstrucciones o desgastes del equipo de la máquina.
- El agua de sellado reciclada debe ser enfriada suficientemente mediante equipo de intercambio de calor o agua de aporte limpia. Especialmente, el funcionamiento de las bombas de vacío limita la temperatura aceptable del agua de sellado.
- La composición (es decir, presencia de sustancias coloidales), dureza, pH y temperatura de las aguas recicladas alimentadas a un uso específico deben ser compatibles con el equipo o las corrientes de proceso existentes en el mismo. Es importante determinar la calidad del agua que se necesita realmente.
- Las pastas deben lavarse eficazmente antes de su alimentación a la fábrica de papel, con el fin de reducir el contenido de sustancias disueltas o coloidales. En fábricas integradas puede ser también beneficioso que la alimentación de pasta a la fábrica de papel sea a más del 30% en lugar del típico 2-4 %, para reducir el arrastre de materia disuelta. Esto puede ayudar a reducir el consumo de agentes químicos para el papel, como alumbre, polímeros o almidón, así como ayudas para la máquina de papel, como agentes químicos de lavado, limicidas y biocidas.
- La selección de los aditivos químicos del papel y de las ayudas de la máquina debe reevaluarse cuando se apliquen los principios de circuitos cerrados, ya que algunos compuestos químicos se comportan de forma muy distinta en el entorno químico modificado.

- La monitorización de las corrientes de agua reciclada mediante medidores de caudal y análisis de laboratorio es beneficiosa con objeto de evitar que se rebasen los límites de calidad establecidos.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnicas integradas en el proceso. Las medidas pueden aplicarse tanto en fábricas nuevas como existentes. No obstante, las fábricas existentes necesitarán con frecuencia muchos años para aplicar la mayoría de estas mejoras. El nivel requerido de medidas varía para cada caso particular: el tipo de máquina, los productos y el grado de cierre son los parámetros clave. Los requisitos son más bajos para calidades de papel de embalaje sin blanquear, y se hacen muy estrictos para calidades altas, como papeles finos.

Las concentraciones elevadas de materia disuelta o coloidal debido al mayor reciclaje de agua de proceso tienden a retener más cantidad de estas sustancias en el producto final. Los límites vienen fijados por la calidad del producto y el consumo aceptable de aditivos químicos para la fabricación del papel.

Asimismo, en aplicaciones de agua de sellado y refrigeración, la temperatura de la corriente y el contenido de sólidos disueltos y en forma de partículas tienen sus límites, por lo que es necesario aplicar equipo de limpieza y/o una purga suficiente.

En cuanto al sellado, la tecnología actual ofrece también juntas mecánicas que no precisan agua.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las medidas se consideran parte integral de la medida descrita en la Sección 6.3.1. Estas medidas sirven para conseguir y mantener un bajo consumo de agua fresca sin efectos adversos significativos.

Monitorización de emisiones: en los puntos en los que se descarga el efluente de la máquina de papel, la monitorización con medidor de caudal es práctica. Las mediciones en línea de sólidos en suspensión o de turbidez son importantes indicadores de picos. Al menos en la planta de tratamiento externo debe monitorizarse la temperatura.

Efectos sobre otros medios: el control del agua de la máquina de papel y de la calidad de reciclaje exige además un mejor control y monitorización del proceso de pastas. En algunos casos, la necesidad de aditivos químicos y de ayudas de producción aumentará. El tipo de agentes químicos empleados debe ser reevaluado para potenciar al máximo su idoneidad para la calidad de papel producida.

Experiencias operativas: el riesgo de incrustaciones causadas por compuestos cálcicos, limos y problemas de paso es pronunciado, y debe contrarrestarse con una mezcla apropiada de las fracciones de agua, control del pH, aumento de la dosis de ayudas de producción o purga adecuada del calcio del sistema (ver 5.3.4).

Si la máquina puede utilizarse a una temperatura de más de 50°C, el crecimiento de microorganismos y su actividad en el sistema de agua es menor. Sin embargo, todavía puede haber actividad anaerobia por encima de 50°C (bacterias termofílicas), generando olor en un entorno rico en azufre y carbohidratos que debe controlarse.

La optimización requerida por la aplicación de estas medidas de control se suele realizar gradualmente a lo largo de un largo periodo de tiempo en fábricas existentes. El éxito en la aplicación de esta tecnología depende en cada caso de la química de la parte húmeda. Algunas fábricas abordan el problema de control agregando más agentes químicos. La selección de los agentes y aditivos químicos adecuados y su combinación es un procedimiento bastante sofisticado y a menudo mal comprendido, pero necesario para obtener una máxima operatividad y un bajo nivel de costes e impacto medioambiental.

La producción económica de papel ha sido aplicada con éxito en numerosas fábricas con ciclos parcialmente cerrados, incluso para máquinas de papel de alta velocidad. Mediante una mayor purificación del agua reciclada (ver secciones 6.3.3, 5.3.4 y 5.3.8), pueden solucionarse algunos problemas y suavizar el control del problema con agentes químicos, pero en ocasiones se han desarrollado otros problemas.

Economía: los costes dependen principalmente del estado de la fábrica. Los costes de las medidas dependen del número y de la naturaleza de los reajustes necesarios, así como del tipo de instalación adicional que se requiera. No hay disponibles datos sobre costes individuales.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el mayor reciclaje del agua de proceso en fábricas de papel puede tener efectos adversos sobre la operatividad de la máquina y la calidad del producto final. Estos posibles efectos negativos deberán ser controlados a la hora de intentar reducir el consumo de agua en fábricas de papel.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa.

Bibliografía:

[CEPI, 1998 b], [Comentarios italianos]

6.3.3 Tratamiento interno del agua blanca mediante el uso de filtración por membrana y reciclaje del agua de proceso tratada

Esta técnica puede ser también aplicable en fábricas a base de FRC. No obstante, hasta la fecha no ha habido aplicaciones a plena escala productiva para fábricas que procesen fibra recuperada. El tratamiento biológico en línea del agua es una opción para los "papeles marrones" fabricados a partir de fibra reciclada (ver Sección 5.3.4).

Aunque la técnica descrita en esta sección es la misma que la de la Sección 6.3.5, la aplicación es muy distinta.

Descripción de la técnica: la filtración convencional no puede eliminar sólidos y material coloidal de un tamaño efectivo inferior a 1 μm . Por ello, las bacterias y coloides de pequeño tamaño escapan a la acción de los medios de filtrado. También pueden ser transformados en flóculos de 100 - 1000 μm por floculación y filtrarse fácilmente. Sin embargo, la adición de floculantes puede tener el inconveniente de que se introducen sales indeseadas en el sistema de agua (los modernos floculantes orgánicos/sintéticos no introducen una carga salina significativa).

Las tecnologías de membrana, según el tamaño de corte aplicable de la membrana (correspondiente al "peso molecular" aproximado de los compuestos orgánicos eliminados) y la presión de filtrado, pueden en teoría eliminar casi el 100% del material orgánicos (ver Figura 6.11) sin introducir compuestos indeseados en los circuitos de agua.

Según las diferencias en el tamaño de poro, cabe distinguir distintos procesos de membrana:

- La microfiltración, que opera a una presión inferior a 1 bar y utiliza membranas con un tamaño de poro de 0,1–0,2 μm , puede usarse cuando sea aceptable una concentración de 1-5 mg/l de sólidos muy finos después del tratamiento. Actualmente hay una aplicación a plena escala productiva en fábricas de papel en Europa.
- La ultrafiltración (UF) opera con una diferencia de presión de 1-2 bares y se considera una posible solución para la eliminación al 100% de sólidos y coloides residuales, así como compuestos orgánicos de alto peso molecular, de las corrientes de agua o efluentes de las

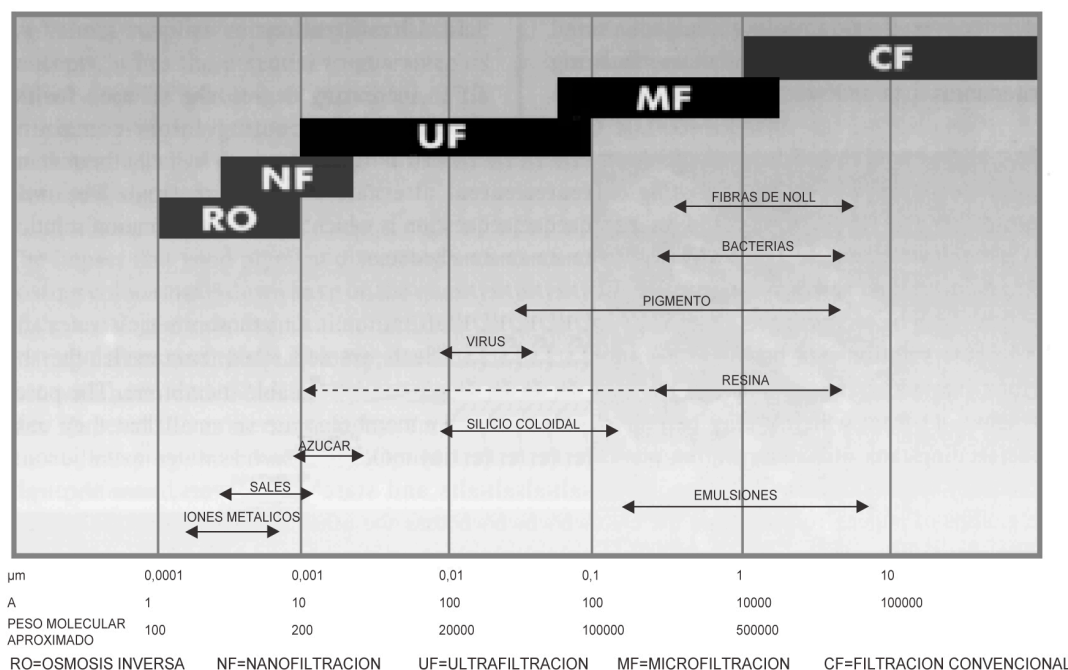


Figura 6.11: Rangos de filtración de las distintas tecnologías de filtración

fábricas de pasta y papel. En Europa existen unas cuantas aplicaciones a plena escala productiva para el tratamiento de aguas blancas mediante tecnología de UF.

- La Nanofiltración (NF) o la ósmosis inversa (RO) utilizan presiones de hasta 15-25 bares, pero hasta la fecha estos métodos no han sido considerados seriamente para uso a plena escala productiva en la industria de la pasta y el papel en Europa (hay una aplicación a plena escala productiva en el desierto noroccidental de Nuevo México).

Ningún tipo de filtración por membranas puede hacer frente a picos repentinos de sólidos en suspensión. Si los sólidos en suspensión son homogéneos (uniformes), basta con instalar un filtro policia para evitar los picos repentinos.

Los aspectos clave que afectan la selección de la tecnología de membranas para su aplicación en fábricas de papel son los siguientes:

- La corriente de entrada, su composición y carga hidráulica, incluidas condiciones de picos de sobrecargas.
- Los requisitos de cantidad y calidad de agua blanca, así como la aplicabilidad de la salida del tratamiento en distintas condiciones operativas para los usos finales previstos, y su efecto sobre la calidad de la pasta o del papel.
- Los métodos de filtración a alta presión producen agua más limpia, pero consumen más electricidad y deben dimensionarse ampliamente o equiparse con un pretratamiento más eficaz o contramedidas como protección contra obstrucciones.
- Los requisitos de mantenimiento (estructura simétrica o asimétrica de las membranas, lavado ácido o alcalino, capacidad de reserva, limpieza automática o continua). Las membranas simétricas tienen una mayor tendencia a obstruirse. Las obstrucciones pueden evitarse manteniendo condiciones de alta turbulencia cerca de la pared de la membrana, pero esto requiere algo más de energía.
- El tratamiento final y desecho del concentrado o lodo, que en la mayoría de los casos es un residuo. El residuo líquido puede ser lo bastante concentrado para causar efectos tóxicos en el tratamiento externo de efluentes, o puede requerir una ulterior concentración o absorción en un combustible sólido para su desecho por incineración. Algunas sales inorgánicas del

concentrado son corrosivas, lo que debe ser tenido en cuenta en la selección de los materiales del equipo y de las conducciones.

Considerando estos aspectos, la UF puede usarse como “riñón” para retirar las materias perturbantes del agua blanca y poder cerrar más el sistema de agua. El agua blanca prefiltrada se conduce al tanque de alimentación del sistema de UF y se bombea a la unidad de UF. El conjunto de filtros en funcionamiento regula la capacidad de permeado de UF limpio. La diferencia de presión se mantiene lo más baja posible, por ejemplo 0,7 – 0,8 bares. La calidad del filtrado de UF es suficiente, por ejemplo, para su uso como agua para los rociadores o agua de sellado, así como para dilución de los aditivos químicos de la máquina de papel. El concentrado de los filtros puede conducirse al tratamiento principal de efluentes. En la Figura 6.12 se muestra una posible configuración para una fábrica de papel que utilice la ultrafiltración para purificar el agua blanca.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica integrada en el proceso. La filtración con membranas ha sido aplicada en algunas fábricas en todo el mundo para eliminar sólidos en suspensión, bacterias, coloides, basura aniónica y compuestos orgánicos de elevado peso molecular de las corrientes parciales de agua de las fábricas de papel o cartón. El tratamiento del exceso de agua blanca para su reutilización con filtración con membranas de UF sólo se suele aplicar en casos especiales.

Para aguas de proceso más concentradas en fábricas de papel, como las de la producción de "papel marrón" a base de fibras recicladas, la aplicación de tratamiento biológico en línea del agua de proceso seguido de filtración con arena es una opción viable, que se describe en la Sección 5.3.4. También existen sistemas combinados en fase de desarrollo, denominados bioreactores de membrana (MBR), descritos en la Sección 5.5.2. En aplicaciones especiales, como la recuperación de agentes químicos de estucado de los efluentes de estucado de la máquina de papel, la tecnología de membranas de UF es ya una tecnología probada y existen varias aplicaciones (ver Sección 6.3.5).

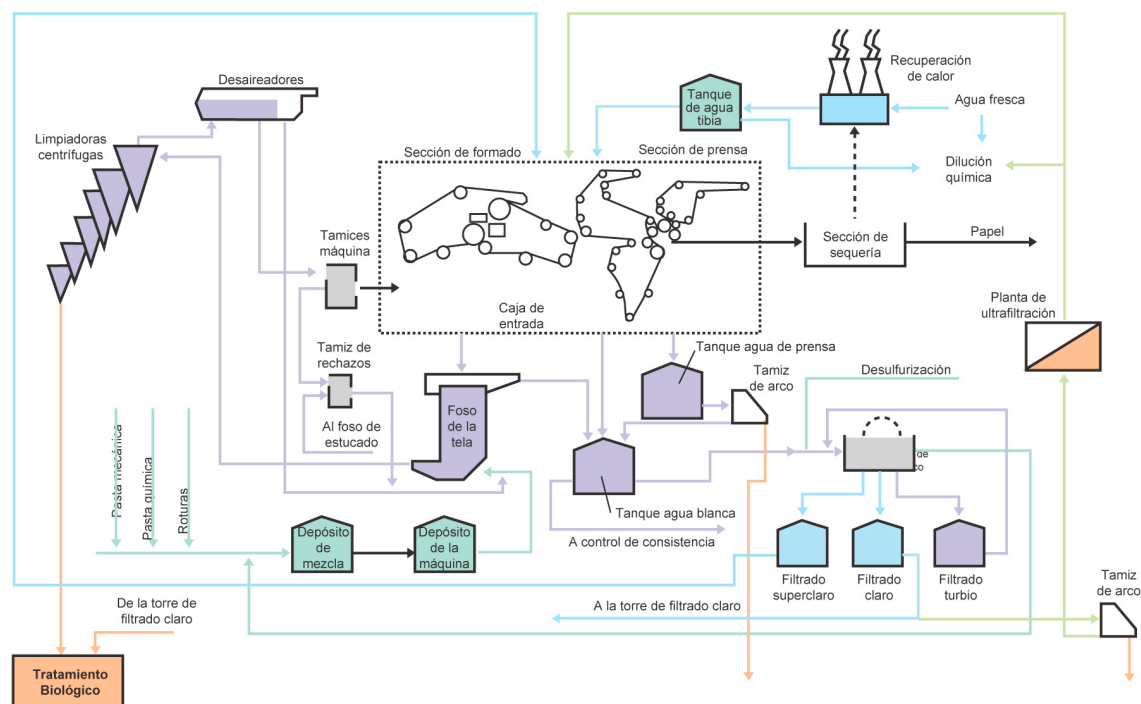


Figura 6.12: Posible configuración simplificada para una fábrica de papel que utilice la ultrafiltración para purificación del agua blanca.

En términos generales, el cierre del circuito de agua de la máquina de papel con eliminación integral de componentes orgánicos o inorgánicos disueltos es una técnica que todavía es objeto de desarrollo. No está tan bien establecida como por ejemplo el tratamiento biológico.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la eficacia de eliminación de las membranas de UF para compuestos orgánicos es específica de cada caso, y los niveles objetivo son fijados por los niveles de contaminantes permisibles en el sistema de la máquina de papel y los usos específicos del agua reciclada.

Además de la eliminación parcial de compuestos orgánicos, otros filtros de membrana con tamaños de poro menores (como filtros de NF o RO) pueden también reducir los compuestos inorgánicos, pero el tamaño del sistema y la presión / energía requerida crecen exponencialmente al aumentar el índice de eliminación de compuestos orgánicos o sales de bajo peso molecular.

La ultrafiltración (UF), en su aplicación al agua blanca, significa normalmente el tratamiento del filtrado claro o partes del filtrado turbio del filtro de discos. Las membranas de UF eliminan en la práctica el 1% de SST, un 99% de bacterias, el 100% de la turbidez (se elimina todo el material coloidal), y un 45 -70% de la anionicidad. La DQO disuelta se reduce alrededor de un 10 - 20%. Esto significa que la UF todavía permite el paso de parte de las sustancias orgánicas (ej: todos los compuestos orgánicos de bajo peso molecular) y de la materia inorgánica soluble. Ante todo, la UF del agua blanca proporciona una mejor calidad de agua recirculada, que puede usarse como agua de rociadores de baja y alta presión en la sección de tela, como agua de lubricación en la sección de prensa, o para otros fines de lavado y limpieza. Todavía no hay experiencias que permitan el uso del permeado para la limpieza de los fieltros.

Una posible reducción del consumo de agua puede conducir indirectamente a una disminución de las descargas de nutrientes (N y P), ya que las emisiones totales de N y P están gobernadas por la concentración mínima requerida para el crecimiento de biomasa en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El concentrado de la filtración con membranas (3 - 5% de la alimentación) se envía al tratamiento biológico o se desecha por incineración. Esta última requiere un paso de concentración antes de la combustión, que exige un control de los compuestos orgánicos volátiles si se realiza mediante evaporación. La incineración del concentrado en una caldera auxiliar mezclada con combustibles normales puede ser posible según el tipo, la capacidad y sistema de alimentación de combustible de la caldera.

En una aplicación de UF a plena escala productiva en Europa (Finlandia), el concentrado se trata ulteriormente en la planta de tratamiento biológico. En este caso, no se consigue reducción de la carga total de contaminantes al medio receptor. No obstante, todavía se están realizando investigaciones acerca de cómo utilizar el permeado para otros fines (ej: rociadores de alta presión) en sustitución del agua fresca, y para determinar si hay que tratar el concentrado por separado (tal vez combinando la UF con otras técnicas).

Monitorización de emisiones: la monitorización se discute en un capítulo separado.

Efectos sobre otros medios: la ultrafiltración requiere una cantidad de electricidad del orden de 2,6 kWh/m³ de agua blanca tratada, para que las bombas superen la diferencia de presión. No hay datos disponibles para comparar el comportamiento medioambiental de los sistemas comunes de lodo activado con el sistema que utiliza UF + tratamiento biológico de los concentrados de una forma integrada. Para filtración con membranas, la solución de tratamiento de los residuos líquidos o sólidos es crucial.

Experiencias operativas: Los procesos de tratamiento con membranas aplicados específicamente al agua blanca de las máquinas de papel y cartón sólo se han ensayado en unos pocos casos a plena escala productiva. En Europa, las aplicaciones a plena escala productiva hasta la fecha son:

- Fábrica de Metsä -Serla Kirkniemi, Finlandia, tratamiento del agua blanca, alimentación desde el recuperador, el permeado se utiliza como agua de rociadores de baja presión en la sección de tela (en lugar de filtrado claro).
- Stora Uetersen, Alemania, tratamiento del agua blanca de la máquina de papel.
- Fábrica de cartón de Rottneros, Suecia, separación de sólidos en suspensión antes de la evaporación del concentrado.

Las limitaciones prácticas de los filtros de membrana vienen fijadas normalmente por el material de la membrana en sí, que es sensible a obstrucciones a menos que las unidades estén equipadas con pretratamiento para la eliminación de sólidos o sistemas integrados que limpien o mantengan una fuerte turbulencia cerca de la superficie de la membrana.

Se requiere un lavado regular o filtros con soluciones ácidas o alcalinas (NaOH, detergentes, y tensioactivos), lo que genera pequeñas cantidades de residuos líquidos. Cuando el flujo de permeado baja, las membranas deben también cambiarse de vez en cuando (la vida útil de una membrana es de unos 15 meses).

Economía: para la filtración con membrana del agua blanca, los costes de inversión serían de unos 0,3 Euros/m³ (correspondiente a 5000 m³/d de agua blanca tratada). Los costes de servicio y mantenimiento (cambio de membranas y horas de trabajo) son del orden de 0,05 Euros/m³, los costes de energía de unos 0,07 Euros/m³, y los agentes químicos de lavado 0,02 Euros/m³. Los costes operativos totales son del orden de 0,14 Euros/m³.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: esta técnica puede aplicarse primero en fábricas que se enfrentan a requisitos estrictos de vertido, bien por estar situadas junto a un medio receptor sensible, bien por preverse un aumento significativo en su capacidad. En este último caso, algunas autoridades en Europa requieren que la carga de los efluentes no aumente con la capacidad. Normalmente, los pioneros que consiguen emisiones mucho más bajas mediante el uso de tecnologías utilizan el concepto de "fábrica verde" como parte de su estrategia de marketing. Estas técnicas pueden también aplicarse en casos en los que la disponibilidad del agua sea escasa.

La UF del agua blanca puede también reducir el tiempo muerto de la máquina de papel causado por la necesidad de lavar las sustancias concentradas en el filtrado claro reciclado.

Plantas de referencia: fábrica de Metsä-Serla, Kirkniemi (producción de papel de revista y papel fino), Finlandia, Stora Uetersen, Alemania, fábrica de cartón de Rottneros, Suecia, McKinley Paper Co. (linerboard), Nuevo México.

Bibliografía:

[Teppler, 1996], [Bentley, 1999]

6.3.4 Reducción de las pérdidas de fibras y cargas

Se aplica a todas las calidades excepto papel tisú. Para papel tisú, la recuperación de cargas o finos no tiene relevancia, ya que no pueden usarse en el papel tisú y por lo tanto se eliminan en la preparación de la pasta.

La Sección 6.3.5 también contribuye significativamente a la reducción de materiales valiosos para calidades de papel estucado.

Descripción de la técnica: la gestión de residuos, en términos de recuperación eficaz de fibras dentro de la producción de papel o cartón, es importante, ya que en el proceso de fibra virgen normalmente más del 98% de la pasta alimentada a la preparación de pasta para la máquina de papel o cartón es aceptable para el producto final. Las fracciones de pasta química o mecánica usadas deberían, ya antes de la preparación de la pasta para la máquina de papel, garantizar esta alta calidad de la pasta. En las máquinas de pasta y papel, la gestión de residuos se concentra principalmente en:

- La depuración en la preparación de la pasta ,
- los recuperadores de la parte húmeda, y
- la manipulación de rotos de las partes húmeda y seca.

También están parcialmente relacionadas con la gestión de fibras, las medidas adoptadas para conseguir una reducción del consumo de agua y el cierre de los circuitos de agua. Mediante la mejora del cierre de los circuitos de agua, en la mayoría de casos se obtiene asimismo una reducción de los vertidos de compuestos orgánicos de la fábrica.

Los rechazos de la depuración de la preparación de pasta de la máquina de papel o cartón deben ser devueltos, en las fábricas integradas, al departamento de pastas, donde se realiza el reproceso para que la pasta buena vuelva a la máquina y pase al producto final. Una depuración eficaz antes de la máquina consiste en depuradores presurizados en cascada y varias etapas de ciclones.

La recuperación de fibras y cargas en las máquinas de papel y cartón tiene importancia en términos de reducción de los sólidos en suspensión.

Cuando la pasta es descargada de la caja de entrada de la máquina a la tela y comienza a formar la hoja de papel continuo, una cantidad considerable de fibras y cargas no es retenida la primera vez, sino que son descargadas a los fosos de recogida, bajo la máquina (ver Figura 6.1). El agua del circuito corto se recicla sin tratar. El resto de estas aguas pasan a través de un recuperador, normalmente un filtro de tambor o de discos o una unidad de flotación por aire disuelto, para separar los sólidos de la corriente de agua. Estos sólidos son luego recogidos en un recipiente y se reciclan a la alimentación de la máquina de papel. El agua clarificada, denominada agua blanca, se recoge normalmente en forma de fracciones limpia y turbia y se recicla a los usos apropiados en la máquina de papel: dilución de la pasta en la preparación de pasta de la máquina, dilución de rotos, rociadores de la máquina de papel. En fábricas integradas, el exceso de agua blanca se suele utilizar en el proceso de desintegración de la pasta o, si es aceptable, en las máquinas de papel, o cartón paralelas, pero en las fábricas no integradas se evacúa a la alcantarilla.

Para la recuperación de fibras y cargas de la máquina de papel con un recuperador, el filtro de discos es, en la mayoría de casos, una solución eficaz para conseguir una alta recuperación. En especial, las unidades de pre-estucado, que utilizan una pequeña cantidad de alimentación de pasta de la máquina de papel en la superficie del filtro para mejorar la eficacia de filtrado y la recuperación de sólidos, se utilizan con frecuencia en fábricas modernas. El filtro funciona de forma discontinua, pero la eliminación de sólidos y la regeneración aplicando el pre-estucado sólo requieren un tiempo corto.

El filtro de disco permite un fraccionamiento eficaz del agua blanca en partes limpia y turbia; en fábricas de ciclo cerrado puede incluso separarse una fracción superlimpia para usos específicos. El filtrado superclaro de un filtro de disco puede tener 10-20 mg/l de sólidos en suspensión, y el filtrado claro 20-50 mg/l de sólidos, en comparación con más de 50 mg/l de los filtros convencionales. El filtrado claro puede usarse en muchas aplicaciones de rociadores en la parte húmeda de la máquina, así como para agua de corte. El filtrado turbio y el resto de la porción limpia pueden usarse en la dilución de la pasta antes de la máquina de papel, en el denominado circuito corto, o en la dilución de las roturas de la máquina, y en fábricas integradas en el proceso de pulpaje. Así, dependiendo de la situación antes de aplicar medidas de mejora, se devuelven a la

máquina 10-20 kg/ADt más de pasta (y adicionalmente cargas, cuando sea aplicable), en lugar de su desecho con el exceso de agua blanca.

En la máquina de papel, e incluso antes de la misma, hay también otros métodos disponibles para reducir las pérdidas de fibras y cargas:

- Ajuste del refinado y la depuración de la pasta, justo antes de la alimentación a la máquina de papel, para mantener un equilibrio apropiado de distintos tipos de fibras en la pasta. Un alto nivel de refinado aumenta la cantidad de fibras cortas que a su vez puede ser eliminadas como rechazo en la depuración. En fábricas integradas, determinadas fracciones de rechazos de la depuración pueden ser recicladas al departamento de desintegración de pastas.
- Control eficaz de la caja de entrada a la máquina de papel para producir una hoja de papel continuo uniforme en todo el ancho de la máquina.
- Uso suficiente de aditivos químicos para el papel y de aditivos de proceso, junto con un moderno sistema de control para conseguir una mejor retención de las fibras en la tela y una buena formación del papel. No obstante, deben evitarse las dosificaciones excesivas.

La capacidad de almacenamiento de rotos y de agua blanca tiene también efecto en la gestión de sólidos y la conservación de agua. Los tamaños de los depósitos deben permitir el almacenaje de al menos 2-3 horas de flujo de materia a la máquina, con el fin de recuperar las fracciones con un elevado contenido de fibras. Esto reduce la frecuencia y longitud de las descargas repentinas hidráulicas o de fibras a la cloaca de la fábrica. En las máquinas de papel que producen calidades estucadas, los rotos recogidos después de la máquina de estucado deben mezclarse con pasta fresca y rotos de la parte húmeda en una proporción tal que permita mantener controlada la cantidad de materia sólida fina en la parte húmeda de la máquina.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnicas integradas en el proceso. Las mejoras detalladas pueden aplicarse en fábricas existentes y nuevas. No obstante, en fábricas antiguas, las áreas de la máquina de papel tienen más limitaciones para remodelaciones, debido a problemas de espacio o de configuración.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las pérdidas totales de sólidos de una máquina de papel, de los rechazos de la preparación de pasta para la máquina de papel, sección de prensa de la máquina de papel y rebosamientos de los tanques de pasta son del orden de 10-100 kg de materia seca/ADt. Las fábricas con un mejor comportamiento alcanzan 10-20 kg/ADT (es decir, una pérdida del 1-2 %) para muchas calidades de papel. Algunas líneas existentes de liner, fluting o papel especial superan los 50 kg de materia seca/ADt.

Cuando se realiza en una fábrica existente con una producción de 1000 ADt/d de calidades para impresión, una recuperación de 10-20 kg/ADt de sólidos significa que esta carga de sólidos no pasa al tratamiento primario de efluentes y al desecho del lodo de efluentes.

La reducción en la descarga de sólidos reduce sólo ligeramente la carga orgánica medida como DQO o DBO₅. No obstante, se obtiene una mayor captura de DQO y DBO₅ en los efluentes de la producción de calidades de papel que contienen pastas de alto rendimiento.

Monitorización de emisiones: la monitorización de los niveles de los recipientes de agua blanca y de roturas es importante. Las alcantarillas de efluentes equipadas con indicación de caudal y niveles de turbidez permiten registrar los aumentos repentinos en el vertido de sólidos.

Efectos sobre otros medios: debido a la baja descarga de sólidos en suspensión, el funcionamiento del tratamiento externo de efluentes mejora. Se produce menos lodo del tratamiento primario. Las fibras y cargas se utilizan para el producto y no deben manipularse como residuo. Cuando las fibras y cargas se recuperan en gran medida, hay que tener también en cuenta que se salvan las materias primas y la energía que fueron necesarias para producir estas materias.

Experiencias operativas: estas medidas se aplican en muchas fábricas de papel sin problemas. Generalmente, hay dos medios a considerar: buenos procesos unitarios y una mayor precisión en el control de proceso y la monitorización de las operaciones mediante su automatización.

Economía: no hay datos disponibles.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la mejora en la recuperación de pasta es normalmente beneficiosa desde el punto de vista económico, debido al mejor aprovechamiento de las materias primas y a la reducción de residuos para desecho. La carga reducida de sólidos al tratamiento externo y la minimización del vertido de sólidos en suspensión al medio receptor pueden también ser una motivación para la aplicación de las medidas descritas de recuperación de fibras o prevención de vertidos.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa.

Bibliografía:
[CEPI, 1998b]

6.3.5 Recuperación y reciclaje de efluentes que contienen salsa de estucado

Esta medida puede aplicarse alternativamente a la MTD descrita en 6.3.6. La tecnología de membranas es la que se aplica preferiblemente, ya que ofrece la opción de reutilización de los agentes de estucado.

Descripción de la técnica: las fábricas de papel que producen calidades de papel estucado generan un caudal de aguas residuales hidráulicamente bajo (alrededor del 2 - 5% del caudal total) que, no obstante, es rico en pigmentos y adhesivos (ver 6.3.6). La elevada carga de sólidos y de componentes de naturaleza pegajosa en estas aguas residuales causan problemas en el tratamiento externo de efluentes, si se vierten a la alcantarilla sin un tratamiento previo apropiado. Por otra parte, los pigmentos son caros, por lo que la recuperación de una parte de la salsa de estucado para su reaplicación y minimización de la cocina de estucado es rentable.

La gestión ecológica de corrientes de residuos de estucado incluye:

- Vertido mínimo de salsa de estucado a la alcantarilla mediante una producción eficaz y un óptimo inventario de la salsa de estucado preparados, especialmente cuando los cambios en las calidades de papel requieran un cambio en la composición de la salsa de estucado. Son factores importantes disponer de rutinas de trabajo eficientes y de un buen gobierno.
- Óptimo diseño de la cocina de salsa de estucado y de los sistemas de suministro.
- Recuperación de agentes de estucado mediante ultrafiltración del agua residual de estucado.

La ultrafiltración es un método por el que el agua y los agentes químicos se separan mediante una membrana semipermeable. Los poros de la membrana son tan pequeños que sólo dejan pasar moléculas diminutas como agua, iones metálicos, sales y monómeros del almidón, mientras que los otros componentes de la salsa de estucado – pigmentos y ligantes – son demasiado grandes para pasar (ver Figura 6.11). El efluente alimentado al proceso es normalmente del 2 -4 % y el concentrado del 30 - 35 %. Añadido a la salsa de estucado fresca, no se diluye demasiado. Como se muestra en la Figura 6.13, un sistema de ultrafiltración completo incluye el filtro, los tanques necesarios, conducciones, instrumentos de medición y sistema de control.

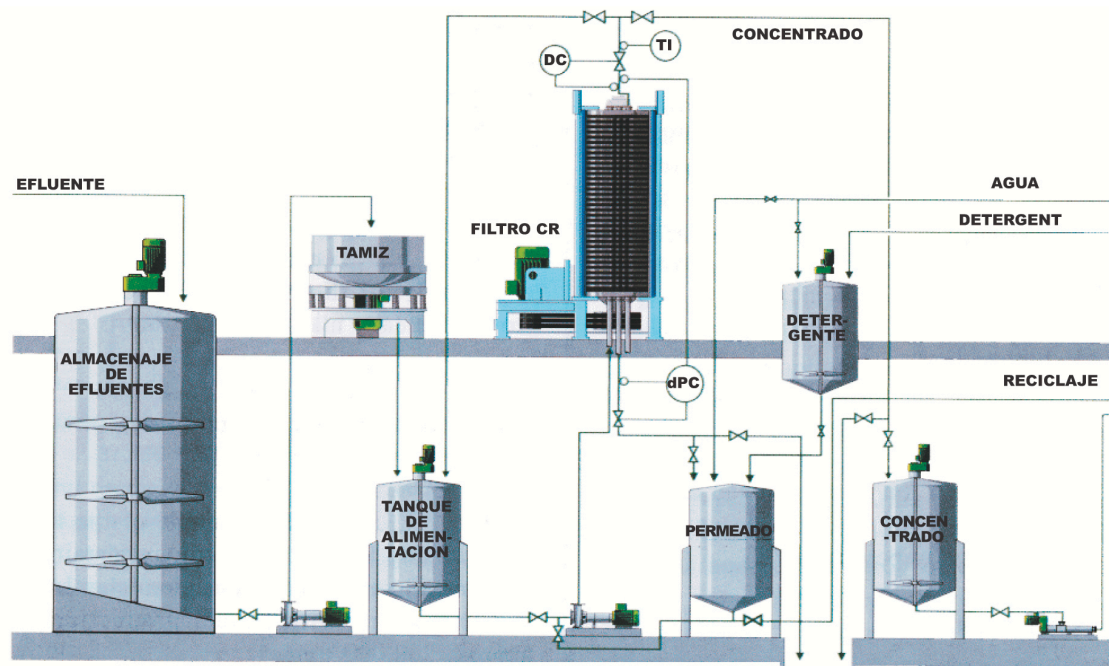


Figura 6.13: Ejemplo de un sistema de recuperación por ultrafiltración para colores de estucado [Roitto, 1997]

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la gestión de vertidos mínimos de salsa de estucado y la recogida separada de los efluentes de estucado para su tratamiento separado mediante ultrafiltración puede aplicarse en fábricas nuevas y existentes. La ultrafiltración es técnicamente adecuada para la mayoría de fábricas con estucado que fabrican papel para revistas, papel fino o calidades de cartón. Puede ser inadecuada para algunas calidades de papel especial. Si los efluentes son muy pequeños y producidos en diversos puntos, puede ser difícil crear un buen sistema de recuperación de efluentes. En las "fábricas verdes" este problema no se da. Si las calidades de los agentes de estucado son totalmente inadecuadas para ser mezcladas (es decir, un gran número de calidades distintas en una planta), la reutilización puede ser limitada. La concentración de sólidos alcanzable está limitada a un 35 - 45%. Si no hay exceso de agua en la formulación de la salsa de estucado, puede ser difícil reutilizar todo el concentrado. También pueden producirse limitaciones cuando la cantidad de efluentes es demasiado elevada.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: las emisiones al agua y la cantidad de residuos se reducen notablemente. Los agentes de estucado no sólo pueden ser recuperados, sino también reciclados a la producción. Hay también una cierta reducción del consumo de agua, ya que el permeado puede reutilizarse.

Monitorización de emisiones: la medición en línea de los caudales de aguas residuales en puntos críticos es beneficiosa. Además, se requiere un seguimiento de la calidad de los agentes de estucado mediante análisis en laboratorio del contenido de sólidos, DBO₅ y DQO.

Efectos sobre otros medios: la reducción de la descarga de aguas residuales de estucado con tratamiento separado de dichas aguas residuales mejora la eficacia del tratamiento externo de efluentes. Según la relación de estucado / papel producida, la cantidad de residuos sólidos puede reducirse en un 70%. Esto significa considerables ahorros, según el coste de desecho en vertedero.

Experiencias operativas: la aplicación de la ultrafiltración ha demostrado tener éxito en muchas fábricas. No se han reportado efectos negativos en la calidad del papel fino y del papel artístico al utilizar pre-estucado con concentrado. En las fábricas de papel de revista pueden usarse pequeñas cantidades de concentrado de UF sin merma de la calidad. En una fábrica de cartón, la salsa de

estucado recuperado se utiliza para estucado del reverso. La cantidad de concentrado debe ser constante. Asimismo, las bacterias y la higiene son aspectos importantes a considerar. La vida útil de la membrana puede ser superior a un año. La secuencia de lavado típica es una vez por semana, creando un residuo líquido de unos 2 - 5 m³. Por ejemplo, se han conseguido buenos resultados con membranas de polímeros que utilizan el principio de flujo cruzado (filtro CR).

Economía: Una pequeña unidad de ultrafiltración puede manejar 2000 l/h de efluente a un 2% de sólidos. Este tipo de sistema es viable para una fábrica que utilice 10 - 50 toneladas diarias de salsa de estucado. Las inversiones ascienden a unos 0.2 - 0.3 MEuros para una fábrica de este tamaño. Pueden obtenerse importantes ahorros (costes de desecho en vertedero, ahorro de costosas salsas de estucado) reciclando los agentes de estucado. En algunos casos, el valor de los agentes químicos recuperados y los costes reducidos de desecho pueden dar un periodo de amortización de 1 - 2 años. Se reportó otro ejemplo: El coste de inversión para un proceso capaz de manejar 200-400 m³/d de efluente de estucado cuesta unos 0,5-1,5 MEuros.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: estas técnicas se requieren para reducir los vertidos de sólidos en suspensión de la fábrica y mejorar la operatividad del tratamiento externo de efluentes. Se considera la opción preferida si se compara con la Sección 6.3.6. El factor clave para la aplicación de la UF es la reducción de los costes de desecho y ahorro en materias primas y costosas salsas de estucado. Por consiguiente, es crucial para la aplicabilidad de esta técnica que las salsas de estucado recuperados se reutilicen.

Plantas de referencia: fábrica de cartón Blendecques, Francia; fábrica de cartón Assi Frövifors, Suecia; fábrica de cartón Cascades Djupafors, Suecia; fábrica de cartón Hansol Taejon, Corea del Sur; fábrica de papel fino Yuen Foong Yu, Taiwan; fábrica de papel LWC/MWC/fino Metsä-Serla Kirkniemi, Finlandia; fábrica de papel artístico Metsä-Serla Äänekoski, Finlandia; Enso Fine papers, Oulu, Finlandia; APP Pindo Deli, fábrica de papel fino, Indonesia; MD Papier Plattling, fábrica de papel LWC, Alemania; SCA Fine Paper Stockstadt, Alemania; fábrica de cartón Zhuhai S.E.Z Hongta Renheng, China.

Bibliografía:

[Roitto, 1997], [Nygard, 1997]

6.3.6 Pretratamiento separado de las aguas residuales de estucado

Esta medida puede aplicarse alternativamente a la MTD de la Sección 6.3.5. La tecnología de membrana debe ser la primera opción, ya que ofrece la posibilidad de reutilización de los agentes de estucado.

Descripción de la técnica: los agentes de estucado incluyen varios grupos y tipos, en los que los pigmentos y ligantes son los dos principales elementos.

Las descargas de salsas de estucado puede dividirse en dos tipos principales de aguas residuales:

- Salsa de estucado sobrante sin diluir (alrededor de un 50 -70 % de materia seca) de la cocina de estucado y de la estación de estucado. En caso de cambios de producto y durante las roturas, el sistema debe ser lavado (dispersador, recipientes, bombas, conducciones y estación de estucado). Además, a veces no se utilizan completamente todas las salsas de estucado, y el resto se limpia también por lavado. La descarga concentrada puede recogerse en tanques o recipientes móviles para desecho del residuo sólido.
- Componentes de estucado diluidos del agua de lavado de tanques, etc.
El contenido de materia seca del efluente de dilución es normalmente del 2 -4 %. Si se descarga a la planta de tratamiento, ésta deberá hacer frente a elevadas cargas orgánicas (valores de DQO > 10000 mg/l y hasta 100000 mg/l). Los vertidos diluidos

se recogen en tanques y son sometidos a tratamiento previo antes de su descarga la planta externa de tratamiento de aguas residuales.

Si las aguas residuales no son tratadas antes del tratamiento biológico, pueden tener efectos adversos en la planta de tratamiento de aguas residuales, causando dificultades en la clarificación primaria y en las fases biológicas.

Un esquema típico de pretratamiento es el siguiente:

Las aguas residuales se recogen en un balsa de homogeneización. Las aguas residuales son tamizadas con un tamiz progresivo y se bombean a la precipitación química. Los agentes químicos se agregan en una unidad de mezcla rápida. Como agentes de precipitación se utilizan sulfato de aluminio y policloruros de aluminio. Como ayuda de floculación se utiliza polielectrolito, que se dosifica a los tanques de floculación. El agua residual floculada fluye a un clarificador de láminas en el que los sólidos en suspensión sedimentan en el fondo del clarificador, y el rebose claro se descarga al canal de aguas residuales para su tratamiento ulterior. El lodo del fondo del clarificador se recoge en un tanque de lodo, y desde ahí se bombea a una centrífuga para su deshidratación. El lodo deshidratado a una concentración del 30-40 % se transporta a un vertedero.

No obstante, en una fábrica, las salsas de estucado precipitados son deshidratadas por centrifugado y se reutilizan como salsa en pre-estucado. Esta opción requiere mucho trabajo de desarrollo.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: el pretratamiento de aguas residuales de estucado puede aplicarse en fábricas nuevas y existentes. No obstante, en fábricas existentes, los arreglos para la recogida y reenvío de las aguas residuales pueden ser más complicados y caros. Una nueva instalación preferirá probablemente la ultrafiltración de las aguas residuales de estucado, ya que normalmente ofrece un periodo de amortización corto.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los principales logros son ventajas operativas, especialmente en la planta de tratamiento de aguas residuales. La carga total de sólidos en suspensión (SST) a la EDAR se reduce, y también pueden minimizarse los vertidos accidentales (cargas repentinas de SS) a la planta de tratamiento. Las alteraciones del clarificador primario pueden reducirse, ya que hay menos perturbaciones repentinas en la sedimentación de los SST o aumentos en el par de torsión del mecanismo de impulsión del clarificador. El riesgo de sobrecarga del clarificador también se reduce. Las alteraciones del sistema biológico se reducen, ya que la materia inerte (ej: partículas de pigmentos) del efluente de estucado no se arrastra y acumula con la masa activa del proceso de tratamiento biológico. Así, la carga medioambiental se reduce. El filtrado claro del tratamiento de efluentes de salsa de estucado puede reutilizarse en otras partes de la fábrica de papel, por ejemplo para la dilución de los rotos estucados o sin estucar. No obstante, las corrientes de aguas residuales son sólo controladas y concentradas, pero los residuos permanecen. Por consiguiente, la técnica de la Sección 6.3.5 se considera la opción preferible.

Monitorización de emisiones: la monitorización se discute en un capítulo separado.

Efectos sobre otros medios: la separación de los agentes de estucado del tratamiento biológico de aguas residuales puede tener un efecto positivo en el tratamiento ulterior del lodo biológico. Es más fácil quemar el lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que un pretratamiento de las aguas residuales de estucado reduce el contenido de ceniza de las corrientes principales de lodo.

No obstante, en comparación con la ultrafiltración de la salsa de estucado (ver 6.3.5), siguen produciéndose residuos, ya que la experiencia para reciclar los colores de estucado precipitados es todavía muy limitada. La floculación tiene como consecuencia un cierto aumento de las sales en el efluente.

Experiencias operativas: el proceso ha sido usado durante muchos años en fábricas de papel en Europa. No obstante, se han observado algunas dificultades en la deshidratación del lodo producido. Si el dispositivo de deshidratación no se escoge adecuadamente, puede haber problemas de desgaste.

Economía: la inversión para el tratamiento separado de las aguas residuales del estucado por floculación es de 1,2 – 1,4 MEuros para una producción de unos 1000 ADt/d. Los costes operativos anuales son de 75.000 – 150.000 Euros/año, excluidos costes de desecho en vertedero. Dado que el valor de los compuestos químicos se pierde cuando se desechan en vertedero, no hay posibilidad de amortización

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el motivo principal de aplicación de esta técnica es las dificultades en la planta de tratamiento externo de aguas residuales si no se aplica este pretratamiento. El elevado nivel de SST del agua residual de estucado puede alterar el funcionamiento del clarificador primario y del proceso biológico, y producir problemas de incineración del lodo.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa Occidental (Alemania, Austria, Francia, Suecia y Finlandia).

Bibliografía:
[CEPI, 1998 b]

6.3.7 Medidas para reducir la frecuencia y los efectos de los vertidos accidentales

Descripción de la técnica: en una máquina de papel o cartón, la finalidad es mantener largas tiradas ininterrumpidas de la hoja de papel continuo a través de la máquina para obtener el producto final. Es probable que haya variaciones en el funcionamiento de la máquina o en la calidad de la pasta durante el funcionamiento, y dentro de un límite se mantienen bajo control, aunque en los peores casos producen roturas del papel y pérdidas de producción. Además, las máquinas requieren mantenimiento, gran parte del cual no puede hacerse con la máquina en funcionamiento, lo que requiere más paradas cortas y arranques. Si la máquina produce una variedad de calidades de papel, la cosa es todavía más complicada, ya que se requieren paradas para cambiar de una calidad a otra.

Los vertidos accidentales ocurren normalmente debido a:

- Trastornos operativos de la máquina de papel.
- Paradas programadas por mantenimiento y arranques.
- Una mala gestión de los tanques de agua blanca o de los depósitos de rotos de la máquina en la parte húmeda o seca de la máquina, o en el estucado fuera de máquina.

Con una mayor automatización de la máquina de papel, la monitorización en línea de la hoja de papel y los parámetros de la máquina se ha hecho rápida y más precisa. Esto permite graduar mejor y optimizar según las necesidades la descarga de pasta de la caja de entrada, la velocidad de los rodillos de la máquina mediante motores de velocidad variable, y la cantidad de vapor usada para el secado. Gracias a ello, la calidad del papel mejora, y si los controles están adecuadamente diseñados y conectados para tener efecto colectivo, el número de roturas de la máquina disminuye. Por otra parte, en la producción de calidades altas, las operaciones de refinado y depuración deben cumplir normas más exigentes, ya que se permiten menos variaciones de calidad en la hoja de papel continuo.

El elemento más importante para mantener las descargas accidentales al mínimo es el dimensionamiento adecuado de los depósitos de agua blanca y rotos. Por regla general, los depósitos de rotos deben tener suficiente volumen para almacenar al menos 3 horas de pasta a la producción nominal. De lo contrario, hay una mayor probabilidad de que se produzcan descargas significativas de agua y sólidos a la alcantarilla. La capacidad de almacenaje del agua blanca debe corresponder a este almacenaje de rotos, de modo que no se requiera agua fresca durante las roturas de la hoja o cuando los rotos se devuelvan a la máquina. En máquinas de papel que producen calidades estucadas, la devolución de los rotos recogidos de las estucadoras en máquina o fuera de máquina debe controlarse cuidadosamente. Esto es debido a que la proporción de rotos estucados debe estar por debajo de un límite específico de cada caso para lograr una mezcla adecuada de pasta fresca y distintos rotos, evitando con ello problemas en la parte húmeda de la máquina. El volumen de almacenaje de rotos estucados debe poder atender esta demanda. Debe aplicarse un control del nivel de los tanques de agua blanca según las existencias de rotos, de pasta y el plan de producción.

En las fábricas que cambian las calidades de papel frecuentemente, el control de los tanques es más difícil, ya que las existencias se mantienen con frecuencia bajas con el fin de minimizar las pérdidas de las limpiezas y cambios de calidades. Por este motivo, también las características de la alimentación de la máquina deben controlarse de forma más precisa, de modo que la cantidad de rotos se mantenga baja. En fábricas con muchas máquinas de papel estas pérdidas pueden reducirse si otra máquina puede utilizar este material.

Con el fin de proteger la estación de tratamiento de aguas residuales (EDAR), y simultáneamente el medio ambiente, podría considerarse la aplicación de una balsa de homogeneización (balsa de retención). En caso de vertidos accidentales, las aguas residuales pueden enviarse a esta balsa. De ahí pueden descargarse a la EDAR de forma controlada.

Las medidas para evitar descargas accidentales de la manipulación y almacenaje de productos químicos son las siguientes:

- Diseño y operación de las instalaciones de modo que las sustancias peligrosas no puedan escapar.
- Detección rápida y fiable de fugas en todas las partes de la instalación que entren en contacto con sustancias peligrosas. Prevención de escapes y fugas, así como vertido apropiado. Si no tienen paredes dobles ni están provistas de indicador de fugas, las instalaciones deberán estar equipadas con un sistema o dispositivo de recogida con un diseño hermético y duradero. Las cámaras de recogida pueden no tener aberturas de descarga.
- Las instrucciones operativas, como monitorización, mantenimiento y planes de alarma, deben estar especificadas y observarse.
- La planta de tratamiento de aguas residuales es el punto más crucial para vertidos accidentales. Un requisito esencial es que la planta de tratamiento tenga un buen funcionamiento y haya una buena comunicación entre los empleados de las unidades de producción y los de la unidad de tratamiento de aguas residuales. En caso de un vertido accidental, esta última puede tomar las medidas apropiadas para proteger la planta de tratamiento.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: el control de las descargas accidentales es de importancia primordial en la máquina de papel y puede aplicarse en fábricas existentes y nuevas. No obstante, pueden surgir problemas en las fábricas existentes si no disponen de suficiente espacio para ampliar el almacenaje de agua o de pasta.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: estas medidas reducen la frecuencia de los picos de descargas hidráulicas o de sólidos de la máquina de papel.

Monitorización de emisiones: la monitorización en línea del caudal de efluentes enviado a la alcantarilla, así como el control en laboratorio de los sólidos en suspensión y disueltos, pH, temperatura y contenido orgánico como DBO₅ o DQO de las corrientes evacuadas en la alcantarilla, y ocasionalmente de algunas corrientes recicladas. También puede usarse un medidor en línea de sólidos en suspensión o de turbidez.

Efectos sobre otros medios: el desarrollo de una gestión eficaz de los depósitos de pasta y agua blanca ha producido mejoras en la economía de producción y la reducción de vertidos accidentales. No hay otros efectos significativos.

Experiencias operativas: el mayor nivel de automatización ha demostrado ser eficaz para aumentar el control de los vertidos accidentales, aunque el motivo principal de su aplicación es normalmente la mejora de la operatividad de la máquina y, en la mayoría de los casos, el aumento de la capacidad. La creación de modelos estáticos, y actualmente dinámicos, ha aportado una mejor comprensión en muchas fábricas para un control avanzado de las operaciones de la máquina.

Economía: los costes de inversión para una torre adicional de agua blanca de 3.000 m³ y una torre de rotos sin estucar de 2.000 m³ estarían en torno a 1,0 – 1,2 MEuros. Si se precisara una segunda torre de rotos para rotos estucados, su coste con el equipo auxiliar necesario, conducciones y electrificación sería de 0,4 – 0,5 MEuros. Estas inversiones corresponden a una producción de papel de 1.000 ADt/d.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: primero, estas medidas son para evitar que las descargas por perturbaciones de la máquina de papel entren en la alcantarilla de la fábrica, así como para mantener más estable la carga al tratamiento externo de aguas residuales. Segundo, la automatización del proceso, unida a un sistema sofisticado de existencias de agua blanca, pasta y rotos, mejora la operatividad de la máquina.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa.

6.3.8 Medición y automatización

Descripción de la técnica: para una alta eficacia en la fabricación de papel, es importante que el proceso sea estable y la calidad uniforme. Estas características son esenciales para una producción ecológica. La inestabilidad en la preparación de la pasta y en la parte húmeda causa roturas de la hoja de papel continuo y por lo tanto perturbaciones en los sistemas de agua. Las mediciones en línea y un exacto control de proceso son por consiguiente esenciales para una fabricación de papel eficaz. A continuación se detallan las principales áreas en las que la medición y la automatización aumentan tanto la calidad como la productividad y el comportamiento medioambiental:

- *Funcionamiento de los recuperadores:* las mediciones de sólidos en suspensión o de turbidez son importantes indicadores de picos cuando el objetivo es aprovechar al máximo el filtrado como agua en las duchas o regaderas. Con ello se evitan pérdidas innecesarias de fibras y se disminuye la carga sobre el tratamiento de aguas residuales. La medición y el control de la consistencia de la alimentación facilitan la optimización del funcionamiento del filtro.
- *Mezcla:* en la dosificación y mezcla de pasta espesa, las variaciones en la consistencia y la calidad de la fibra (ej: desgote, longitud de las fibras, contenido de ceniza) se estabilizan con el fin de evitar variaciones de calidad en la máquina de papel.
- *Refino:* la estrategia de control de refino requiere al menos mediciones precisas de caudal y consistencia. Para un resultado óptimo del control de refino, se necesitan mediciones de la calidad de la pasta como desgote y longitud de las fibras.
- *Gestión en la parte húmeda:* la información sobre los sólidos totales en la caja de entrada y en el agua blanca proporciona una indicación temprana de posibles problemas en la química de la parte húmeda. Un control auxiliar de retención automática, cuyo objetivo es retener una

cantidad uniforme de finos y cargas en la hoja de papel continuo, se basa en la medición en línea de la consistencia de fibras y cargas en la circulación corta. El uso de un control de consistencia del agua blanca ha aumentado drásticamente la estabilidad de las operaciones de la parte húmeda, reduciendo el número de roturas en la parte húmeda. Además de la variación de consistencia en la circulación corta, las variaciones en la materia disuelta y coloidal que entra son una fuente importante de problemas en la operatividad y optimización de la máquina de papel. La demanda catiónica se mide en el agua blanca y sirve para controlar las sustancias perjudiciales. Mientras el control de retención actúa controlando la floculación, el control de carga añade estabilidad, controlando la coagulación.

Aplicabilidad: las mediciones y controles arriba indicados pueden aplicarse en fábricas pequeñas y grandes. Los mayores beneficios se consiguen en la producción de productos finales de alta calidad.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: es difícil cuantificar los beneficios medioambientales conseguidos, ya que dependen de las características de la instalación, el grado de productividad antes de la mejora, las calidades de papel fabricadas, etc. La gestión del agua se ve facilitada, y se reduce la carga de contaminación al tratamiento de aguas residuales, así como la pérdida de material (desechos).

Efectos sobre otros medios: no se conocen efectos negativos sobre otros medios. El aumento de la productividad y la reducción de roturas o pérdidas mediante el uso de un mejor control y automatización del proceso sólo tienen efectos positivos en el entorno. Menos perturbaciones en los sistemas de agua, menos consumo de energía y menos residuos son el resultado de estas medidas.

Experiencias operativas: la medición y automatización han sido aplicadas en muchas fábricas existentes para aumentar la eficacia sin problemas, y es una parte integrante con un mayor desarrollo en fábricas nuevas.

Economía: desde el punto de vista económico, el objetivo es mejorar la rentabilidad de la fabricación de papel. La eliminación de una parada por rotura de 7 minutos a la semana produce un aumento del 0,5% en el tiempo productivo, lo que en una fábrica de 300 toneladas al día aumenta la producción diaria en 1,5 toneladas. Si el coste neto de la producción perdida es de 500 USD por tonelada, los ahorros debidos a una mejor estabilidad serían de más de 260.000 USD al año. Además, se ahorra la energía que se desperdicia durante la parada, por ejemplo en los secadores y en el bombeo.

Una retención elevada y uniforme significa también ahorros en la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta de tratamiento de aguas residuales no necesita estar sobredimensionada para picos si se consigue una carga de aguas residuales más uniforme con un control de retención más uniforme.

Frente a estos ahorros, hay que tener en consideración los costes de inversión y explotación del equipo. El periodo de amortización del sistema de mediciones y control es normalmente de menos de un año. Después de una formación apropiada, los operarios de la fábrica pueden utilizar el sistema. El personal de mantenimiento e instrumentación de la fábrica puede encargarse del trabajo de mantenimiento necesario.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: la medición y automatización se aplica principalmente por motivos económicos y para conseguir una mayor calidad del papel. Produce ahorros en la producción de papel (ej: permite cambios más rápidos de calidades, arranques más rápidos, una recuperación más rápida tras la rotura de la hoja), menores costes de producción (ej: gracias a la optimización de componentes, uso eficaz de aditivos, menor consumo de energía) y una superior calidad del papel (ej: mediante una menor variación en la dirección transversal (CD) /

en la dirección de la máquina (MD), optimización de la deshidratación, formación, etc.). La optimización de la deshidratación, para una determinada máquina, se consigue mediante una adecuada preparación de la pasta y una buena gestión de la parte húmeda (ej: control del refino y control de aditivos químicos). Además facilita la fabricación de una amplia gama de calidades de papel.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía:

[Nokelainen, 1995], [Nokelainen, 1997]

6.3.9 Instalación de una balsa de homogeneización y tratamiento primario de aguas residuales

Descripción de la técnica: para la mayoría de fábricas de papel, esta medida no se considera como técnica independiente, sino como pretratamiento. El pretratamiento se realiza normalmente antes del tratamiento biológico con el fin de facilitar y mejorar el proceso de tratamiento. En algunos casos especiales, en los que la carga orgánica es demasiado baja para un tratamiento biológico eficaz, puede ser el único tratamiento de aguas residuales.

Los siguientes métodos son los más importantes:

- El tamizado grueso se realiza para eliminar los objetos más grandes y la arena, que pueden causar daños al equipo subsiguiente.
- Puede requerirse homogeneización y recogida de vertidos para efluentes con grandes variaciones en lo que respecta a caudal y contenido de contaminantes. Tales variaciones pueden alterar el funcionamiento de los procesos de tratamiento subsiguientes, particularmente los procesos biológicos. Un tiempo de retención de 4 horas en la balsa de homogeneización puede tomarse como una referencia para un diseño apropiado. No obstante, el tiempo de retención apropiado de la balsa de homogeneización depende de la fluctuación de la calidad del agua.
- El tratamiento primario o mecánico mediante la fuerza de la gravedad se realiza para la eliminación de sólidos en suspensión (SS), como fibras, partículas de corteza y partículas inorgánicas (cargas, partículas de cal, etc.). Se requiere un determinado tamaño mínimo de las partículas. Las partículas más finas sedimentan demasiado lentamente para un uso práctico o no sedimentan en absoluto. La sedimentación es el primer tipo de tratamiento aplicado en una fábrica de pasta y papel, o como pretratamiento antes de, por ejemplo, un proceso biológico. La flotación puede también utilizarse para clarificación primaria. Algunas fábricas pequeñas utilizan el tratamiento primario por filtración como único tratamiento de aguas residuales.

Las partículas que sedimentan en el fondo del clarificador primario forman un lodo que debe eliminarse. Esto se consigue mediante bombeo, en clarificadores circulares, en combinación con raspado del fondo. El lodo es normalmente bajo en contenido de materia seca (MS), aproximadamente un 1 – 2 %, y debe ser deshidratado antes de su desecho definitivo. En algunas fábricas, el lodo del clarificador primario se reutiliza en el proceso de producción, siempre que las propiedades del lodo sean las adecuadas.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica de final de línea (end of pipe). El proceso puede aplicarse en fábricas de papel existentes y nuevas. Hay que aplicar algún tipo de medidas de reducción del consumo de agua para reducir la carga hidráulica y con ello los costes de inversión de los clarificadores.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el resultado del tratamiento primario depende de las propiedades del efluente, pero también del grado de recuperación interna de fibras en la fábrica de pasta y papel. Para los sólidos en suspensión totales (SST), el índice de eliminación puede ser de un 60-90 %. Para sólidos sedimentables, la eliminación será normalmente mayor, aproximadamente de un 90- 95%.

Los valores de SST después de la sedimentación primaria pueden ser del orden de 30-200 mg/m³.

Monitorización de emisiones: la monitorización se discute en un capítulo separado.

Efectos sobre otros medios: la planta de tratamiento de efluentes produce lodo que, después de su deshidratación, debe ser tratado. Hay muchas distintas opciones para el tratamiento ulterior de este lodo, que en cierta medida son específicas de cada planta (ver Sección 6.3.14). Una opción es la incineración, que en algunos casos aporta un valor calorífico positivo.

Experiencias operativas: los clarificadores primarios de tipo gravitatorio han sido utilizados durante muchos años en todo tipo de fábricas de papel y cartón con buenos resultados.

Economía: el coste de inversión del tratamiento primario para una nueva planta integrada de papel, incluyendo bombeo, clarificador primario, deshidratación del lodo y sistemas de dosificación de aditivos químicos es de 3,5 – 4,5 MEuros. Los costes operativos dependen mucho del consumo de productos químicos requerido, siendo del orden de 0,4 – 0,6 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: el tratamiento primario se utiliza para reducir la carga de SST al medio receptor o tratamiento biológico.

Plantas de referencia: numerosas fábricas de papel en Europa para todo tipo de efluentes.

6.3.10 Tratamiento secundario o biológico – Métodos aerobios

Descripción de la técnica: para el tratamiento secundario, las alternativas básicas son el uso de sistemas biológicos aerobios o anaerobios / aerobios. No obstante, el tratamiento anaerobio está restringido a aguas residuales que contienen cargas elevadas de sustancias orgánicas biodegradables (por regla general, DQO \geq 2000 mg/l) para permitir la metanización. Por consiguiente, se aplica principalmente en fábricas que procesan fibras recicladas (ver Sección 5.3.5), especialmente en fábricas que fabrican papel o cartón para ondular.

Hay una amplia variedad de diseños para el tratamiento aerobio de efluentes de la fábrica de papel. Se utilizan sistemas de lodo activado, biofiltros aerobios sumergidos y filtros de goteo en aplicaciones de uno o varios pasos o en combinaciones entre sí, reactores discontinuos secuenciales, o contactores biológicos giratorios.

La Figura 6.14 muestra las principales tecnologías para el tratamiento biológico externo de las aguas residuales de las fábricas de papel y el rango de concentraciones de su aplicación correcta.

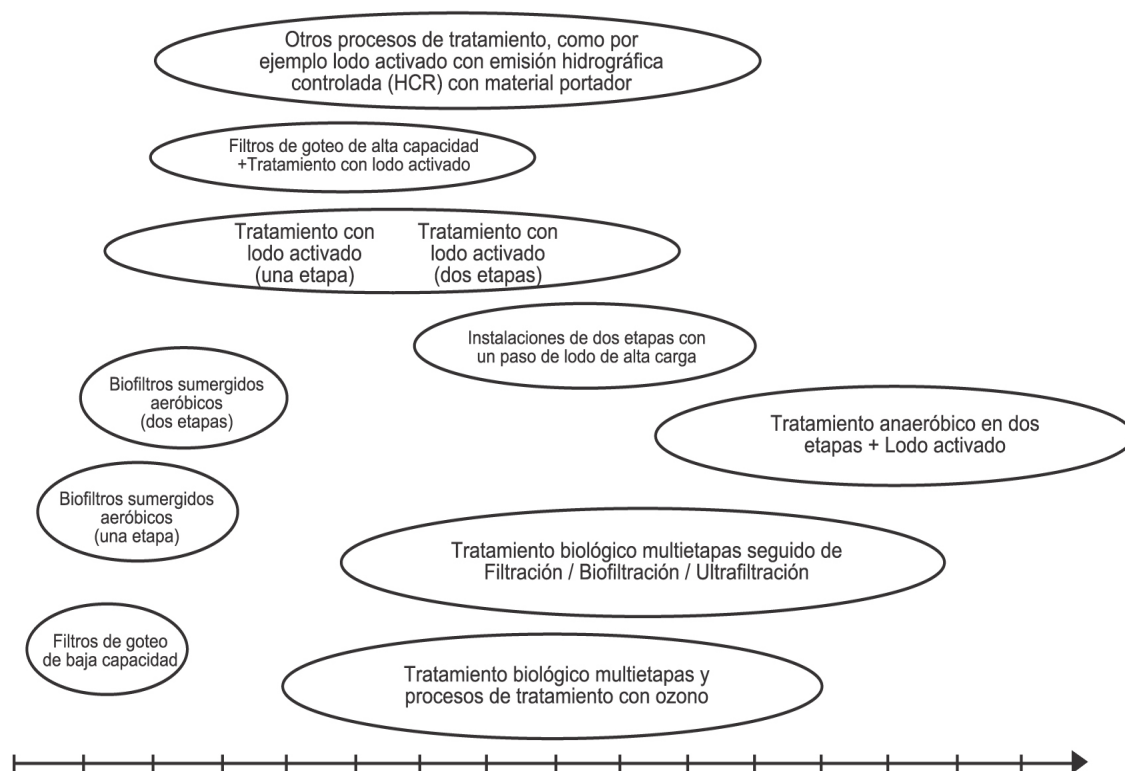


Figura 6.14: Principales procesos para el tratamiento externo de las aguas residuales de fábricas de papel y rangos de aplicación correcta. Los valores de concentración hacen referencia a concentraciones de entrada [Según Demel en PTS, 1998]; las zonas punteadas representan técnicas de tratamiento más recientes con menos aplicación en Europa. El tratamiento con ozono se considera todavía una técnica emergente (ver 5.5.1). Un sistema de lodo activado de dos etapas comprende dos balsas de aireación con dos sistemas separados de reciclaje de exceso de lodo

Es un buen principio general, disponer una cierta capacidad de reserva hidráulica intermedia para proteger la planta de tratamiento contra variaciones grandes (picos) de caudal o carga orgánica, que de otro modo pueden causar periodos de mal funcionamiento de la planta. La capacidad de reserva intermedia permite asimismo optimizar el tamaño de la planta en función del caudal medio.

En la Tabla 6.22 se ofrece un resumen de los sistemas de tratamiento biológico más importantes, su rango adecuado de aplicación, sus ventajas e inconvenientes y algunos comentarios adicionales.

Proceso	Aplicación (concentración de entrada de DBO)	Ventaja	Inconveniente	Comentarios
Biofiltros aerobios sumergidos (1 etapa)	20 - 100 mg/l	Proceso seguro; biomasa inmovilizada; baja concentración de SS en el efluente	Sensible a elevadas concentraciones de SS	
Biofiltros aerobios sumergidos (2 etapas)	100 - 300 mg/l (o más)			
Filtros de goteo de baja capacidad	< 100 mg/l	Construcción simple; bajo consumo de energía; enfriamiento de las aguas residuales	En algunos casos, riesgo de obstrucción; olor causado por desprendimiento de gas	
Filtros de goteo de alta capacidad + lodo activado	200 - 800 mg/l			
Lodo activado (una sola etapa)	100 - 1000 mg/l	Proceso convencional con una serie de variantes; muchas experiencias	Inconvenientes energéticos; exceso de lodo; problemas de volumen de lodo o de lodo flotante	
Lodo activado (dos etapas)				La separación de los circuitos de lodo es importante
Lodo activado (2 etapas con un paso de alta carga de lodo)	600 - 1200 mg/l	Propiedades mejoradas del lodo activado	Inconvenientes energéticos; Exceso de lodo	
Reactores de biofilm de lecho móvil (biomasa fija sobre material de soporte móvil)	300 -1500 mg/l	Biomasa fija; menores volúmenes de reactor; no se devuelve lodo; menos sensible a picos de carga	Exceso de lodo;	Ej: proceso Kaldness; permite un alto volumen de carga
Contactores biológicos giratorios (RBCs): Sistema de biofilm fijo / biodiscos	Se aplica como paso de eliminación en masa o para tratamiento avanzado	Rentable para fábricas pequeñas; baja demanda de energía (<0,3 kWh/kg DBO eliminado)	En muchos países europeos hay menos experiencias con RBDs	Aplicación con éxito en EE.UU. e Italia en la industria del papel
Lodo activado como Reactor Discontinuo secuencial (SBR)	100 - 1000 mg/l	Operación más flexible del proceso	Mayor esfuerzo de control de proceso; proceso discontinuo	

Tabla 6.22: Tratamiento biológico de aguas residuales de fábricas de papel; estudio [Según PTS, 1998, modificado por la EIPPCB]

El tratamiento biológico puede también combinarse con un tratamiento avanzado, como tratamiento con ozono o filtración por membranas, si hay que conseguir requisitos más estrictos. En Alemania, en 1999, se pusieron en funcionamiento dos sistemas que combinan el tratamiento biológico con ozonización y ultrafiltración para una reducción ulterior de la carga de DQO al medio receptor (ver Sección 5.5.1).

Para más información sobre tratamiento de aguas residuales, se hace referencia a los ejemplos que se dan a continuación y a los manuales respectivos sobre gestión de aguas residuales [ej: Metcalf&Eddy, 1991].

Aplicabilidad y caracterización de la medida: técnica de final de línea (end of pipe). El proceso puede aplicarse en fábricas de papel existentes y nuevas. En algunos casos especiales en los que la carga orgánica es demasiado baja para un tratamiento biológico eficaz, las fábricas de fibra virgen puede aplicar sólo tratamiento primario para cumplir las normas requeridas (ver Sección 6.3.9).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: en el tratamiento biológico de los efluentes de fabricación de papel, normalmente pueden alcanzarse fácilmente los siguientes rendimientos de reducción de carga:

- Lodo activado: 85 - 96 % para DBO₅; 75 - 90 % para DQO.
Estos rendimientos de eliminación se consiguen mediante sistemas de lodo activado de baja carga con una relación de nutrientes / masa entre 0,1 y 0,2 kg DBO/kg SST*d. En algunas aplicaciones se detecta también buenas eficacias de eliminación para plantas de alta carga.
- Filtro de goteo: 60 - 70 % para DBO₅; 50 - 60% para DQO.
- Reactores de biofilm de lecho móvil / reactores de soporte suspendido: 85 - 95+ % DBO₅; 80 - 90% DQO.
- Biofiltro sumergido: 60 - 80 % para DBO₅; 50 - 60% para DQO.

Hay que destacar que las eficacias de eliminación dependen hasta un cierto grado de la concentración entrante de contaminantes. Por otra parte, las concentraciones de sustancias orgánicas en las aguas residuales están regidas por las materias primas usadas, las calidades de papel producidas, el consumo específico de agua y las medidas integradas en el proceso aplicadas.

Las aguas residuales de las fábricas de papel pueden alcanzar valores después del tratamiento del orden de 50 - 150 mg DQO/l. Es razonable alcanzar niveles de DBO₅ por debajo de 25 mg DBO₅/l, alcanzando incluso valores de hasta 5 mg/l. La relación DQO/DBO de muestras filtradas de aguas residuales de la fábrica de papel después del tratamiento biológico está normalmente entre 4 y 7 u 8 (hasta 10). La carga vertida al medio receptor depende principalmente de la calidad de papel fabricada, las propiedades del producto a alcanzar, el caudal de agua por tonelada de producto, los aditivos químicos a aplicar y el diseño y funcionamiento del tratamiento de aguas residuales. Un adecuado diseño y mantenimiento de la planta de tratamiento es un prerequisite para un buen funcionamiento de los sistemas biológicos.

Monitorización de emisiones: normalmente se controlan DQO, DBO₅, SST, N y P, y AOX. Se recomiendan asimismo mediciones adicionales para controlar el sistema biológico, como por ejemplo contenido de O₂, índice volumétrico del lodo (SVI), caudal de agua y periódicamente un examen microscópico del lodo activado. Este último control esta adquiriendo cada vez mayor importancia.

Efectos sobre otros medios: durante el tratamiento aerobio de aguas residuales, se produce lodo que debe ser espesado y tratarse ulteriormente. Un valor típico para plantas de lodo activado de baja carga es del orden de 0,3 – 0,4 kg exceso de lodo/kg DBO₅ eliminado (como materia seca) generado durante el tratamiento.

En ocasiones se observan también valores ligeramente superiores. El tratamiento de una concentración baja de DBO en biofiltros sumergidos genera menos exceso de lodo: alrededor de 0,2 kg exceso de lodo/kg DBO₅ eliminado (como materia seca). Las plantas con carga elevada tienen una mayor generación específica de exceso de lodo.

Se requiere energía eléctrica para la aireación de la biomasa activa (lodo activado) y para las bombas.

El consumo específico de energía para la degradación / eliminación de 1 kg de DBO₅ es de 0,3 - 3 kWh. Depende principalmente de la cantidad específica de oxígeno requerida para la degradación de sustancias orgánicas y la carga diseñada del sistema de lodo activado. Los sistemas de lodo activado de alta carga requieren del orden de 0,3 – 0,5 kg O₂/DBO₅ eliminado. Los sistemas de baja carga requieren 1,5 – 2,0 kg O₂/DBO₅ eliminado. Por consiguiente, el tratamiento de lodo activado de alta carga consume alrededor de 0,5 kWh/kg DBO₅ eliminado, mientras que el lodo activado de alta carga consume unos 1,5 – 2,0 kWh/kg DBO₅ eliminado.

Si el sistema de baja carga está bien diseñado, puede alcanzarse un valor de < 1 kWh/kg DBO₅ eliminado [Möbius, 1997]. Este valor puede usarse también para comparar los costes operativos esperados de distintos sistemas de aguas residuales.

Normalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C : P : N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Normalmente se agrega fósforo en forma de ácido fosforoso, y nitrógeno en forma de urea. Parte de los nutrientes agregados se emitirán junto con el efluente tratado. Si el sistema está bien optimizado, puede alcanzarse una descarga de nutrientes de 1 mg tot-P/l y de menos de 10 mg N inorgánico/l (como valor medio diario).

Especialmente durante el periodo de verano, la planta de tratamiento de aguas residuales de las fábricas de papel puede emitir olores molestos. Si el tratamiento de aguas residuales está bien diseñado y controlado, los olores molestos pueden evitarse.

Experiencias operativas: el tratamiento biológico aerobio de los efluentes de fábricas de papel se ha utilizado con éxito durante más de 20 años.

Hay que controlar la tendencia al volumen excesivo de lodo en el tratamiento con lodo activado, aplicando las medidas apropiadas. Aparece generalmente cuando hay una perturbación en el sistema, causada por ejemplo por variaciones en la carga de contaminación, variaciones en el oxígeno disuelto en la balsa de lodo activado, falta o exceso de nitrógeno y fósforo o variación en la cantidad de lodo reciclado devuelto a la balsa de aireación.

El volumen excesivo del lodo es normalmente temporal. Un enfoque gradual puede ayudar a comprender el origen del mismo. Este enfoque puede incluir por ejemplo el control del diseño de la planta de tratamiento, el examen microscópico del lodo activado o la monitorización del agua residual entrante. En general, la monitorización es necesaria para poder averiguar las posibles causas de los problemas. En algunos casos parece que los ácidos carboxílicos bajos, como ácidos acéticos, eran la causa principal del crecimiento prevalente de bacterias filamentosas, que son las responsables del abultamiento del lodo. Las bacterias filamentosas pueden también aparecer cuando hay azufre presente en los efluentes.

Para calidades de papel cartón (ej: testliner o cartulina), la reutilización de (partes del) efluente tratado en el tratamiento biológico de aguas residuales, normalmente tras un tratamiento adicional mediante flotación o filtración con arena, es también una opción.

Economía: las siguientes cifras de costes de inversión para el tratamiento biológico son sólo para dar una indicación somera de la magnitud de los costes involucrados. Al comparar los costes de inversión sobre la base de la carga contaminante tratada (ej: kg de DQO), hay que tener cuenta que las plantas de tratamiento están a menudo sobredimensionadas en previsión de un posible aumento de producción en el futuro.

No obstante, se recopilan algunos ejemplos de sistemas de tratamiento en fábricas de papel francesas:

- Lodo activado para una fábrica de papel de impresión (producción de papel 200 t/d): 2 MEuros.
- Lodo activado para una fábrica de papel de impresión (producción de papel 300 t/d): 3 MEuros.
- Biofiltración para una fábrica de papel especial (producción de papel 130 t/d): 1,5 MEuros.
- Lodo activado para una fábrica de papel de impresión (producción de papel 260 t/d, correspondiente a 2,5 t DQO/día): 2 MEuros.
- Lodo activado para una fábrica de papel ondulado (producción de papel 100 t/d): 1,5 MEuros [todos los datos de CTP, Grenoble].

Los costes de inversión pueden resumirse como sigue:

Tratamiento con lodo activado: 300 - 600 Euros/kg DQO*día; Biofiltración: 500 Euros/kg DQO*día

El rango de costes de inversión depende sobre todo de la cantidad diaria de carga contaminante a tratar.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: muchos Estados miembros han establecido requisitos para los efluentes de fábricas de papel que consideran en general el tratamiento biológico como MTD a nivel del sector. En consecuencia, muchas fábricas de papel europeas se han visto obligadas a construir plantas de tratamiento biológico de aguas residuales u otros sistemas de tratamiento con eficacias comparables.

Plantas de referencia: hay numerosas plantas de tratamiento aerobio de aguas residuales en funcionamiento en fábricas de papel europeas.

Bibliografía: [Möbius, 1997 b], [Cost data from CTP, Grenoble], [PTS, 1998]

6.3.11 Precipitación química de las aguas residuales de las fábricas de papel

Esta técnica se considera como alternativa o técnica complementaria a la Sección 6.3.10 "tratamiento biológico aerobio" de las aguas residuales de las fábricas de papel. La precipitación química puede ser un complemento al tratamiento biológico, antes o después del mismo.

Descripción de la técnica: en algunos casos, la precipitación química como tratamiento secundario completo de las aguas residuales sin tratar de las fábricas de papel puede ser una opción para reducir las emisiones al agua. La precipitación química comporta la adición de productos químicos para modificar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, con el fin de facilitar su eliminación por sedimentación o flotación. Se han utilizado distintas sustancias como precipitantes. Las más comunes son sales de aluminio [$Al_2(SO_4)_3$ y $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$], cloruro férrico ($FeCl_3$), sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$), sulfato ferroso ($FeSO_4$) o cal ($Ca(OH)_2$). Para optimizar la floculación, se utilizan polielectrolitos en la fase de mezcla.

Las materias en suspensión y coloidales se separan por precipitación y filtración o clarificación subsiguiente, que incluye la eliminación de nitrógeno y fósforo. Mediante precipitación química es posible obtener un efluente claro, sustancialmente libre de materia en suspensión o en un estado coloidal.

Este tratamiento se aplica como tratamiento único o en combinación con tratamiento biológico. Este último se aplica cuando se supone que deben alcanzarse emisiones más bajas de sustancias orgánicas (medidas como DQO y/o DBO). La precipitación química desempeña un importante papel, especialmente cuando nitrógeno, fósforo y SST son objeto de preocupación en el tratamiento biológico, cuando el problema es el agotamiento del oxígeno y no la eutrofización.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: aplicable en fábricas nuevas y existentes. Medida de final de línea (end of pipe). Se aplica especialmente en fábricas pequeñas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la precipitación química, como tratamiento secundario completo de las aguas residuales sin tratar de fábricas de papel, se aplica principalmente para reducir los nutrientes, especialmente fósforo, SST y parte de la materia orgánica (partículas y compuestos coloidales). La Tabla 6.23 muestra los resultados de plantas suecas en las que se utiliza precipitación química como tratamiento único de las aguas residuales de fábricas de papel no integradas. En ocasiones, la precipitación química se aplica también en combinación con tratamiento biológico.

Se consiguen índices de reducción de alrededor del 97-99 % para SST y del 70 % para DQO con referencia al efluente crudo (antes de cualquier tratamiento, es decir, antes del clarificador

Fábricas	DQO antes de cualquier tratamiento [kg/t]	DQO después del tratamiento		SST		Tot-P		Tot-N	
		kg/t	mg/l	kg/t	mg/l	g/t	mg/l	g/t	mg/l
Klippans, papel fino	n/a.	6,4	120	0,7	13	2	0,04	200	3,7
Hafreström, papel fino	n/a.	4,3	270	0,75	47	5	0,31	70	4,4
Silverdalen, papel fino estucado ²⁾	n/a.	0,7	100	0,11	16	1	0,14	50	7,1
Grycksbo, papel fino estucado ¹⁾	n/a.	1,0	100	0,27	27	1	0,10	40	4,0
Skapafors, papel tisú	n/a.	3,7	110	0,48	15	1	0,30	430	1,3
Nättraby, papel tisú ⁴⁾	8 ³⁾	2,5	170	0,16	11	2	0,13	30	2,0
Langsjönas, papel tisú	12 ³⁾	3,7	190	0,18	9	2	0,10	120	6,0
Pauliström, papel tisú	5 ³⁾	1,4	140	0,07	7	1	0,10	10	1,0
Notas 1) Grycksbo utiliza precipitación química + tratamiento biológico en un sistema de lecho móvil 2) La fábrica de Silverdalen tiene una laguna aireada antes de la precipitación química 3) La DQO antes de cualquier tratamiento incluye la DQO del total de sólidos en suspensión (SST) 4) La fábrica de Nättraby tiene sólo floculación y no verdadera precipitación química									

Tabla 6.23: Resultado de la precipitación química como tratamiento secundario de aguas residuales de fábricas de papel. Todas las fábricas han aplicado precipitación química, algunas tienen tratamiento adicional [Informe SEPA 4924 y comunicación personal]; valores medios anuales

primario). La reducción de la DQO es principalmente debida a la reducción de SST. La parte soluble de DQO (y DBO) sólo se reduce ligeramente (alrededor del 10%). La reducción de los compuestos solubles de la DQO y la DBO puede conseguirse mediante tratamiento biológico (ver Sección 6.3.10).

La relación DQO/DBO del orden de 3 después de la precipitación química muestra que una parte sustancial de la DQO eliminada consiste en materia menos biodegradable, y por lo tanto potencialmente más nociva. También muestra que estos efluentes son apropiados para un tratamiento biológico ulterior.

Efectos sobre otros medios: la precipitación de SST, nutrientes y en menor medida materia orgánica con agentes químicos inorgánicos produce una gran cantidad de lodo que es difícil de deshidratar y con frecuencia se desecha en vertedero. La cantidad de lodo generado es del orden de 3-6 kg/m³ incluyendo de un 60 a un 80 % de agua (después de prensas o centrifugas, la materia seca es de un 20 - 40%).

El coste de productos químicos es sustancial, y la purificación es selectiva; las sustancias neutras no pueden ser capturadas eficazmente como iones disociados o materia coloidal o en partículas. El uso de precipitantes produce un aumento de sales (cloruros o sulfatos) en el efluente. La concentración de sales metálicas está normalmente entre 200 y 400 g/m³.

El tratamiento consume algo de energía para bombas y motores.

Experiencias operativas: no se conocen problemas específicos ligados a la aplicación de esta técnica.

Economía: los costes de inversión del tratamiento fisicoquímico ascienden a 1 MEuros para una fábrica de papel para impresión con una capacidad de 100 t/d. Los costes de inversión para la precipitación química incluyen tanque de homogeneización, equipo de disolución química, equipo de dosificación química, unidad de precipitación y floculación, y clarificador. No había datos disponibles sobre costes operativos.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: normalmente, la precipitación química de aguas residuales de fábricas de papel no integradas se aplica cuando hay que eliminar los nutrientes, SST y partes no solubles de la materia orgánica del efluente.

Plantas de referencia: algunas fábricas pequeñas en Portugal y algunas fábricas de papel no integradas en Suecia.

6.3.12 Sustitución de sustancias potencialmente nocivas mediante el uso de alternativas menos perjudiciales

Descripción de la técnica: en la industria del papel, el agua es el medio donde pueden acabar la mayor parte de sustancias emitidas, ya que normalmente los aditivos se agregan a la suspensión acuosa de fibras y cargas, y son retenidos en el papel o pasan al agua blanca. La contaminación atmosférica es de menos importancia, y el suelo puede verse afectado a través del vertido de residuos (compostaje, uso de lodo de papel en agricultura, desecho en vertedero).

La descarga esperada de aditivos al agua está directamente relacionada con la retención de agentes químicos en el producto de papel, la degradabilidad de las sustancias y la retención en la planta de tratamiento de aguas residuales. Cuanto mayor es la retención, menor es la descarga al efluente y menor el efecto medioambiental potencial de los aditivos aplicados. En el caso de ayudas de producto, es deseable un máximo grado de retención desde un punto de vista económico (pérdida de aditivos) y ecológico. Dado que las ayudas de producto están diseñadas para dar al papel una característica particular, por motivos de coste y eficacia generalmente tienen un nivel relativamente alto de retención en las fibras de celulosa. Los aditivos de proceso son generalmente menos retenidos, ya que producen su efecto en los circuitos de agua de las fábricas de papel. Gran parte de las mismas se descarga con las aguas residuales. Además, hay que señalar que los rotos son sometidos normalmente a reprocesado, de modo que algunos de los aditivos son devueltos al circuito de agua. Por lo tanto, el conocimiento acerca de la retención de aditivos es importante. Por otra parte, la degradabilidad de una sustancia es el punto crucial para evitar el riesgo de acumulación de una sustancia dada en el entorno y en los organismos.

Algunas autoridades del agua utilizan ambos elementos, los factores de retención y la biodegradabilidad de las sustancias para evaluar y minimizar la contribución de aditivos a la carga de DQO después del tratamiento. En Alemania, por ejemplo, la aplicación del método que se muestra en la Figura 6.15 produjo una reducción en el consumo y/o sustitución de algunos aditivos que causaban una parte significativa de la carga de DQO después del tratamiento (principio de sustitución). Además, la fábrica debía reportar cómo y por qué se utilizaban diversos productos químicos.

Junto a un enfoque general para la reducción de emisiones de aditivos químicos al agua, pueden existir algunos candidatos para sustitución desde un punto de vista medioambiental. Esto puede ser especialmente cierto cuando los productos químicos se consideran peligrosos y hay disponibles sustitutos, menos peligrosos, que consiguen la misma finalidad. Hay que favorecer el uso de agentes químicos biodegradables, no tóxicos y no bioacumulables cuando sea posible. Los productos químicos que se sospeche que pueden presentar un riesgo para las personas o el medio ambiente

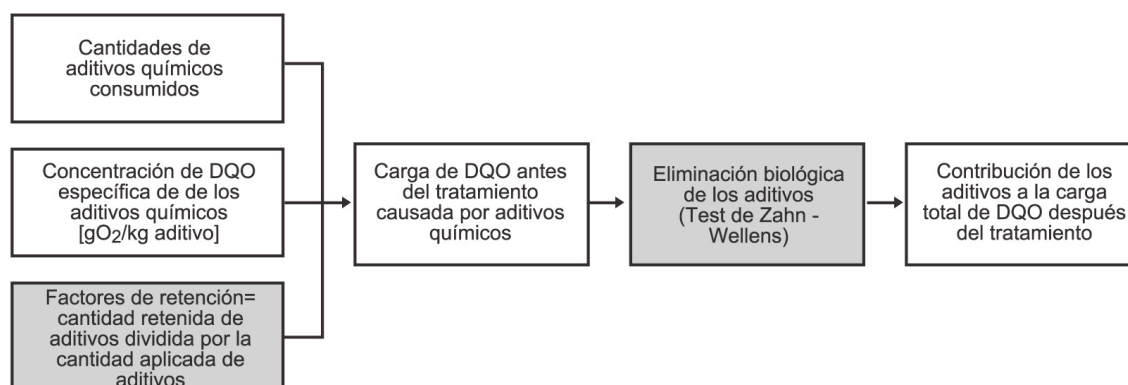


Figura 6.15: Enfoque práctico para la evaluación de la cantidad de aditivos fuertemente biodegradables en los efluentes de fábricas de papel después del tratamiento [IFP, 1997]

deben evitarse, es decir, los que dañen la capa de ozono, los que se sospeche que son disruptores endocrinos, o las sustancias CMR (carcinógenos, mutágenos, tóxicos).

Originalmente, los hidrocarburos como benceno (carcinógeno), tolueno (tóxico) y xileno (tóxico), que tengan su origen en disolventes o detergentes que puedan usarse para la limpieza de las telas, fieltros y máquinas, deben ser sustituidos por disolventes que muestren menos efectos tóxicos. También existen alternativas (ej: ésteres) que son biodegradables en un cierto grado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: un posible resultado, de un enfoque de este tipo para la monitorización de aditivos, podría ser similar al que se muestra en la figura 6.16. Algunas sustancias – principalmente aditivos de proceso – no son retenidas ni degradadas biológicamente (sustancia A). En este caso, los aditivos aplicados van a parar en su totalidad al medio receptor. Otros son parcialmente retenidos y parcialmente eliminados en la planta de tratamiento de aguas residuales (sustancia B), mientras otros son retenidos casi al 100 por cien y ni siquiera llegan a la planta de tratamiento. Puede suponerse que la mayoría de los aditivos de ayuda de producción son en parte retenidos y en parte eliminados en la planta de tratamiento de aguas residuales. Los aditivos de proceso tienen una baja retención en fibras de celulosa y por consiguiente cabe esperar que acaben en las aguas residuales.

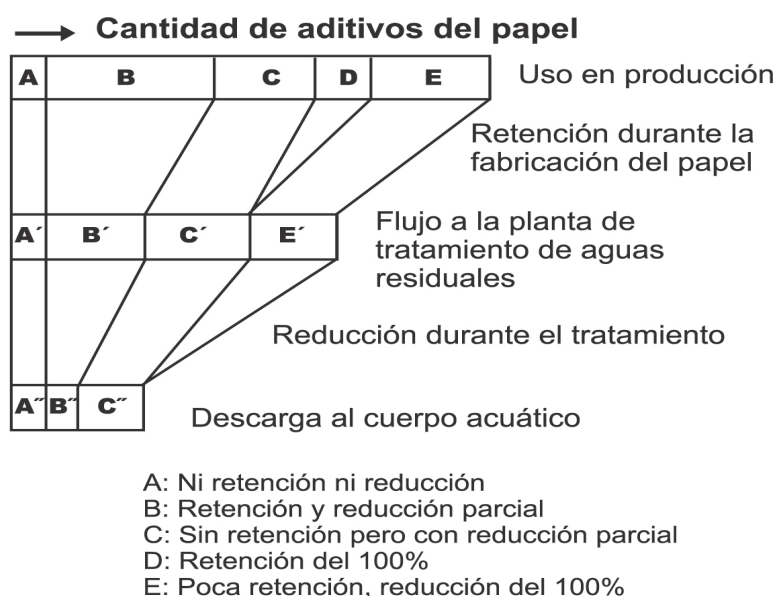


Figura 6.16: Presentación esquemática del destino de aditivos químicos en la fabricación de papel, incluyendo el tratamiento externo [IFP, 1997]

Monitorización: normalmente, los datos requeridos deben ser facilitados por el proveedor de las sustancias.

Efectos sobre otros medios: la reducción de aditivos nocivos en el proceso de papel tiene como consecuencia un menor impacto en los compartimentos de agua y residuos. También puede ser beneficioso desde la perspectiva de la gestión del ciclo vital. Utilizando ayudas de producto ecológicas, puede evitarse que las sustancias nocivas acaben en el producto final, que a su vez puede ser usado como materia prima en el proceso de fibras recuperadas.

Datos operativos: para aditivos y auxiliares químicos falta todavía un sistema de información "transparente" en el que fabricantes, importadores y usuarios de productos químicos realicen "evaluaciones propias" de productos químicos para la etapa de su ciclo vital de la que son responsables. Los datos relevantes se pasarían luego de una empresa a la siguiente para evitar la duplicación del trabajo. Algunos gobiernos ofrecen directrices y evaluaciones de productos

químicos por parte de empresas auditoras, otros quieren también que las empresas hagan más para mejorar la "Ecoeficiencia" en la fabricación de productos químicos – utilizando menos recursos y emitiendo menos por unidad de producto. En [EurEco, 1997] se ofrece un resumen de la evolución y estado actual de los esquemas de evaluación del riesgo medioambiental de sustancias, con especial énfasis en el entorno acuático.

Economía: no hay datos disponibles.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: algunas autoridades del agua fijan requisitos para minimizar la contribución de los aditivos a la carga de DQO después del tratamiento. Siempre que sea posible, debe favorecerse el uso de agentes químicos biodegradables, no tóxicos y no bioacumulativos. Los agentes químicos que se sospeche que suponen un riesgo para las personas o el medio ambiente deben evitarse, especialmente los que dañen la capa de ozono, los que se sospeche que son disruptores endocrinos, o las sustancias CMR (carcinógenos, mutágenos, tóxicos).

Plantas de referencia: un número reducido de plantas en Europa.

Bibliografía: [IFP, 1997], [Braunsprenger, 1996], [EurEco, 1997]

6.3.13 Pretratamiento del lodo (deshidratación) antes de la incineración o desecho final

Descripción de la técnica: en las plantas de tratamiento de efluentes se generan grandes cantidades de lodo en el tratamiento primario, en las plantas biológicas de lodo activado y en las plantas de floculación química, y también en el tratamiento de la salsa de estucado. Las lagunas aireadas, así como las plantas anaerobias, suelen generar lodo en menores cantidades.

La manipulación del lodo incluye las siguientes etapas principales:

- Reutilización del lodo de fibras del tratamiento primario. Se practica en muchos casos.
- Espesamiento y deshidratación del lodo de fibras / biológico / (químico).
- Desecho final del lodo deshidratado.

La reutilización del lodo de fibras se practica en casos en los que es adecuado con respecto a requisitos del producto, etc. No obstante, la recuperación interna de la fibra conduce en ocasiones a bajas descargas de fibras y malas propiedades del lodo, en cuyo caso la reutilización del lodo no es factible.

Los lodos biológicos y químicos tienen muy malas propiedades de deshidratación y normalmente tienen que mezclarse con lodo de fibras para que las condiciones de deshidratación sean aceptables. Así, en presencia de lodos biológicos / químicos, al menos una parte del lodo de fibras debe ser deshidratado, antes que reutilizado. Asimismo, una más amplia recuperación interna de fibras supondrá mayores dificultades para la deshidratación de lodos biológicos / químicos.

La deshidratación intenta eliminar del lodo el máximo posible de agua, con el fin de facilitar su desecho final. Para esta operación hay disponibles distintos tipos de equipos mecánicos.

Los lodos biológicos y químicos normalmente deben ser espesados antes de su deshidratación. Esto significa un aumento del contenido de materia seca (MS) desde un 1-2 % a un 3-4 % o más. El espesamiento es realizado normalmente en un espesador por gravedad, que es básicamente una balsa de sedimentación con una carga baja.

Antes de la deshidratación, el lodo normalmente debe ser acondicionado con agentes químicos. Habitualmente un polielectrolito es suficiente. Esto hace referencia particularmente a mezclas de lodos con lodos biológicos o químicos.

Los equipos de deshidratación pueden ser de los siguientes tipos:

- Filtros banda (prensas de doble tela).
- Prensas de tornillo.
- Decantadoras centrífugas.
- Prensas de filtro de cámara.

La mayoría de instalaciones nuevas durante los últimos 10-15 años han sido filtros banda, que tienen un funcionamiento fiable y producen valores de MS bastante altos, del 40-50 % con lodo de fibras y del 25-40 % con lodo mixto de fibras / biológico / (químico). No obstante, la tendencia reciente es a utilizar prensas de tornillo.

Las prensas de tornillo pueden usarse de dos formas:

- Para aumentar el contenido de MS después de deshidratación con filtros banda; puede obtenerse un aumento de más o menos un 10% de MS.
- Deshidratación directa; puede obtenerse un mayor contenido de MS que con filtros banda.

Se ha observado una aplicación creciente de prensas de tornillo durante algunos años, debido al mayor interés en la incineración de lodos, que requiere elevados valores de MS.

Actualmente, las decantadoras centrífugas se utilizan principalmente para lodos con muy malas propiedades de deshidratación, como lodo biológico o lodo químico puro (si se deshidratan separadamente). Producen contenidos de MS más bajos que los filtros banda y de tornillo. También pueden usarse filtros de pre-estucado giratorios para esta aplicación, alcanzando un elevado contenido de sólidos en suspensión, normalmente por debajo de 10 mg/l (filtrado superclaro).

En resumen, hay métodos de deshidratación disponibles para todos los lodos. Permiten deshidratar el lodo al contenido de MS necesario para su desecho final.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: la medida puede adoptarse en fábricas existentes y nuevas. Actualmente, es imposible operar una fábrica sin deshidratación, ya que el desecho de grandes cantidades de lodo diluido plantea problemas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: la deshidratación del lodo puede reducir los volúmenes de lodo hasta 20 veces.

Los efectos medioambientales pueden observarse en el lugar de vertido. La reducción de la contaminación del agua subterránea es uno de los efectos.

Monitorización de emisiones: la monitorización se discute en un capítulo separado.

Efectos sobre otros medios: el lodo producido en la planta de tratamiento de efluentes tras la deshidratación puede quemarse, dando en algunos casos un valor calorífico neto positivo.

Experiencias operativas: muchos tipos de equipos de deshidratación, desde filtros de tambor de baja eficacia a prensas de tornillo de alto rendimiento, se han utilizado en todos los tipos de fábricas de papel y de cartón. Los actuales diseños de filtros banda y prensas de tornillo de gran potencia, utilizados para obtener altos niveles de sequedad, han demostrado su eficacia en la mayoría de casos. Los filtros de tambor giratorio pre-estucado también se utilizan en la industria

del papel, y producen un 40-50% MS junto con un filtrado de gran calidad (10 mg SS/l). Esto se consigue aplicando más velocidad de giro para aglomerado con diluyente.

No obstante, cuanto mayor es la proporción de lodo biológico en la mezcla a deshidratar y mayor es el objetivo de sequedad, más sensible será el sistema global a variaciones cualitativas y cuantitativas en la alimentación del sistema u otros parámetros operativos.

Economía: los costes de inversión para deshidratación de lodo en una fábrica de papel prensa de 1500 ADt/d son los siguientes:

Prensa de tela	1,5 – 1,8 MEuros
Prensa de tornillo	1,7 – 2,0 MEuros
Centrífuga	0,7 – 0,9 MEuros

Los costes operativos, suponiendo deshidratación del lodo primario y del lodo biológico, son de 0,3 – 0,6 MEuros/a. El coste depende mucho de la composición del lodo y de la demanda de floculantes.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: un contenido de materia seca más adecuado para el transporte y la eliminación final es el motivo principal de aplicación de esta técnica.

Plantas de referencia: numerosas plantas en todo el mundo para todo tipo de efluentes.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

6.3.14 Opciones para el tratamiento de residuos

Introducción: la producción de papel y cartón está relacionada con la generación de residuos y desechos. El Catálogo Europeo de Residuos (94/3/EEC) intenta establecer una terminología común para los Estados miembros de la Unión. No obstante, en Europa todavía se utilizan distintas terminologías para las distintas fracciones de residuos generadas en fábricas de papel. El Catálogo Europeo de Residuos menciona las siguientes fracciones de residuos para fábricas de papel:

- Lodo de fibra y de papel.
- Para fábricas que utilicen fibras recuperadas: rechazos del reciclaje de papel y cartón y lodos de destintado del reciclaje de papel; ver Capítulo 5. Hay una cierta superposición con esta sección.
- Para fábricas integradas con producción a base de fibras vírgenes: corteza, posos y lodo de licor verde (del tratamiento de licor negro); ver Capítulo 2, 3 y 4. No se trata aquí.
- Residuos de la preparación de agua para uso industrial.
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Otros lodos no especificados.

Las fracciones de residuos se separan y mezclan en distintas formas, según las opciones de reutilización / reciclaje y ulterior tratamiento y desecho. Son escasas las cifras disponibles sobre fracciones residuales individuales. Con frecuencia sólo se reportan datos sobre lodo y rechazos, o a veces sólo lodo. Por consiguiente, en lo sucesivo los residuos de la fábrica de papel se discuten como un flujo de materia.

Los residuos específicos más importantes son los rechazos de la preparación de pasta, el lodo de fibra y papel y el lodo del tratamiento de agua. Se generan tanto en fábricas que utilizan fibras vírgenes como en las que procesan fibras recicladas. No obstante, en las fábricas a base de fibras vírgenes, las cantidades producidas son menores, normalmente de menos de 50 kg/t, mientras que

en las fábricas que utilizan fibra reciclada (ej: fábricas de papel tisú), las cantidades son mucho mayores, por ejemplo de hasta 1000 kg MS / tonelada de papel tisú. La composición y cantidad del residuo sólido depende de la calidad de papel producida, las materias primas empleadas, las técnicas de proceso aplicadas y las propiedades que deba tener el papel.

La gestión de residuos se compone de prevención de residuos, reutilización, reciclaje de materias, compostaje, recuperación de energía y desecho final. El árbol de decisiones que se detalla a continuación da un resumen general de las principales opciones de gestión de residuos y destaca algunos aspectos importantes. No hay solución estándar para la manipulación de residuos en fábricas de papel.

Los residuos de fábricas de papel – excepto las cenizas de las plantas de energía o calderas y las de incineradores *in situ* – se caracterizan por una cantidad relativamente alta de material orgánico. No obstante, el vertedero sigue utilizándose ampliamente para el vertido de residuos en muchos países europeos (ej: Reino Unido, España). Al mismo tiempo, en muchos Estados Miembros el vertido de residuos con alto contenido orgánico es desaconsejado por los gobiernos y se prohibirá en un futuro próximo. La Directiva de la UE sobre el desecho en vertedero de residuos reforzará esta tendencia a fijar objetivos para reducir la cantidad de basura (municipal) biodegradable enviada a los vertederos. Por consiguiente las alternativas de recuperación como el reciclaje de materias y la

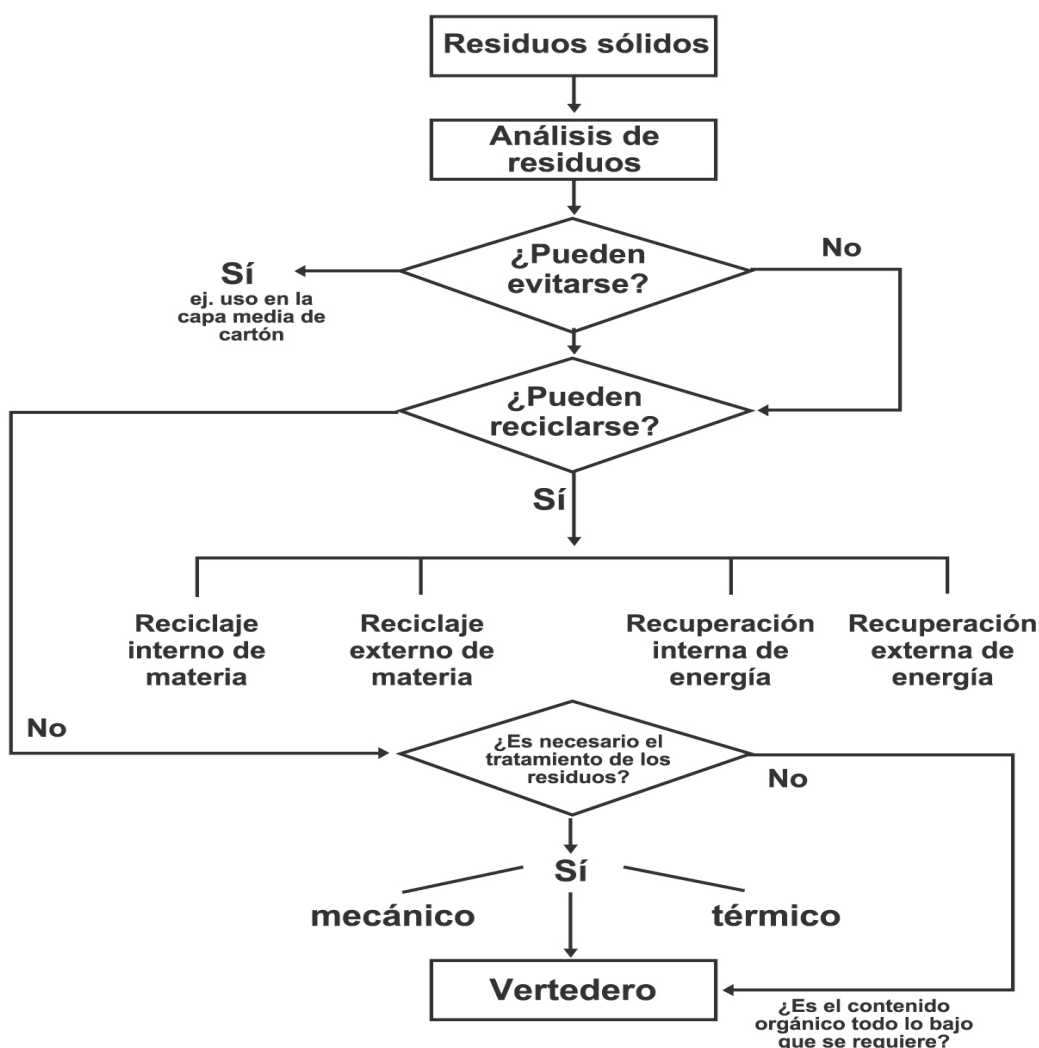


Figura 6.17: Posible árbol de decisiones para la gestión de los residuos de fábricas de papel.
[Según Hamm, 1996]

incineración con recuperación de energía desempeñarán un papel importante en el futuro. Estas opciones de tratamiento se discuten a continuación, como técnicas a considerar en la determinación de las MTDs. Las operaciones de recuperación – en las que los residuos son reaprovechados mediante la reutilización o recuperación de algunos o todos sus componentes (incluida la energía) – se consideran como opciones preferidas de tratamiento de residuos, cuando son viables. Es MTD identificar estas posibilidades y asegurarse de que se apliquen. Se destacan algunos importantes aspectos técnicos, y se discuten las ventajas, posibles problemas y limitaciones de las distintas opciones de tratamiento.

Reciclaje de materias

En la Figura 6.18 se ofrece un resumen de las principales opciones de tratamiento para reciclaje de material y los factores que rigen la elección de las opciones de tratamiento.

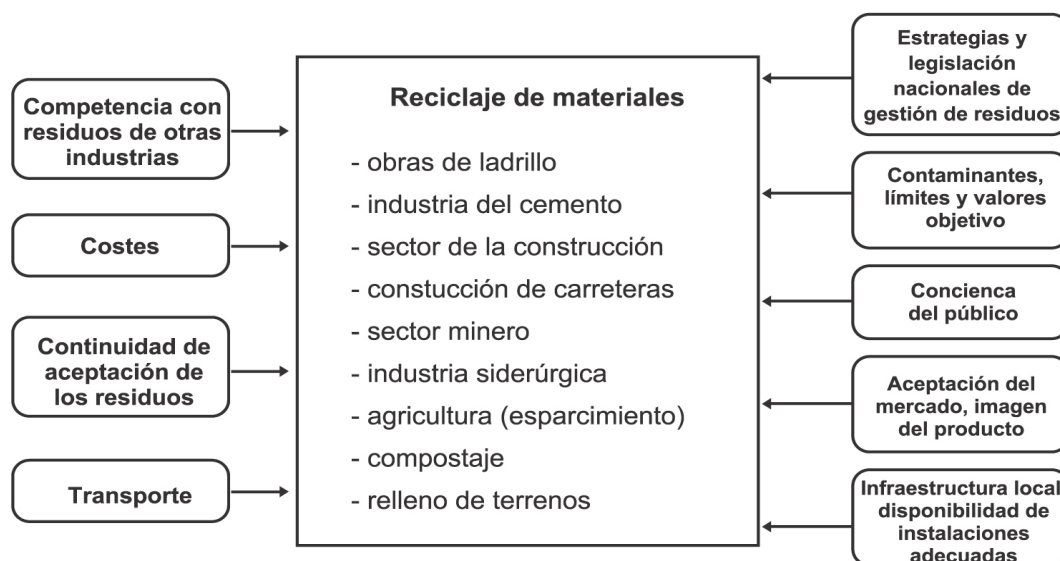


Figura 6.18: Opciones para el reciclaje de materias de residuos de fábricas de papel y factores que rigen la elección de las opciones de tratamiento [Hamm, 1996; modificado por la EIPPCB].

La Figura 6.18 muestra que hay un conjunto de factores que rigen la opción escogida por una determinada fábrica. Los principales factores pueden ser una infraestructura local, costes y concurrencia con los residuos procedentes de otras industrias. Esto último es especialmente relevante por la utilización de lodo de papel en la industria del cemento y el ladrillo. Por lo que respecta al transporte, el principio de proximidad reduce el impacto medioambiental y los costes. El uso de residuos de papel como materia prima en las distintas opciones indicadas en la Figura 6.18 depende entre otros de la disponibilidad local de procesos adecuados.

En algunos países se practica el compostaje de lodo de papel o la diseminación en el suelo en agricultura. Para esta alternativa el control de los agentes contaminantes potenciales es de importancia crucial. Sin embargo, el lodo de las fábricas de papel, por lo general, no contiene más agentes contaminantes que el lodo de centros de tratamiento municipales, y su aplicación restringida puede tener algunos efectos positivos sobre el suelo (CaCO_3 como agente neutralizante de suelos ácidos, la retención de humedad por parte de fibras y finos sobre suelos secos con bajo contenido de nitrógeno). Las posibles ventajas varían según el tipo de suelo. Los periodos de esparcimiento en el suelo están restringidos a algunos meses del año. Es por lo tanto necesario disponer de una capacidad de almacenaje suficiente para el lodo.

La viabilidad del esparcimiento en el suelo depende fuertemente de la aceptación en los Estados Miembros de la aplicación del lodo a la tierra agrícola. En algunos Estados Miembros se alienta

esta práctica como una vía de desecho económicamente beneficiosa, otros Estados Miembros están preocupados por el esparcimiento en la tierra de lodo de papel. Las principales preocupaciones son la posible contaminación de los suelos con concentraciones bajas de metales pesados y microcontaminantes orgánicos, y la oposición local debido a problemas de molestias o problemas de imagen para los productos agrícolas de las áreas en las que se esparce en la tierra.

Para compostaje, los requisitos de calidad del compost son de la máxima importancia para conseguir un producto comercial. Los composts hechos de residuos orgánicos mezclados con distintas cantidades de papel recuperado y residuos de la industria de papel cumplen estos requisitos, como el grado de madurez o la idoneidad para el crecimiento de plantas. Además, parámetros como el contenido de sal y de materia orgánica y la emisión de lixiviado específica del proceso se ven influidos positivamente. La concentración de sustancias nocivas, sobre todo las que contienen metales pesados, debe ser considerada como un factor restrictivo.

Otra opción para el tratamiento del lodo de fábricas de papel es su uso en la industria del cemento y del ladrillo (para mejorar la porosidad), u otros materiales de construcción. En la industria de cemento pueden recuperarse tanto el material como el contenido de energía de los residuos de papel. Para el empleo en la industria del cemento es especialmente adecuado el lodo de clarificadores primarios (o mezclado con el exceso de lodo del tratamiento biológico) que contiene fibras y finos, así como compuestos inorgánicos (ej: cargas, pigmentos de estucado). El lodo (con un contenido de humedad de alrededor del 50 %) se seca con el calor residual del pre-secador del horno de cemento, de modo que no es necesaria ninguna energía térmica adicional para reducir la humedad del lodo hasta un 10 - 15%. Así, al quemar el lodo secado en el horno rotatorio de cemento, se aprovecha el valor calorífico de las sustancias orgánicas, y la ceniza de la incineración del lodo (principalmente) permanece en el producto (el cemento). La sustancia inorgánica de la ceniza del lodo incinerado es también un compuesto del clinker de cemento. Si hay industrias de fabricación de cemento (o ladrillo) cerca de la fábrica (distancia de transporte corta) y pueden usar el lodo, se trata de una opción viable.

Recuperación de energía

Los residuos y lodos contienen sustancias orgánicas que pueden ser quemadas in situ o externamente en incineradores específicos con recuperación de energía (para incineración in situ en fábricas no integradas, la cantidad de lodo para quemar no es por lo general suficiente). Los incineradores con recuperación de energía pueden ser de monoincineración y coincineración.

En los monoincineradores - por lo general hornos de solera múltiple de lecho fluidizado con una gama de temperaturas entre 850°C y 950°C – se queman exclusivamente residuos de la industria de papel. Estas instalaciones alcanzan los requisitos legales para la incineración de residuos cuando se aplica reducción de las emisiones a la atmósfera, y se considera como MTD. Para más información se hace referencia a la Sección 5.3.1 de este documento. Las cenizas pueden ser desechadas en vertedero o utilizarse en la industria de la construcción.

La coincineración de residuos de la industria de papel se practica en hornos de cemento, centrales eléctricas de carbón (ver Sección 5.3.11 ejemplo 2), incineradoras de residuos municipales, altos hornos (industria siderúrgica) y hornos de cubilote (fundiciones). Para esta opción, los residuos con un alto valor calorífico son especialmente adecuados para sustituir el combustible fósil (ej: carbón, fuel-oil). Los residuos de fábricas de papel son mezclados normalmente con otros combustibles quemados en estas instalaciones. Antes de la incineración, debe ser deshidratados y a veces también secados (p.ej: para la industria de cemento y siderúrgica). Por regla general, puede afirmarse que cuanto más similares sean las características de los residuos a quemar a las del combustible normal, más fácil será la coincineración. La homogeneidad del combustible y la composición uniforme y constante de los residuos son también importantes. El control de estos parámetros hace que los residuos de la industria del papel sean más interesantes para instalaciones de combustión.

El comportamiento de combustión de los residuos de fábricas de papel como lodo de destintado, rechazos de limpieza y tamizado, o lodo del tratamiento de aguas residuales se muestra en la Figura 6.19. Esto ilustra la conexión entre el contenido de combustible / orgánico, el contenido de ceniza y el contenido de agua. La zona de combustión autosuficiente, en la que no se requieren combustibles adicionales, se marca especialmente.

La zona en la que se encuentran el lodo de destintado deshidratado y los rechazos deshidratados de la limpieza mecánica y el tamizado se muestran con trazo rayado. Puede verse que se alcanza una combustión autosuficiente, tanto para rechazos que tienen valores caloríficos relativamente altos como para lodo de destintado con un contenido de ceniza relativamente alto. En la combustión de lodo, la producción de energía neta es de casi cero o negativa si el contenido de materia seca del lodo está por debajo del 40 % y si el lodo contiene una cantidad muy alta de material inorgánico. En estos casos, para mantener buenas condiciones de combustión, es necesario el empleo de combustible auxiliar, a no ser que el lodo se mezcle con corteza y otros residuos de madera. La combustión reduce el volumen de residuos y el contenido de residuos inorgánicos como la ceniza (hasta la mitad del peso puede permanecer como la ceniza inorgánica), que normalmente se transporta a un vertedero o se utiliza como recurso para materiales de construcción.

El efecto de la coincineración de residuos y lodos de fábricas de papel sobre las emisiones a la atmósfera depende de la composición del material quemado. La coincineración de fibra y lodo de papel - sobre todo aquéllos con alto contenido de álcali - en plantas de energía con combustión a carbón o de lignito, o bien no tienen ningún efecto sobre las emisiones a la atmósfera o producen una ligera reducción de agentes contaminantes. Las emisiones de SO_2 , HCl y HF se ven reducidas mediante la coincineración de lodo con un alto contenido de álcali (lodo de destintado, lodo de fibra con pigmentos y cargas). El contenido de metales pesados en la fibra y el lodo de papel también es bajo en comparación con el carbón y el lignito. Los rechazos de la preparación de pasta de las fábricas de papel recuperado, que fabrican material para ondular, tienen un mayor contenido de cloro (1-3 % en peso). Las primeras experiencias en una planta a plena escala productiva en Alemania mostraron sin embargo que la coincineración de rechazos en plantas de energía con combustión de lignito es factible. No se ha medido ningún aumento de dioxinas.

La disponibilidad, por ejemplo, de la incineración varía bastante dentro de los Estados Miembros y también en un mismo país. Las incineradoras a veces se enfrentan al obstáculo considerable de las objeciones locales.

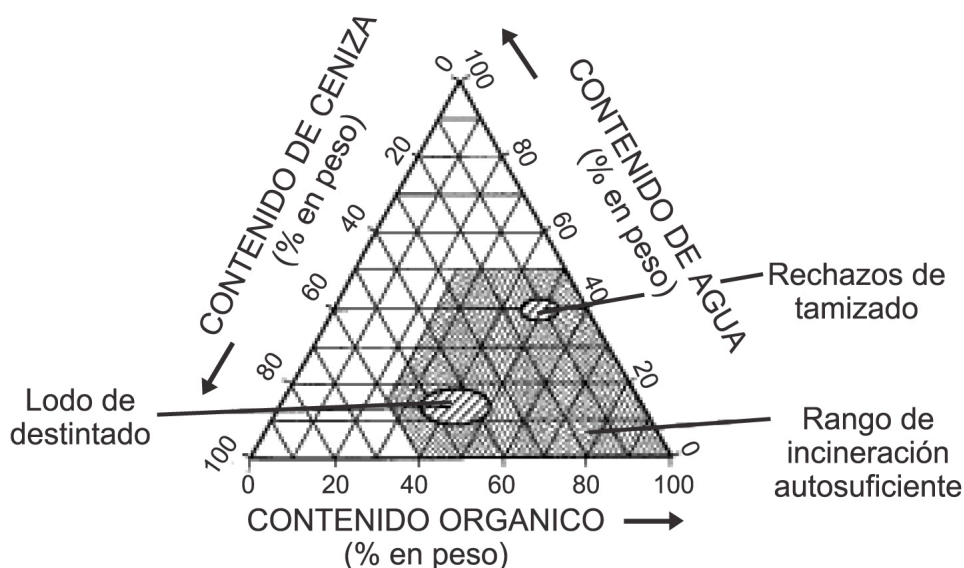


Figura 6.19: Triángulo de combustible para residuos de la industria del papel (facilitado por IFP)

En las fábricas integradas de pasta y papel, una parte importante del lodo es incinerada normalmente junto con corteza en calderas de corteza (ver Capítulos 2, 3 y 4).

Las fábricas integradas a base de papel recuperado pueden tener instalado un incinerador in situ (ver Capítulo 5). En estas fábricas, las cenizas y residuos del control de emisiones atmosféricas, como el polvo de los precipitadores electrostáticos o el yeso de la eliminación de SO₂ (si se aplica) debe también manipularse como una fracción residual.

Bibliografía

[Hamm, 1996], [Wünschmann et al., 1995a], [Wünschmann et al., 1995b], [Wünschmann et al., 1995c], [IPTS, 1997], [Guillet, 1997]

6.3.15 Instalación de tecnología baja en NOx en calderas auxiliares (fuel-oil, gas, carbón)

Descripción de la técnica: En las fábricas de papel y cartón, puede usarse una variedad de combustibles fósiles o regenerativos - corteza, carbón, lignito, fuel-oil o gas natural - para la producción suplementaria de vapor. En la combustión de estos combustibles se requieren técnicas de incineración ecológicas para reducir al mínimo las partículas, el SO₂ y también las emisiones de NOx.

La tecnología baja en NOx, aplicada a la combustión de combustibles sólidos y residuos de fábricas de pasta y papel con calderas de lecho fluidizado, se trata en 2.3.20. El carbón y el lignito son adecuados para ser quemados como combustible principal o de apoyo en sistemas de lecho fluidizado, que mediante un control de operación cuidadoso promueve una baja formación de NOx.

El aire de combustión primario es llevado a través del quemador en la mezcla de aire y combustible. El aire secundario y terciario son alimentados separadamente con el fin de obtener un equilibrio apropiado de aire primario:secundario:terciario en la zona de la llama para mantener una combustión baja en NOx. Puede alimentarse algo más de aire, si fuera necesario, encima de la zona de la llama principal, para completar la combustión del combustible.

El objetivo de la alimentación multifásica de aire es quemar el combustible sin exceso de aire e incluso en condiciones reductoras, lo que significa que:

- No hay bastante oxígeno para promover una formación importante de NOx. La temperatura de la llama es inferior a la de los quemadores convencionales, lo que disminuye aún más la formación de NOx.
- Parte del NOx formado se reducirá de nuevo a nitrógeno elemental, por ejemplo cuando se quema una cantidad residual de combustible en la zona exterior de la llama o fuera de la misma.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: los quemadores bajos en NOx y la alimentación multifásica de aire pueden usarse en calderas tanto nuevas como existentes.

Cuando se utilizan combustibles sólidos en polvo, como carbón o turba, es importante que, si tienen una alta humedad, se sequen previamente para facilitar una combustión rápida y eficaz. Además, se requiere que el aire de combustión sea precalentado para asegurar una rápida ignición y una combustión completa.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: en comparación con los quemadores convencionales con emisiones de NOx de 250-500 mg/MJ, los quemadores bajos en NOx pueden alcanzar niveles considerablemente inferiores en las emisiones en chimenea. Los niveles de emisiones alcanzados que se muestran en la Tabla 6.24 se distinguen según los tipos de

combustible utilizado y según las calderas sean instalaciones existentes o nuevas. Los mejores valores significan que estos valores son alcanzados por varias plantas nuevas. Generalmente alcanzable significa que es alcanzable por la mayoría de plantas. Los valores hacen referencia a un contenido de oxígeno del 3% y un 7% para carbón.

Parámetro	Estado	Combustible	Generalmente alcanzable		Mejores valores	
			(mg/Nm ³)	mg/MJ	(mg/Nm ³)	mg/MJ
NO _x	Nueva	Gas natural / biogás	70 - 100	20 - 30	30 - 100	9 - 30
		Gasóleo ²⁾	120 - 200	35 - 60	150	45
		Fuel-oil pesado	300 - 450	90 - 135	300	90
		Carbón	300 ¹⁾ - 500	115 ¹⁾ - 190	250 ¹⁾ - 280	90 ¹⁾ - 100
NO _x	Existente	Gas natural / biogás	70 - 200	20 - 60		
		Gasóleo ²⁾	150 - 250	45 - 75		
		Fuel-oil pesado	400 - 450	115 - 135		
		Carbón	300 ¹⁾ - 500	115 ¹⁾ - 190		
SO ₂	Nueva	Gas natural / biogás	0 - 35 ³⁾	0 - 10 ³⁾	35 ³⁾	10 ³⁾
		Gasóleo ²⁾	350 ³⁾	100 ³⁾	250 ³⁾	75 ³⁾
		Fuel-oil pesado	850 - 1700 ⁴⁾	250 - 500 ⁴⁾	850 ⁴⁾	250 ⁴⁾
		Carbón	400 - 2000 ⁴⁾	150 - 750 ⁴⁾	400 - 2000 ⁴⁾	150 - 750 ⁴⁾
SO ₂	Existente	Gas natural / biogás	0 - 35 ³⁾	0 - 10 ³⁾		
		Gasóleo ²⁾	350 ³⁾	100 ³⁾		
		Fuel-oil pesado	1700 ⁴⁾	500 ⁴⁾		
		Carbón	400 - 2000 ⁴⁾	150 - 750 ⁴⁾		
Polvo (usando PEs)	Nueva	Gas natural / biogás	0 - 5	0 - 1.5	0 - 5	0 - 1.5
		Gasóleo ²⁾	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos
		Fuel-oil pesado	50 - 80 ⁵⁾	15 - 25 ⁵⁾	10 - 50 ⁵⁾	3 - 15 ⁵⁾
		Carbón	< 50	< 20	10 - 50	4 - 20
Polvo (usando PEs)	Existente	Gas natural / biogás	0 - 5	0 - 1.5		
		Gasóleo ²⁾	no hay datos	no hay datos		
		Fuel-oil pesado	50 - 80 ⁶⁾	15 - 25 ⁶⁾		
		Carbón	50 - 150 ⁶⁾	20 - 60 ⁶⁾		

Notas:
1 Tecnología de lecho fluidizado
2 Según el contenido de N del combustible
3 Según el contenido de S del combustible
4 Según el contenido de S, el tamaño y el tipo de instalación; las emisiones de azufre de las calderas con combustión de carbón y fuel-oil dependen de la disponibilidad de fuel-oil y carbón bajo en S. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con inyección de caliza.
5 Según el contenido de S y el tipo de instalación
6 Según el tamaño de la instalación

Tabla 6.24: Niveles de emisiones alcanzables (media diaria) en calderas con técnicas bajas en NO_x (sólo se aplica tecnología de combustión) y eliminación de polvo mediante el uso de precipitadores electrostáticos [datos basados en gran número de plantas en Alemania]

Monitorización de emisiones: la emisión de monitorizaciones puede realizarse con medidores de NO_x. Asimismo, los medidores de oxígeno pueden ayudar a determinar que se mantienen las condiciones de combustión de bajo nivel de NO_x.

Para mediciones precisas se requiere muestreo in situ y análisis en laboratorio.

Efectos sobre otros medios: no hay efectos importantes.

Experiencias operativas: los quemadores bajos en NO_x se han aplicado en la remodelación de calderas existentes y la construcción de nuevas.

Economía: los costes de inversión son típicamente de 0,6 – 0,9 MEuros para una producción de papel de 1000 AdT/d. Los costes operativos aumentan en 0,1 – 0,2 MEuros/año.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: las emisiones a la atmósfera de fábricas de papel no integradas están principalmente relacionadas con calderas de vapor y plantas de energía. Estas plantas son generalmente calderas estándar y no difieren de otras plantas de energía. Se supone que

están reguladas como cualquier otra planta de la misma capacidad. Los quemadores bajos en NOx se utilizan principalmente para reducir las emisiones de NOx de las calderas auxiliares.

Plantas de referencia: numerosas fábricas en Europa Septentrional y Occidental.

Bibliografía:

[J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [Ministerio de Educación, 1994], [Datos facilitados por la APA alemana, 1999]

6.3.16 Uso de cogeneración de calor y electricidad

Ver Sección 5.3.9.

6.3.17 Optimización de la deshidratación en la sección de prensa de la máquina de papel (Prensa de nip ancho)

Descripción de la técnica: una máquina de papel constituye un enorme proceso de deshidratación. En principio se compone de tres partes principales:

- La sección de tela para la formación de la hoja y primera deshidratación por gravedad y vacío / aspiración.
- La sección de prensa para ulterior deshidratación de la hoja húmeda mediante fuerzas mecánicas.
- La sequería, para secar la hoja continua a su sequedad final mediante evaporación en cilindros calentados por vapor.

Después de la sección de prensa (ver también Figura 6.1), normalmente la sequedad de la hoja es del 45-50 %, es decir, queda alrededor de 1 kg de agua/1 kg de materia seca. Para evaporar esta última "fracción", se requiere mucha energía de evaporación y una larga sección de secado.

En una máquina de papel, la mayoría de la energía se invierte en el secado del papel (vapor 572 kWh/t). Se requiere energía eléctrica para los motores de los rodillos y cilindros (electricidad 100 kWh/t) y para crear vacío (electricidad 67 kWh/t). Cuanto mayor es la sequedad de la hoja de papel después de la sección de la prensa, menor será la energía térmica requerida para el secado final del papel. Con un aumento del 1% de la sequedad de la hoja de papel continuo que entra en la sección de secado, puede ahorrarse aproximadamente un 4% de calor (en términos de vapor de baja presión, a unos 2 bares). Por consiguiente, deben tomarse medidas en la máquina de papel para potenciar al máximo el contenido seco en el prensado húmedo.

En un nip (prensor) de prensa de rodillo convencional, la presión del nip ha alcanzado su límite superior y no puede ser aumentada para mejorar la deshidratación en la sección de prensa. Sustituyendo las prensas de nip corto convencionales por prensas de nip ancho, denominadas prensas de zapata, se consigue aumentar el tiempo de prensado respecto al de una prensa de rodillo convencional, produciendo una deshidratación intensificada de hoja continua húmeda y una mayor sequedad de la hoja de papel continuo después de la sección de prensa. La zapata se carga contra un rodillo hidráulico contrario. Este concepto de prensa conduce a una extensión significativa de la zona de prensado y del tiempo de contacto del nip en comparación con prensas de rodillos convencionales. La alta sequedad después del pensado produce un ahorro de energía en el secado y una buena operatividad en la sección de sequería gracias a la buena resistencia húmeda de la hoja de papel continuo.

Aplicabilidad y caracterización: técnica integrada en el proceso. La prensa de zapata puede ser aplicada en máquinas de papel tanto nuevas como existentes y con la mayoría de calidades de

papel (aparte del papel tisú) siempre que haya espacio suficiente disponible en la sección de prensa y que la construcción de la nave permita el mayor peso de una prensa de zapata. Los cimientos deben ser adecuados para el mayor peso de la maquinaria asociada con el concepto de prensa de zapata. La carga máxima de la grúa de montaje debe aumentarse en algunos casos debido a los rodillos de prensado más pesados. Debido a los grandes costes de inversión adicionales, la ventaja económica es dudosa en el caso de máquinas de papel de una anchura de menos de 2,5 m.

Para la fabricación de calidades en que el espesor es importante, una zapata larga (250 mm) de baja carga (600 kN/m) es ventajosa. Con calidades con pasta mecánica puede usarse una zapata más corta (180 mm) y con carga más alta (800 kN/m).

La prensa de zapata se ha desarrollado incluso para máquinas de alta velocidad (hoy en día hasta 2000 m/min).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: los efectos del medio ambiente están relacionados con el ahorro de energía térmica para el secado del papel. Se reportan aumentos de sequedad entre un 5 y un 15% tras la instalación de una prensa de zapata en máquinas de papel existentes de papel y cartón de embalaje [IFP, 1998]. Por supuesto, este aumento depende significativamente del comportamiento anterior de la sección de prensa remodelada y el concepto de prensa de zapata escogido.

En un caso, la reconstrucción de la sección de prensa produjo un aumento en la sequedad del 6% tras la instalación de una prensa de zapata. La demanda específica de vapor para el secado de papel se redujo desde 2,13 a 1,76 toneladas de vapor por tonelada de papel, que equivale a un 18% de ahorro de energía térmica. La reducción en las emisiones atmosféricas debidas a la producción de energía depende mucho del tipo de combustible fósil empleado. En la fábrica de papel en cuestión, se ha registrado un ahorro anual de 46.000 toneladas de vapor (equivalente a 5,1 M m³ de gas natural y una emisión evitada de CO₂ de 8.900 toneladas).

En una prensa con nips de zapata, la longitud de la sección de prensa, el número de componentes y tejidos, así como la vida de servicio de las telas, se mantiene constante incluso al aumentar la producción. El nip de zapata es un nip suave. Hay menos requisitos de servicio, menos consumo de fieltros y residuos de los mismos, menos vibración y ruido. Esto significa que las emisiones por tonelada de papel son menores.

La prensa de zapata es una herramienta para aumentar la velocidad de la máquina mientras se mantiene una buena operatividad. Una alta eficacia ahorra materias primas y energía y asegura un mayor tiempo de producción de la máquina con menos residuos. Un alto nivel de sequedad tras la prensa implica un menor consumo de energía y por consiguiente menos emisiones en la producción de energía.

En máquinas de papel con capacidad de secado limitada, cada reducción del 1% en la humedad de la hoja puede traducirse en un aumento de productividad del 4-5%. Si la capacidad de secado de la máquina de papel no es limitada, puede conseguirse una reducción equivalente del consumo de vapor en la sección de sequería. Pueden conseguirse ahorros de vapor en la sección de sequería de hasta 170 kWh/t.

No obstante, para una determinada densidad de papel, la mejora en la sequedad depende de la composición. En calidades de papel sin pasta mecánica, la sequedad después de la prensa es de unos 3 – 5 puntos porcentuales mayor cuando se aplica la prensa de zapata. En las calidades de papel que contienen pasta mecánica, la cifra correspondiente es de unos 4 – 7 puntos porcentuales.

La diferencia es incluso mayor, hasta 12 puntos porcentuales, a velocidades de máquina elevadas, ya que con un largo tiempo de permanencia en el nip de zapata, la sequedad seguirá estando a un nivel alto al aumentar la velocidad de la máquina. En las calidades que contienen pasta mecánica

puede usarse toda la capacidad de carga de la prensa de zapata, ya que las mejores características del papel se consiguen con un alto nivel de presión en el nip.

Al sustituir una prensa de rodillos por una prensa de zapata en una máquina de papel, el ahorro total típico en energía de secado es del 20 – 30%.

Efectos sobre otros medios: la sustitución de los prensos convencionales de rodillos por nips de zapata no aumenta significativamente el consumo de electricidad. La prensa de zapata tiene un mayor consumo específico de electricidad, pero el uso de menos nips que producen una hoja más seca sirve para compensar. El menor consumo de energía térmica puede transformarse en emisiones evitadas a la atmósfera mediante un cálculo basado en las cifras de emisiones específicas de la producción de vapor. No obstante, debe tenerse en consideración que la reducción en el volumen de emisiones atmosféricas depende del tipo de combustible fósil utilizado en la planta de energía.

La mayor sequedad después de la prensa de zapata causa un aumento de la densidad aparente y de la fuerza de unión interna de la hoja finalmente seca. La relación es casi lineal. Una mayor resistencia de la hoja de papel generalmente mejora la operatividad de la máquina de papel debido a menos roturas de la hoja. El resultado es una mayor eficiencia de la máquina de papel. Por ejemplo, después de la remodelación de la prensa de zapata, si el número de roturas imprevistas de la hoja se reduce en dos al día (la duración de cada parada es de 20 min.), la capacidad de producción diaria de la máquina aumentará en casi el 3 %.

Si la capacidad de producción de una máquina de papel es limitada debido a su capacidad de sequedad, la demanda reducida de vapor para el secado después de la instalación de una prensa de zapata permite aumentar la velocidad de la máquina de papel. En tal caso, la producción puede aumentarse en hasta un 20 % para la misma cantidad de vapor que se utilizaba antes de la aplicación de una prensa de zapata.

Si se produce vapor en una planta de cogeneración de energía, la menor demanda de vapor de secado tiene como consecuencia, sin embargo, una menor producción de electricidad. Por lo tanto, hay que contratar más electricidad a la red eléctrica. Si la máquina de papel tiene una velocidad limitada debido a sus motores, la instalación de una prensa de zapata contribuye al ahorro de energía térmica, y la capacidad de producción de la máquina de papel aumenta debido al menor número de roturas de la hoja y a una mayor eficacia del tiempo de funcionamiento de la máquina de papel.

Experiencias operativas: un ejemplo de una prensa remodelada es Nordland Papier en Alemania. En la sección de prensa compacta con tres nips de esta máquina de papel de copia, el último nip de la prensa de rodillos fue sustituido por un nip de prensa de zapata. Después de la remodelación, la sequedad después de la sección de prensa era aproximadamente 3-4 puntos porcentuales más alta. Al mismo tiempo la velocidad de producción aumentó desde 850 m/min a 1200 m/min, un aumento de producción del 30 %. Para alcanzar esta mejora de sequedad, se aplicó una carga lineal de 500-600 kN/m fue aplicada en la prensa de zapata. La producción posterior batió todos los récords, y máquina remodelada se convirtió en la línea de papel fino más eficiente del mundo. El ahorro en la demanda específica de vapor para el secado de papel fueron del 30 %. Se han alcanzado resultados similares en varias remodelaciones similares en todo el mundo durante los últimos años. Mientras tanto, existen numerosas instalaciones en todo el mundo.

Economía: los gastos de inversión de una prensa de zapata en una máquina de papel con un ancho de 5 m totalizan unos 10 MEuros (incl. toda la instalación). Los costes operativos, incluyendo fieltros, cubiertas de rodillos, pulido de los rodillos y energía de los motores, para una prensa de zapata son prácticamente idénticos a los gastos de una prensa convencional. El ahorro de vapor para el secado de papel son del orden de 10 a 15 Euros/tonelada de vapor, lo que produce un

consumo específico de vapor de 2 toneladas de vapor por tonelada de papel y ahorros entre 20 y 30 Euros/tonelada de papel.

En las remodelaciones de prensas, el periodo de amortización típico de la inversión es de unos 2,5 años, si no hay otros límites para el aumento de velocidad.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: los motivos para la aplicación de una prensa de zapata son múltiples. Además de una mejora en las características de resistencia, pueden obtenerse ahorros de costes debido a la menor demanda de vapor para el secado de papel para una producción de papel constante o, alternativamente, puede aumentarse la capacidad de la producción con costes operativos idénticos. Una mayor sequedad produce ahorros de energía. El concepto de la sección de prensa puede ser simplificado. La prensa de zapata ha sido un componente clave para un ulterior aumento de la velocidad de la máquina. En una moderna máquina de papel de alta velocidad, la longitud requerida de la sección de sequería es un 35% menor debido a un nip de prensa de zapata en la sección de la prensa. Los mejores efectos de deshidratación mejoran la calidad del producto (mayor uniformidad del papel).

Plantas de referencia: debido a su superior capacidad de deshidratación, la prensa de zapata se introdujo primero para calidades de linerboard a principios de los 80, y en máquinas de papel aproximadamente diez años más tarde.

Hay varias máquinas remodeladas y nuevas de alta velocidad en todo el mundo que utilizan el componente de la prensa de zapata. Desde 1997, todas las nuevas máquinas de papel de alta velocidad incluyen prensas de zapata. Por ejemplo, al principio de 1998, una nueva máquina de LWC en Finlandia y una máquina de papel SC en Canadá iniciaron la producción con una prensa de zapata en la 3ª posición de nip de la prensa. Medio año después de las puestas en marcha, ambas máquinas eran LWC las más rápidas del mundo en sus respectivas clases, con una velocidad de producción de más de 1600 m/min. Una máquina de papel fino de papel con nips de zapata inició la producción en EE.UU. en el verano de 1998.

En el área de testliner y papel ondulado, en Alemania se conocen las siguientes instalaciones (por orden alfabético): Papierfabrik Adolf Jass/Fulda, Papierfabrik Klingele/Weener, Papierfabrik Schoellershammer/Düren, Papier- und Kartonfabrik Varel/Varel, SCA Packaging Industrierpapier/Aschaffenburg, Stone Europa Carton Aktiengesellschaft Papier- und Kartonfabrik Hoya/Hoya, Zülpich Papier/Zülpich.

Bibliografía:

[IFP, 1998] Esta referencia cita otra bibliografía sobre esta técnica (sólo en alemán).

6.3.18 Ahorro de energía mediante tecnología energéticamente eficientes

Introducción

Hay oportunidades para el ahorro de energía en muchas etapas dentro del proceso de la fabricación. Por lo general estas medidas están ligadas a inversiones para sustituir, remodelar o mejorar el equipo de proceso. Sin embargo, estas medidas no se aplican en la mayoría de los casos sólo por el ahorro de energía. Atraen un especial interés porque aumentan al mismo tiempo la eficacia de producción, mejoran la calidad del producto y reducen los costes generales. Es por lo tanto esencial que las técnicas de ahorro de energía se incorporen en todos los aspectos y niveles de la fabricación de papel. La conexión entre aspectos energéticos y procesos (efectos sinérgicos) debe ser tenida en cuenta a la hora de discutir técnicas energéticamente eficientes. La mayor parte de ellas pueden conducir a ventajas de proceso y a una mejora en la productividad.

En general, para tecnologías energéticamente eficientes, no se ha facilitado suficientemente la información requerida para la descripción de las técnicas a considerar en la determinación de las MTDs. Además, se requeriría demasiado espacio para una descripción apropiada. Por lo tanto, algunas tecnologías energéticamente eficientes sólo se incluyen en la Tabla 6.25 sin una descripción detallada de ventajas y desventajas, sin presentar el ahorro de energía alcanzado en la práctica, aspectos de efectos sobre otros medios y economía para cada técnica. La Tabla 6.25 puede dar como máximo una indicación general sobre las tecnologías energéticamente eficientes disponibles y el potencial teórico para la mejora del consumo de calor y electricidad.

Tecnología energéticamente eficiente	Tipo de demanda energética y cantidad	% de ahorro de energía y cantidad	Comentarios
Desfibrado de alta consistencia	Electricidad para bombas y rotores; 60 kWh/t	33%; 20 kWh/t	Se consigue mediante la optimización del diseño de los rotores
Refino según mejor práctica	Electricidad para impulsar motores; 100 -500 kWh/t	20%; 80 kWh/t	Depende de las propiedades del producto; varía con las calidades y suministros
Formación de alta consistencia	Eléctrica; 200 kWh/t	20%; 40 kWh/t	Ya aplicada en papel recuperado
Formación de doble tela	Impulsión	no hay datos	No se aplica sólo por ahorro de energía
Sistemas de vacío optimizados	Electricidad	25%	
Accionamiento seccional	Electricidad	no hay datos	
Motores eléctricos de alta eficacia	Electricidad	no hay datos	
Dimensionado adecuado de los motores eléctricos	Electricidad	no hay datos	
Prensas calientes o	Calor en la sequería	15 - 20%	Principalmente fibras recuperadas
Prensas de nip extendido (zapata)	Calor en la sequería	15 - 20%	
Corrección del perfil de humedad transversal con calefactores de rayos IR	Calor en la sequería	1 - 2%	Reduce el proceso de secado
Control de humedad del aire de escape	Calor	10%	Permite ajustar y reducir el caudal de aire
Recuperación de calor del aire de escape	Calor	10%	Ver descripción abajo
Recuperación de condensados	Calor	10%	El agua se reutiliza
Aire de ventilación con combustión directa a gas	Calor	40%	Se usa principalmente en la campana de la máquina de papel tisú
Aumento de materia seca en la prensa de encolado	Calor para la sección de secado tras la prensa de encolado	La carga de secado puede reducirse en un 48%	Produce una reducción del nivel de roturas

Tabla 6.25: Puntos en los que pueden conseguirse ahorros de energía y efecto de los mismos [DG XVII, 1992]. El potencial de ahorro de energía depende del nivel actual de consumo energético en una determinada fábrica.

El grado en el que ya se aplican las técnicas en cada Estado miembro depende de una combinación de nivel tecnológico de la industria, el tamaño de las fábricas, la valoración de los aspectos energéticos en las empresas y la política energética del país en cuestión.

La aplicabilidad de las técnicas de ahorro de energía no se discute, por lo que puede ser necesario un examen más pormenorizado de los detalles.

Para resumir las posibilidades de ahorro de energía: las áreas que ofrecen la oportunidad más directa de ahorro de energía son refino, prensa y secado. No obstante, una vez realizados los cambios del “programa de buenas prácticas operativas”, el secado es también el proceso cuya modificación es de importancia más crucial. Los que ofrecen menores ahorros, aunque también ventajas sinérgicas, son el desfibrado, formación y prensa de encolado.

Además de la selección de tecnologías, la forma de operación (práctica energéticamente eficiente) y la gestión de energía en la fábrica son aspectos importantes. El equipo no siempre se utiliza en su óptima eficacia energética, y con una mejor gestión pueden obtenerse ahorros adicionales. El método pinch para la optimización de la integración térmica de fábricas de papel puede ser un instrumento beneficioso para moverse hacia procesos energéticamente optimizados.

Niveles de consumo de energía alcanzados: en muchos países europeos, hay poca información disponible para el público sobre balances de energía de fábricas de papel. Se utilizan distintos esquemas, caso de haberlos, para reportar el consumo de energía. La demanda de energía depende asimismo de la calidad del producto (especialmente en fábricas de papel tisú) y en parte de las condiciones locales. Por lo tanto, es difícil presentar valores de consumo de energía asociados con el empleo de tecnologías energéticamente eficientes. Los rangos reportados de valores de consumo de energía de fábricas de papel se muestran en la Tabla 6.26. Sólo deben tomarse como una indicación de los requisitos aproximados de calor de proceso y electricidad en fábricas de papel energéticamente eficientes. Es posible que en una próxima versión revisada de este BREF se agreguen otros ejemplos de fábricas de papel energéticamente eficientes, incluyendo sus condiciones específicas.

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/t	Consumo de electricidad (neto) en MWh/t	Comentarios
Fábrica no integrada de papel fino estucado / sin estucar	5,3 [3]	0,62 [3]	Fábrica alemana muy grande; la cifra incluye todos los consumos de energía de la fábrica
Fábrica no integrada de papel fino sin estucar	7,0 - 9,0 [1]; 7,0 - 7,5 [2] * 6,5 - 8,0 [3];	0,7 - 0,8 [1]; 0,6 - 0,7 [2] *; 0,55 - 0,6 [3]; 0,5 - 0,65 [4]	[3] = Fábrica austriaca
Fábrica no integrada de papel fino estucado	10,0 - 11,0 [1] 7,0 - 7,5 [2] *	1,1 - 1,3 [1]; 0,6 - 0,7 [2] *; 0,65 - 0,9 [4]	
Fábrica no integrada de papel tisú	6,5 - 7,5 [1] 5,5 - 6,0 [2]	0,9 - 1,1 [1]; 1,0 - 1,1 [2]; 0,5 - 2 [4]	[4] Para la producción de papel tisú, algunos equipos nuevos como TAD requieren mayor consumo de energía
Notas: * [2] se da sólo una cifra para papel fino en general			

Tabla 6.26: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de MTDs para distintos tipos de producción de papel, por tonelada de producto. Datos de [1] Jaakko Pöyry, 1998, [2] Informe SEPA 4712, [3] estudios de fábricas [4] datos de un proveedor.

La técnica descrita a continuación debe ser tomada sólo como un ejemplo de posibles ahorros de energía mediante tecnologías energéticamente eficientes. Los intercambiadores de calor recuperan la energía del aire de escape de la sequería de la máquina de papel, que es - junto con el refino - la etapa más importante en cualquier consideración de consumo de energía. Es posible que en una próxima versión revisada de este BREF se agreguen y desarrollen otros ejemplos.

Ejemplo: Ahorro de energía mediante sistemas de recuperación de calor

Descripción de la técnica: la finalidad del sistema de recuperación de calor es reducir el consumo de energía primaria de la fábrica utilizando la energía residual del proceso de un modo económicamente provechoso. Casi toda la energía calorífica consumida en una fábrica de papel se utiliza para el secado del papel, lo que convierte fácilmente la sequería en el mayor consumidor de energía en una máquina de papel. Aproximadamente el 80 % de la energía necesaria en la sequería se aporta como vapor primario a los cilindros de secado, y el resto viene en forma de aire de secado y de escape y con la hoja de papel continuo.

Casi toda la energía que abandona la sequería es expulsada con el aire de escape. Aproximadamente el 50% de esta energía, es decir unos 620 kWh por tonelada de papel, puede ser recuperado mediante un sistema de recuperación de calor eficaz (en condiciones de invierno).

Las aplicaciones típicas utilizan intercambiadores de calor aire-aire o aire-agua, ambos con diseño de placas (algunas aplicaciones utilizan también lavadores). Los primeros se utilizan principalmente para calentar el aire suministrado a la campana y el aire de ventilación de la sala de la máquina. La aplicación más común de los segundos es el calentamiento del agua de circulación y del agua de proceso. Estos intercambiadores de calor son parte de torres de recuperación de calor. En la Figura 6.20 se da un ejemplo de recuperación de calor combinada donde se calienta primero el suministro de aire de la campana y en segundo lugar el agua de circulación.

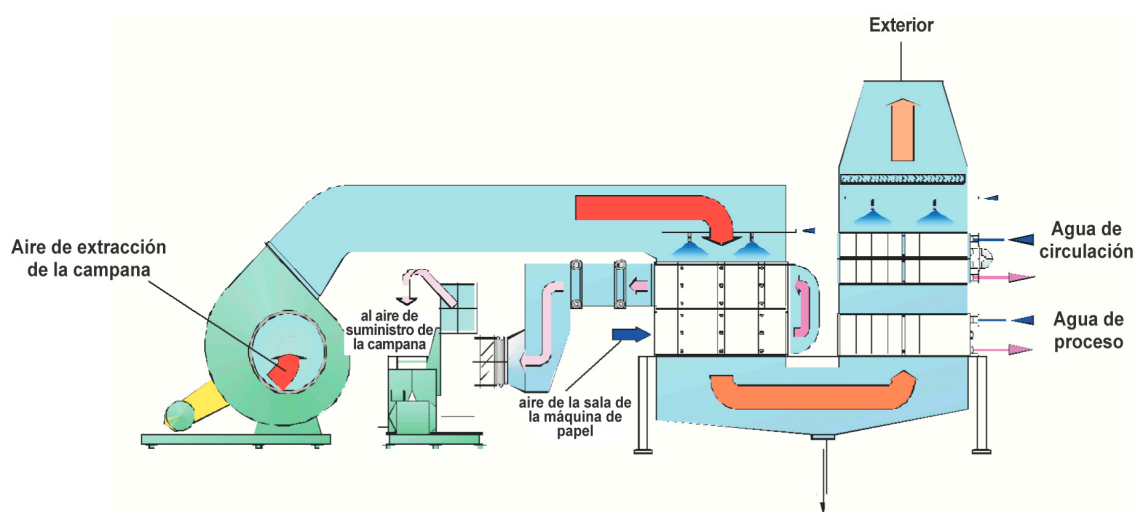


Figura 6.20: Ejemplo de una torre de recuperación de calor

Normalmente sólo parte del calor recuperado se devuelve a la sequería con el aire suministrado a la campana. La mayor parte se utiliza fuera de la campana para calentar el agua de proceso, el agua del foso de la sección de tela y el aire de ventilación de la sala de la máquina.

Aplicabilidad y caracterización de la medida: puede aplicarse tanto en plantas nuevas como existentes si los procesos producen caudales de aire de escape con un alto contenido de energía y si hay una necesidad de energía de calentamiento para distintas aplicaciones. Los intercambiadores de calor para calentar el aire de suministro a la campana son siempre aplicables. La posibilidad de aplicar la recuperación de calor para calentar agua de circulación (para calentar la sala de la máquina) o el agua de proceso dependerá de las características específicas de producción y de las condiciones climáticas. Debido a la interacción entre las unidades de sistema, un sistema de recuperación de calor optimizado sólo puede conseguirse analizando todo el sistema de recuperación de calor.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el ahorro de cantidades considerables de vapor primario, lo que supone un menor impacto ambiental de la generación de vapor. Los logros dependen entre otros de las condiciones climáticas.

Los flujos de energía principales en la sequería de una máquina de papel prensa típica equipada con unidades de recuperación de calor aire-aire y aire-agua se ilustran en la Figura 6.21. La mayor parte del calor es recuperado en el agua de circulación, que a su vez se utiliza principalmente para calentar el aire de ventilación de la nave. Otro importante usuario de la recuperación de calor es la calefacción del agua de proceso (ej: para duchas) y del agua del foso de la sección de tela. La calefacción del agua del foso de la sección de tela no se aplica a fábricas que utilizan pasta TMP, sino por ejemplo a fábricas que procesan fibras recicladas. El aire de suministro a la sequería es siempre calentado por el sistema de recuperación de calor.

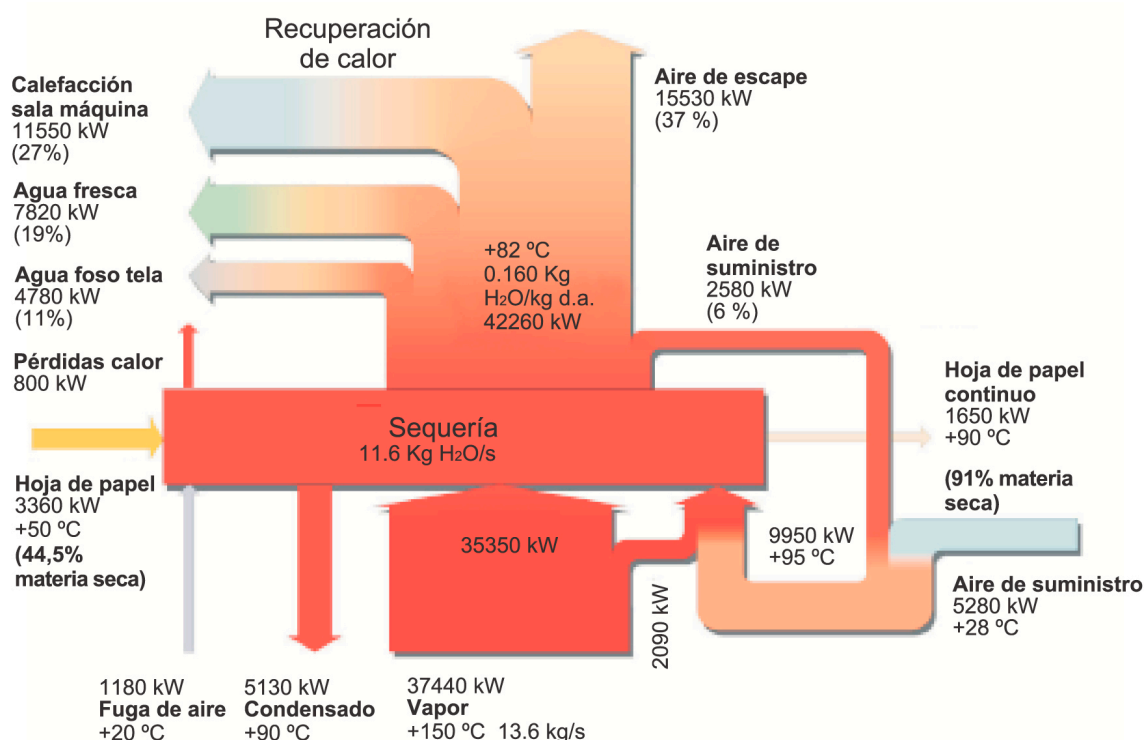


Figura 6.21: Diagrama de Sankey para una máquina de papel prensa (980 t/d).

Monitorización: el mantenimiento preventivo contribuye a evitar paradas innecesarias y costosas.

Efectos sobre otros medios: no se conocen efectos importantes sobre otros medios. Las medidas de ahorro energético se basan preferiblemente en balances energéticos precisos de toda la fábrica,

incluyendo diagramas de flujo de energía y opciones de proceso alternativo. Hay una fuerte relación entre los sistemas de agua y de energía.

Experiencias operativas: hay disponibles distintos sistemas de recuperación de calor, según el proveedor de la máquina. El sistema óptimo de recuperación de calor para los requisitos específicos de cada fábrica de papel debe ser diseñado individualmente para cada aplicación. Normalmente, los intercambiadores de calor están equipados con dispositivos de lavado para mantener una superficie limpia y evitar atascos.

Economía: los sistemas de recuperación de calor tienen normalmente periodos de amortización cortos. No siempre es económico recuperar todo el calor posible. Siempre hay que analizar la situación específica. La solución dependerá del precio relativo de la energía por kWh para combustible, vapor y electricidad.

Motivo principal de aplicación de esta técnica: ahorro de energía, reducción de la formación de gotas y neblinas.

Plantas de referencia: numerosas plantas en Europa.

Bibliografía: folletos de proveedores de maquinaria, [DG XVII, 1992], [Oficina de Eficiencia Energética, diversas publicaciones entre 1991 y 1997]

6.3.19 Medidas para la reducción del ruido

Descripción de la técnica: las fuentes de ruido industrial pueden dividirse de forma general en fuentes de ruido internas y externas. En una línea de fabricación de papel, el número de fuentes de ruido internas es grande (ver Sección 6.2.2.8). Una posible medida para el control del ruido interno es, por ejemplo, la instalación de una nueva campana cerrada con un mayor aislamiento acústico. Sin embargo, este tipo de medidas no se discutirá, ya que se consideran fuera del ámbito de este documento (entorno de trabajo). Para el control del ruido externo, son ejemplos de medidas la instalación de silenciadores absorbentes o resonadores de tubo para reducir los niveles de ruido de los ventiladores de extracción de aire y bombas de vacío, silenciadores y campanas de aislamiento acústico para los ventiladores situados en el tejado de la nave. A continuación se discuten con mayor detalle dos ejemplos.

Las medidas de reducción de ruido deben concentrarse preferiblemente en las fuentes principales, especialmente en todas las aberturas en paredes y techos. Las principales fuentes de ruido externo de una fábrica de papel son la ventilación del proceso (continua), la ventilación de la sala de la máquina (continua) la extracción de la bomba de vacío (continua), y la extracción de vapor (sólo ocasional). Además hay una serie de otras fuentes de ruido, especialmente en fábricas antiguas en las que el aislamiento acústico de la maquinaria no ha sido realizado adecuadamente.

En la planificación y operación de las instalaciones es necesario considerar las medidas necesarias para la prevención del ruido durante la fase de planificación. Normalmente, es más eficaz solicitar el asesoramiento de expertos. A la hora de aplicar medidas de reducción del ruido, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos:

- Obtención de información en una fase temprana acerca de las emisiones de ruido de maquinaria, instalaciones y partes de las mismas.
- Uso de máquinas y procesos de bajo nivel de ruido;
- Reducción de la generación y transmisión de ruido;
- Reducción de la emisión de sonido, por ejemplo mediante el uso de pantallas acústicas;
- Mantenimiento de la maquinaria y del equipo de aislamiento acústico.

El punto de partida para la eliminación del ruido son los requisitos de las autoridades de acuerdo con la situación de la fábrica (distancia al vecindario, zona de recreo o industrial, etc.) y los requisitos en el país en cuestión. Los puntos de inmisión (referencia) pueden estar situados en los límites de la fábrica o en varios puntos en la zona residencial. Los valores objetivo en las zonas residenciales deben cumplirse siempre, cuando se trate de maquinaria nueva. No obstante, también las fuentes de ruido existentes deben atenuarse cada vez más, ya que los requisitos se hacen más estrictos.

La anulación del ruido es relativamente cara en la mayoría de los casos. Por consiguiente, los aspectos de configuración y el diseño de medidas de eliminación de ruido son muy importantes en las fases tempranas de un proyecto. Cuando hay que atenuar fuentes de ruido existentes, los costes de silenciadores y de recintos o pantallas acústicas pueden ser muy elevados.

Es importante reducir el ruido en origen. Sin embargo, esto no es siempre posible. En tales casos pueden requerirse recintos aislantes para el equipo ruidoso o silenciadores. A la hora de dimensionar los silenciadores, debe conocerse la naturaleza de la fuente de ruido.

En el apartado siguiente sobre beneficios medioambientales que se consiguen se discuten dos ejemplos de atenuación del ruido externo mediante la instalación de silenciadores. Los requisitos de atenuación de ruido eran en rangos de frecuencias distintos.

Aplicabilidad de la medida: las medidas externas de atenuación de ruido pueden aplicarse en fábricas existentes y nuevas. Lo que marca la diferencia es principalmente el procedimiento para determinar los niveles de ruido actuales y a conseguir.

En máquinas existentes, el procedimiento de atenuación comienza con mediciones de ruido en los puntos de inmisión (referencia) en la zona residencial. Las mediciones prosiguen en la fábrica con el fin de encontrar las fuentes de ruido más críticas. El dimensionamiento de los silenciadores se determina mediante la interacción de mediciones y cálculos.

En instalaciones nuevas, los niveles de potencias sonora se basan en los datos de nivel de potencia sonora del proveedor de la máquina. Los cálculos sobre niveles de ruido previstos en los puntos de inmisión se realizan utilizando programas informáticos sobre propagación de ruido, por ejemplo según VDI 2714, incluyendo la contribución de todas las fuentes de ruido relevantes.

Las limitaciones de espacio pueden desembocar en soluciones de configuración algo distintas para fábricas existentes.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: el beneficio medioambiental de las medidas de control del ruido externo se muestra a través de dos ejemplos.

Ejemplo 1: Instalación de silenciadores de absorción (en una fábrica de papel francesa)

En este caso, el nivel de presión sonora ponderado equivalente a conseguir en las partes del pueblo que limitan con la fábrica de papel son 65 dB(A) de día y 55 dB(A) por la noche. Las mediciones de las fuentes de ruido mostraron que la contribución de los extractores de la campana cerrada era una de las más importantes. Los cálculos mostraron que la atenuación de estas fuentes en 15 dB(A) sería suficiente para alcanzar el nivel objetivo de noche de 55 dB(A) en los puntos de referencia.

El ruido de los ventiladores puede caracterizarse como un ruido de banda ancha, por lo que los silenciadores de absorción son adecuados en este caso. Los ventiladores están situados fuera y por consiguiente también necesitan aislamiento acústico. La Figura 6.22 muestra los niveles de ruido medidos antes y después de la instalación del silenciador en un punto de inmisión (aislamiento acústico incluido).

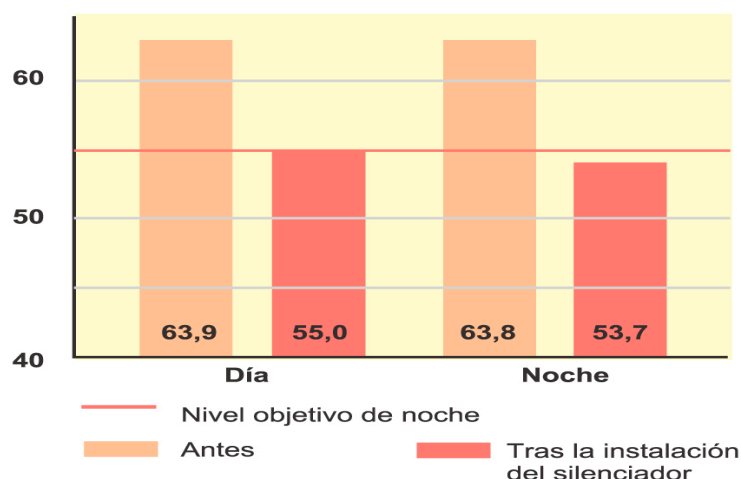


Figura 6.22: Niveles sonoros L_{Aeq} en un punto de referencia

Ejemplo 2: Instalación de silenciadores reactivos (en una fábrica de papel alemana)

En este caso, la emisión de ruido de las bombas de vacío de una máquina de papel causaba demasiado ruido en el punto de referencia fuera del recinto de la fábrica. Las mediciones de los niveles de presión sonora a 1 m de distancia de la bomba de vacío revelaron un pico de ruido a una frecuencia de 160 Hz, como se muestra en la Figura 6.23. Este pico era más de 10 dB(A) más alto que cualquier otra frecuencia. Los silenciadores reactivos (ej: resonadores de tubo) son eficaces para frecuencias bajas (menos de 500 Hz) y se instalaron en este caso. Las mediciones tras la instalación del silenciador mostraron que el nivel máximo de ruido se había reducido efectivamente en unos 28 dB(A) y que se había alcanzado el valor objetivo en el punto de inmisión, de 26,9 dB(A).

Cuando el nivel objetivo a una distancia de 1 m de la salida de los extractores o bombas de vacío sea inferior, se requerirá una combinación de silenciadores reactivos y de absorción. Asimismo, se necesitarán recintos acústicos aislantes para los extractores situados en el exterior.

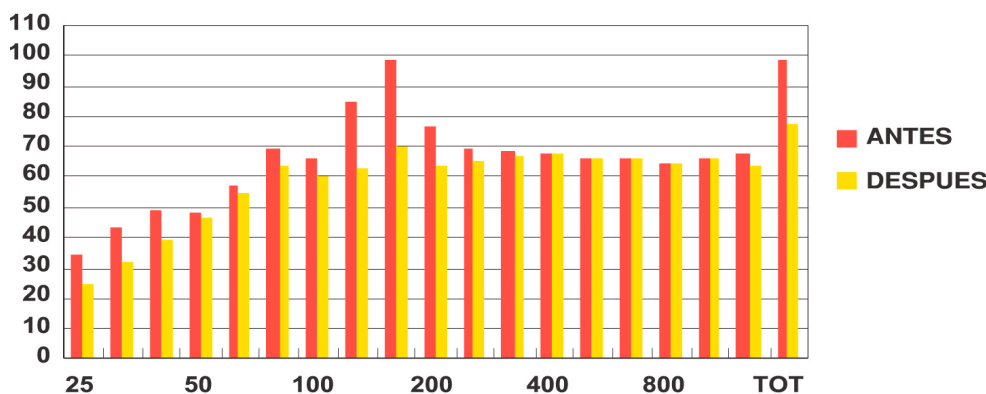


Figura 6.23: Atenuación con un resonador de tubo. Niveles de ruido antes y después de la instalación del silenciador

Monitorización de emisiones: sería beneficioso medir el nivel sonoro periódicamente (ej: una vez al año) para determinar si los silenciadores necesitan limpieza. No obstante, normalmente esto no se hace en las fábricas de papel.

Efectos sobre otros medios: los silenciadores pueden aumentar la pérdida de presión de aire de escape, lo que produce un ligero aumento del consumo de energía (kWh/ADt) de los ventiladores. Sin embargo, el consumo adicional de energía no es significativo.

Experiencias operativas: los silenciadores se han utilizado con éxito en muchas fábricas en Europa. El mantenimiento, consistente en la limpieza y sustitución regular (cuando se precise) del material de absorción, es necesario si el aire de escape contiene humedad y partículas.

Economía: es muy difícil dar cifras precisas sobre el coste de la atenuación del ruido, ya que los costes dependen del tamaño de la fábrica, de la calidad de papel producida, de la velocidad de la máquina de papel, etc. Los costes totales de atenuación del ruido (externo e interno) de una línea de fabricación de papel se estima que son del orden del 0,5% de los costes de inversión de la maquinaria, o incluso mayores según los niveles sonoros que se desee conseguir [Valmet].

La Figura 6.24 muestra los costes relativos de la atenuación del ruido externo. Para disminuir el nivel de presión sonora desde 85 dB(A) a 75 dB(A), los costes se doblan.

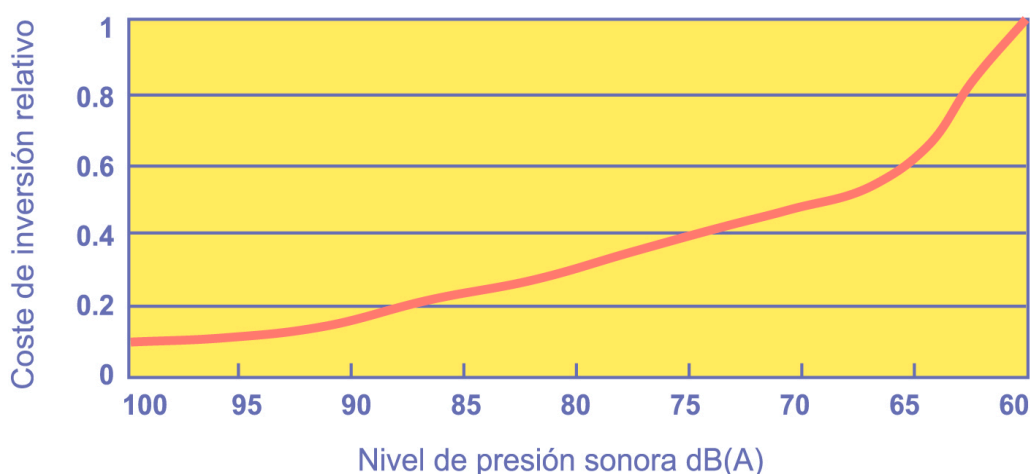


Figura 6.24: Costes relativos de la atenuación del ruido externo [según Valmet].

Motivo principal de aplicación de estas técnicas: desde el punto de vista de la salud, el ruido puede ser uno de los problemas ambientales más graves. Gran número de personas en el territorio de la UE están expuestas a ruidos perjudiciales. Los requisitos oficiales en distintos países, junto con las directivas de la UE, han producido una mayor demanda de prevención del ruido en la etapa de diseño de la máquina. No obstante, también han establecido normativas de ruido para los equipos existentes y para el control del ruido externo. Según el tipo de zona afectada por el impacto del ruido de las fábricas de papel, por ejemplo en Alemania, hay que alcanzar los siguientes niveles de ruido para evitar un impacto dañino del ruido en la vecindad:

de día	de noche	Tipo de zona junto a la fábrica de papel
70 dB(A)	70 dB(A)	Zona industrial
65 dB(A)	50 dB(A)	Zonas comerciales y de oficinas
50 dB(A)	35 dB(A)	Zona residencial
45 dB(A)	35 dB(A)	Zonas de instituciones (públicas) especiales, como hospitales

Tabla 6.27: Ejemplo de niveles del ruido a alcanzar en la vecindad de fábricas de papel (Normativa en Alemania)

No obstante, el rango de variación de los objetivos de nivel de ruido en los Estados Miembros de la UE es grande. Las explicaciones de las grandes variaciones son la distancia de la fábricas a las zonas residenciales, diferencias en densidad de población, densidad del tráfico, objetivos ambientales, etc.

Plantas de referencia: la mayoría de fábricas europeas utilizan distintos tipos, diseños y cantidades de silenciadores. Las medidas generales para la atenuación del ruido se aplican en numerosas fábricas en Europa.

6.4 Mejores Técnicas Disponibles

6.4.1 Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se recomienda al lector retroceda al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector; para las plantas integradas de proceso de FRC, las principales preocupaciones son el consumo de agua, los vertidos de aguas residuales (DQO, DBO, sólidos en suspensión, N, P, AOX), el consumo de energía (vapor y electricidad), los residuos sólidos como rechazos, lodo y ceniza, las emisiones a la atmósfera procedentes de la generación de energía (SO₂, NO_x, CO₂, polvo), el ruido, el calor residual al agua y a veces el olor; los tres últimos son impactos de carácter local;
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

La opinión experta de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico (grupo de trabajo) relevante ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse como que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe interpretarse como que es de esperar que este nivel se alcance durante un período de tiempo substancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica respecto a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar estos factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTDs generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera, servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales del MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información orientativa a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumo alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

La fabricación de papel no es un solo proceso sino una serie de procesos unitarios, a menudo ligados e interdependientes. Por lo tanto, es siempre una combinación adecuada de técnicas la que constituye MTD para las plantas de proceso de FRC. El orden de prioridad y la selección de las técnicas o las combinaciones de técnicas depende de las circunstancias locales.

Las mejores técnicas disponibles abajo indicadas son, si no se indica lo contrario, aplicables a plantas nuevas y existentes. En las fábricas de papel, la aplicabilidad de una técnica está menos influenciada por el hecho de si una planta es nueva o existente. Las fábricas de papel se caracterizan por el hecho de que la maquinaria se remodela en lugar de ser sustituida por completo. La remodelación y el desarrollo modular de las plantas significa que cada instalación es un producto único por su localización e historia. Por otra parte, hay una serie de procesos unitarios que son comunes en todos los países.

Los criterios a considerar en la determinación de las MTD en los casos específicos son más bien que los costes específicos para fábricas mas pequeñas son relativamente más altos (economía de escala). Otros factores a considerar son las limitaciones de espacio, que algunas fábricas antiguas deben afrontar, o la falta de adecuación del material o de la configuración de equipos antiguos que no son compatibles con un mayor grado de cierre de los circuitos de agua. Un mayor cierre del sistema del agua se combina en general con una mayor complejidad del sistema, que necesita ser monitorizado, controlado y comprendido. En ocasiones, las fábricas más pequeñas podrían no disponer del conocimiento necesario para gestionar y controlar soluciones de proceso más complejas con la máxima eficacia posible.

6.4.2 MTD para fábricas de papel

A continuación se detallan las técnicas que se consideran como MTD para fábricas de papel. La lista siguiente de MTD no se considera exhaustiva, y cualquier otra técnica o combinación de técnicas que alcancen el mismo (o mejor) funcionamiento pueden también ser consideradas; tales técnicas pueden estar en fase de desarrollo o ser técnicas emergentes o ya disponibles y no estar

descritas en este documento. Si no se indica lo contrario, los datos hacen referencia a valores medios anuales.

Medidas generales

1. Formación, educación y motivación del personal y operarios. Las fábricas de pasta y de papel son gestionadas por personas. Por consiguiente, la formación del personal puede ser una forma muy rentable de reducir las descargas de sustancias nocivas, como por ejemplo las emisiones accidentales de productos químicos.
2. Optimización del control de procesos. Para poder reducir distintos contaminantes de forma simultánea y mantener bajas las emisiones, se requiere un control de proceso mejorado.
3. Para mantener la eficacia de las secciones de las fábricas de papel y las técnicas de eliminación asociadas a un alto nivel, debe asegurarse un mantenimiento suficiente.
4. Un sistema de gestión medioambiental que defina claramente las responsabilidades de los aspectos medioambientalmente relevantes en una fábrica, aumente la concienciación e incluya objetivos y medidas, instrucciones sobre procesos y tareas, listas de chequeo y otra documentación relevante.

Medidas para reducir las emisiones al agua

1. Minimización del consumo de agua para las distintas calidades de papel aumentando el reciclaje de las aguas de proceso y una buena gestión del agua.

El conocimiento exacto del consumo y de la calidad de agua en sus distintos usos forma la base para una buena gestión del agua. En las fábricas de papel que aplican las MTDs, el agua fresca se introduce principalmente en el proceso como agua para rociadores (duchas) y manipulación de aditivos químicos. Las técnicas más eficaces de recuperación de fibras y cargas han permitido utilizar el agua clara resultante en los rociadores menos críticos de la máquina de papel, aumentando así el reciclaje de agua. Las materias disueltas inorgánicas y orgánicas y coloidales (DisCo) han restringido sin embargo el uso de estas aguas en la sección de tela. La cantidad de agua fresca requerida viene determinada, en parte, por la concentración de contaminantes en el agua de proceso.

El índice de reciclaje de los filtrados claros puede aumentarse más adoptando la ultrafiltración (UF) como técnica para el tratamiento interno de las aguas blancas. Dado que esta técnica está todavía en el desarrollo y sólo se aplica a plena escala productiva en unas pocas fábricas en Europa, aún no se considera como MTD, aunque las experiencias industriales son prometedoras. Sin embargo, debido a la eliminación sólo parcial de las materias disueltas mediante el uso de la UF, un ulterior aumento del reciclaje (ej: para los rociadores en la sección de prensa) aún no se considera factible. La acumulación de materiales disueltos puede perjudicar la operatividad, la calidad del papel y el efecto de las sustancias químicas en la fabricación del papel. La circulación cerrada de las aguas de la máquina de papel requeriría técnicas de separación más eficaces, como la nanofiltración o la ósmosis inversa u otras técnicas complementarias. A causa de los altos costes, los efectos negativos sobre otros medios (principalmente la energía) y la falta de experiencia industrial, estas técnicas no se consideran como disponibles.

2. Control de las posibles desventajas del cierre de los sistemas de agua.

El cierre de los sistemas de agua requiere concienciación, conocimientos, y actuaciones adecuadas para controlar el sistema de agua. El control microbiano, el diseño apropiado de las conducciones y sistemas de almacenaje y la selección de materiales ayuda a mantener las superficies en condiciones limpias y reducir la necesidad de limpiezas. La monitorización de las corrientes de reciclaje mediante mediciones y análisis de laboratorio puede servir para determinar el funcionamiento real de los procesos de separación y la calidad de las aguas de rociadores y otras aguas de proceso.

La recogida de datos sobre caudales de agua y el estado químico de los sistemas de agua hacen posible estudiar y controlar el comportamiento del agua de toda la fábrica y determinar las

mejores condiciones de operación para cambios de calidad, arranques y paradas. Por ejemplo, los procedimientos de operación con elevados pH o gradientes de temperaturas deben evitarse, ya que producen depósitos dañinos y formación de incrustaciones. La automatización es también beneficiosa. Las mediciones en línea y un preciso control del proceso son esenciales para una fabricación de papel eficaz y estable.

3. Construcción de un sistema equilibrado de agua blanca, filtrado (claro) y sistema de almacenaje de rotos, y utilización de equipos, diseño y maquinaria con un consumo reducido de agua cuando sea posible. Esto es normalmente cuando se sustituyen maquinaria o componentes, o en remodelaciones.
4. Medidas para reducir la frecuencia y los efectos de los vertidos accidentales. Esto incluye la formación del personal para el caso de vertidos accidentales de sustancias químicas a la planta de tratamiento de efluentes, y suficientes medidas de precaución para evitar accidentes.
5. Recogida y reutilización de aguas de refrigeración y sellado limpias, o evacuación separada. El reciclaje de las aguas de refrigeración y sellado, puede aumentarse mediante el uso de intercambiadores de calor o una torre de refrigeración. No obstante, se requieren métodos de monitorización y control microbiano y de calidad del agua, con el fin de asegurar un funcionamiento del sistema sin anomalías.
6. Pretratamiento separado de las aguas de estucado. En casos en los que no sea posible la recuperación y reutilización de la salsa de estucado de las aguas de estucado, mediante la técnica de membranas, la floculación de esta corriente parcial concentrada de aguas residuales se considera MTD. La técnica de separación por UF se menciona como medida para reducir los residuos sólidos (ver más adelante).
7. Sustitución de las sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos perjudiciales. La eficacia de eliminación después del tratamiento de aguas residuales y el impacto medioambiental en su conjunto puede mejorarse mediante el uso de auxiliares de producción y agentes químicos de proceso no tóxico y con mejores características de biodegradabilidad.
8. Tratamiento de efluentes de aguas residuales mediante la instalación de una balsa de homogeneización y tratamiento primario. Estas medidas se aplican en casi todas las fábricas de papel y se consideran buenas prácticas. Son un prerrequisito para plantas de tratamiento biológico de aguas residuales con un funcionamiento bueno y estable. No se consideran como MTD sino como técnicas aisladas, excepto para unas pocas calidades de papel que emiten cargas de emisiones específicas muy bajas al agua.
9. Tratamiento secundario o biológico de aguas residuales, y/o en algunos casos, precipitación química o floculación secundaria de aguas residuales. Cuando sólo se aplica tratamiento químico, las descargas de DQO serán algo más altas, pero principalmente se compondrán de materia fácilmente degradable. Hay gran variedad opciones de tratamiento disponibles que alcanzan buenos resultados en la reducción de la carga orgánica en los efluentes. La elección de la opción de tratamiento está principalmente determinada por la concentración inicial, las características de las aguas residuales y la eficacia de eliminación que debe alcanzarse. El correcto diseño y mantenimiento de la planta de tratamiento es un requisito previo para un buen funcionamiento de los sistemas biológicos. Según la concentración inicial y el sistema de tratamiento escogido, las eficacias de eliminación de la carga de contaminación asociadas con las MTDs para los contaminantes indicados se considera que son:

Rango inicial de concentración	Tratamiento	Eliminación de DQO	Eliminación de DBO	Elim. de AOX	SST después de tratamiento	Nutrientes
DBO > 500 mg /l	Filtro de goteo + lodo activado	80 - 90 %	95+ %	30 - 50%	Concentración menos de 30 mg/l	Añadidos a la EDAR
DBO > 500 mg /l	Filtro de goteo (pretratamiento)	50 - 60 %	60 - 70%	30 - 50%	Concentr. alta, unos 100 mg/l	Añadidos a la EDAR
DBO > 100 mg /l	Lodo activado ¹⁾²⁾	75 - 90 %	90 - 95+ %	30 - 50%	Concentr. menos de 30 mg/l	Añadidos a la EDAR
DBO < 150 mg /l	Biofiltración	40 - 60%	60 - 80 %	30- 50%	Concentración: 10 - 30 mg/l	Añadidos a la EDAR
Notas: EDAR = Estación de Tratamiento de Aguas Residuales 1) Estas eficacias de eliminación se consiguen mediante sistemas de lodo activado de baja carga con una relación nutrientes / masa entre 0.2 kg DBO/kg SST*d (o un tiempo de retención de alrededor de 1 día). 2) En unas pocas aplicaciones se reportan también buenas eficacias de eliminación para plantas con carga elevada.						

Tabla 6.28: Ejemplos de eficacias de eliminación de sistemas adecuados de tratamiento biológico para los efluentes de fábricas de papel

El tratamiento común de aguas residuales de una fábrica de papel, o de un consorcio de fábricas de papel, en la planta municipal de tratamiento biológico de aguas residuales también se considera como MTD cuando se consiguen eficacias de eliminación comparables mediante este tratamiento común.

Es difícil presentar cifras sobre la eficacia de las técnicas mencionadas en los puntos 1 a 8 que excluyen el tratamiento biológico, ya que las fábricas de papel que funcionan bien por lo general tienen también tratamiento biológico y no reportan las emisiones antes del tratamiento separadamente. No son sobre todo transparentes respecto a con qué técnicas están asociados los niveles de emisiones con sólo tratamiento primario. Por lo tanto, en los ejemplos siguientes no es posible determinar de forma precisa en qué técnicas están basados. Las fábricas no se considera que representan MTDs, sino que son ejemplos reales que pueden dar una indicación de las emisiones al agua cuando no se aplica tratamiento biológico. Por consiguiente, los valores de la Tabla 6.29 hacen todos referencia a descargas al agua con sólo tratamiento primario (tratamiento físico-químico).

Fábricas ¹⁾	DQO [kg/t]	DBO ₅ [kg/t]	SST [kg/t]	Caudal [m ³ /t]	Producción 97 [t/d]	Comentarios
Fábrica 1, papel fino sin estucar	8,7	2,2	1,0	32,6	n/d.	Sin tratamiento biológico
Fábrica 2, papel fino sin estucar	6,1	1,3	0,7	37,4	n/d.	Sin tratamiento biológico
Fábrica 3, papel fino sin estucar	5,7	1,3	0,9	42	n/d.	Sin tratamiento biológico
Fábrica 4, papel fino estucado	3,4	1,1	0,5	13,5	n/d.	Floculación + clarificador
Fábrica 5, papel fino estucado	5,1	1,5	1,0	48	n/d.	Floculación + clarificador
Fábrica 6, papel fino estucado	3,6	1,4	1,4	24	n/d.	Floculación + clarificador
Fábrica 7, papel tisú (fibra virgen)	2,2	0,6	0,3	36	n/d.	Floculación + clarificador
Fábrica 8, papel tisú (fibra virgen, DE)	1,1	0,15	0,002	5	29000	Filtro de disco
Notas: 1) Se pidió a la EIPPCB que los datos facilitados fueran tratados de forma confidencial						

Tabla 6.29: Ejemplos de niveles medios anuales de emisiones al agua después de sólo tratamiento primario en algunas fábricas de papel no integradas en un Estado Miembro (año de referencia: 1997). La lista de fábricas es una selección de fábricas de las que había datos disponibles, y por lo tanto no pretende ser completa.

Ejemplos de fábricas de papel	Niveles de emisiones reportados después del tratamiento biológico						Tipo de tratamiento
	DQO [kg/t]	DBO ₅ [kg/t]	AOX [kg/t]	SST [kg/t]	Flow ³⁾ [m ³ /t]	Producción '97 [t/a]	
Fábrica 1, papel fino sin estucar, SE	0,63	0,3	n./d.	0,2	2,6	150000 ('98)	Filtro de goteo + reactor de lecho móvil
Fábrica 2, papel fino sin estucar, Holanda	1,5	0,4	n/d.	0,3	14	n/d.	n/d.
Fábrica 3, papel fino estucado /sin estucar, Alemania	0,44	0,1	0,0007	n/a.	4,5	1000020	Filtro de goteo + lodo activado
Fábrica 4, papel fino estucado, Holanda	0,93	0,17	< 0,01	0,23	13,8	n/d.	n/d.
Fábrica 5, papel estucado, Suecia	0,95	0,17	0,0025	0,26	9,53	180000	Reactor lecho móvil + precipitación química
Fábrica 6, papel fino estucado, Francia	0,4	0,1	n/d.	0,2	14	125000	Lodo activado
Fábrica 7, papel fino estucado, Francia	0,8	0,3	n/d.	0,2	14	125000	Filtro de goteo + lodo activado
Fábrica 8, papel fino estucado, Francia	0,4	0,2	n/d.	0,4	11,5	160000	Lodo activado
Fábrica 9, papel tisú, (fibra virgen) Francia	1,5	0,4	n/d.	0,2	20	n/d.	Lodo activado
Fábrica 10, papel tisú, (fibra virgen), D	0,67	0,11	0,005	n/d.	11,5	97000	Lodo activado

Tabla 6.30: Ejemplos de los niveles medios anuales de emisiones al agua después del tratamiento biológico de algunas fábricas de papel con buen funcionamiento en Europa (año de referencia: 1997)

Debido a la falta de transparencia acerca de si las fábricas sin tratamiento biológico han aplicado las MTDs (y en qué medida), no se proponen niveles de emisiones asociados con el uso de las MTDs con sólo tratamiento primario.

La Tabla 6.30 muestra los niveles de emisiones de algunas fábricas no integradas de papel en Europa que se considera que operan correctamente. Puede suponerse que han aplicado una combinación adecuada de las MTDs, aunque no necesariamente todas, y también tratamiento biológico de aguas residuales.

Suponiendo un correcto diseño y capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales y un funcionamiento adecuado controlado por operarios expertos, los niveles de emisiones asociados con una combinación de MTDs se consideran los indicados en la Tabla 6.31. Las cargas de efluentes excluyen la contribución de la fabricación de pasta.

Pese al enorme número de distintos tipos de productos de papel fabricados, puede afirmarse que las fábricas de papel que han aplicado las MTDs consiguen emisiones al agua relativamente similares. Por lo que respecta a las descargas después de un tratamiento adecuado de aguas residuales de las distintas categorías de producción de papel, no se observaron diferencias significativas entre calidades de papel (excepto en el caso de las fábricas de papeles especiales; ver Sección 6.4.3).

Los datos de emisiones hacen referencia a producción de papel no integrada. No obstante, hay un número creciente de fábricas en Europa que están sólo parcialmente integradas, es decir, para una parte de la composición se dispone de producción de pasta, mientras que las otras partes consisten en pasta comercial comprada. En este caso, las emisiones del proceso de producción pasta deben agregarse a la producción de papel según la contribución de las actividades de producción de la pasta.

Parámetros	Unidades	Papel fino sin estucar ¹	Papel fino estucado ²	Papel tisú ³
DBO ₅	kg/t	0,15-0,25	0,15-0,25	0,15-0,4
DQO	kg/t	0,5-2	0,5-1,5	0,4-1,5
SST	kg/t	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4
AOX	kg/t	< 0,005	< 0,005	< 0,01 ⁴
Total P	kg/t	0,003-0,01	0,003-0,01	0,003-0,015
Total N	kg/t	0,05-0,2 ⁵	0,05-0,2	0,05-0,25
Aguas residuales	m ³ /t	10-15 ⁶	10-15	10-25 ⁷

Notas:

- 1) El suministro de fibra puede ser, por ejemplo, un 100% de pasta kraft blanqueada, y las cargas y colas pueden representar un 15-30 %. Para papel encolado en masa hay que tener en consideración los rangos superiores de DQO y BDO.
- 2) Suministro de fibra 100% pasta química comercial. Para papel tisú fabricado a base de una mezcla de fibras recicladas y vírgenes, ver también Capítulo 5.4.2.
- 3) El elevado valor de AOX puede ser causado por agentes de resistencia en húmedo que contienen sustancias organocloradas.
- 4) Para calidades con color, las emisiones de nitrógeno pueden ser mayores si se usan azocolorantes.
- 5) Para fábricas que producen calidades coloreadas o muy coloreadas, el consumo de agua fresca normalmente no puede situarse por debajo de 17 m³/t.
- 6) Un cambio en el gramaje básico y la velocidad de la máquina de papel tiene un efecto significativo en el consumo específico de agua. Menores gramajes básicos (hasta sólo 12 g/m²) y velocidades más bajas corresponden a un mayor consumo específico de agua.

Tabla 6.31: Niveles medios anuales de emisiones y consumos asociados con el uso de las MTDs para fábricas no integradas de papel fino sin estucar, fábricas no integradas de papel fino estucado y fábricas no integradas de papel tisú.

La Tabla 6.31 debe leerse junto con las siguientes explicaciones adicionales:

DBO: en plantas de tratamiento bien diseñadas, la DBO se elimina casi totalmente (eliminación 95%+) de las aguas residuales de las fábricas de papel cuando la relación de carbono-fósforo-nitrógeno y el suministro de oxígeno se mantienen a un nivel suficiente y se controlan bien. En caso de perturbaciones, o si algunos de los parámetros operativos se apartan del nivel objetivo, la concentración de DBO en los efluentes comenzará a aumentar. Los niveles de DBO₅ estarán generalmente bastante por debajo de 25 mg DBO₅/l y pueden alcanzar valores de hasta 5 mg/l (eliminación casi total). No obstante, los niveles de DBO de alrededor de 5 mg/l apenas son medibles y reproducibles de forma precisa. Según el caudal de agua, estos niveles corresponden a 0,15 kg DBO₅/t (a 10 mg/l y 15 m³ de caudal/t) y a 0,25 kg DBO₅/t respectivamente (a 25 mg/l y 10 m³ de caudal).

DQO: según la calidad de papel fabricada, las técnicas aplicadas para prevención y control de emisiones y el caudal de agua por tonelada de producto, las aguas residuales de las fábricas de papel después del tratamiento contienen entre 50 y 150 mg DQO/l.

SST: en condiciones de funcionamiento normal, el agua del clarificador secundario es bastante clara y el contenido de sólidos en suspensión es del orden de 20 a 30 mg/l. Esto corresponde a descargas de 0,2 - 0,4 kg SST/t. Los valores dependen de la carga superficial del clarificador secundario y de las características de la biomasa. Con biofiltración también pueden obtenerse concentraciones más bajas.

AOX: hoy en día, los vertidos de compuestos organoclorados son muy bajas, ya que la pasta comercial empleada en las fábricas de papel no integradas es normalmente pasta blanqueada ECF o TCF. El resultado del tratamiento con lodo activado produce una ulterior reducción de AOX entre 30 y 50 %. Sin embargo, esta reducción se alcanza en parte separando estos compuestos durante el tratamiento de aguas residuales. Según el tipo de pasta comercial y los aditivos químicos

usados, las fábricas de papel tienen descargas de compuestos orgánicos clorados inferiores a 0,005 kg/t.

N y P: normalmente se agregan nutrientes minerales a la planta de tratamiento biológico para mantener el equilibrio C: P: N, que es de importancia crucial para el crecimiento de biomasa activa. Para encontrar y mantener un equilibrio entre carbono biodegradable y compuestos de nitrógeno y fósforo, se requiere un cierto ajuste fino de la cantidad de nutrientes agregados. Generalmente, el fósforo se agrega como ácido fosforoso, y nitrógeno en forma de urea. Cuando el sistema está bien optimizado, pueden alcanzarse descargas de nutrientes bien por debajo de 1 mg tot-P/l y 5 mg N total/l. Las cargas correspondientes son 0,003-0,01 kg P/t y 0,05-0,2 k/g N/t respectivamente.

Medidas para reducir las emisiones a la atmósfera: las emisiones a la atmósfera de fábricas de papel no integradas están relacionadas principalmente con las calderas de vapor y las plantas para la producción de electricidad. Las plantas de energía son generalmente calderas estándar y no se diferencian de otras plantas de energía. Se supone que están reguladas como otras plantas de la misma capacidad. Por lo tanto, las MTDs generalmente reconocidas se mencionan sólo brevemente en esta sección.

1. Instalación de tecnología baja en NO_x en calderas auxiliares.
2. Reducción de las emisiones de SO₂ de calderas de vapor usando combustible bajo en azufre o controlando las emisiones de S.
3. Uso de cogeneración de calor y energía.
4. Uso de fuentes renovables como madera o restos de madera para reducir las emisiones de CO₂ fósil (sólo aplicable si la fábrica de papel está integrada con una línea de producción de pasta virgen).

Los niveles de emisiones asociados con las MTDs de calderas auxiliares que incineren biocombustibles propios y/o diversos combustibles fósiles se indican en la tabla siguiente. Hay que destacar que las calderas auxiliares, dentro de la industria de la pasta y el papel, son de un tamaño muy variable (desde 10 a más de 200 MW). Para las más pequeñas solamente, puede aplicarse el uso de combustible bajo en azufre y técnicas de combustión con costes razonables, mientras que para las más grandes es necesario aplicar también medidas de control. Esta diferencia se refleja en la tabla siguiente. El rango más alto se considera MTD para instalaciones más pequeñas, y se consigue cuando sólo se aplican medidas de calidad de combustible y medidas internas; los niveles más bajos (entre paréntesis) están asociados con medidas de control adicionales como SNCR y lavadores, y se consideran como MTD para instalaciones más grandes.

Sustancias emitidas	Carbón	Fuel-oil pesado	Gasóleo	Gas	Biocombustible (ej: corteza)
mg S/MJ de aporte de combustible	100 - 200 ¹ (50 - 100) ⁵	100 - 200 ¹ (50-100) ⁵	25-50	<5	< 15
mg NO _x /MJ de aporte de combustible	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	80 - 110 ² (50-80 SNCR) ³	45-60 ²	30 -60 ²	60 -100 ² (40-70 SNCR) ³
mg polvo/Nm ³	10 - 30 ⁴ al 6% O ₂	10 - 40 ⁴ al 3 % O ₂	10-30 3% O ₂	< 5 3% O ₂	10 - 30 ⁴ al 6% O ₂
Notas: 1) Las emisiones de azufre de las calderas a fuel-oil o carbón dependen de la disponibilidad de fuel-oil y carbón con bajo contenido de azufre. Puede conseguirse una cierta reducción de azufre con la inyección de carbonato cálcico. 2) Sólo se aplica tecnología de combustión. 3) También se aplican medidas secundarias como SNCR; normalmente sólo en instalaciones grandes. 4) Valores alcanzados cuando se utilizan precipitadores electrostáticos eficaces. 5) Cuando se utiliza un lavador; sólo se aplica a instalaciones grandes.					

Tabla 6.32: Niveles de emisiones asociados con el uso de MTDs para distintos combustibles

Las cargas de emisión específicas atmosféricas por tonelada de papel son específicas de cada instalación. Las diferencias en las emisiones a la atmósfera por tonelada de producto son causadas por dos aspectos principales: el tipo de suministro de energía incluyendo el combustible usado y la reducción de aire aplicada, y la cantidad de vapor y electricidad consumida por tonelada de producto. La calidad de papel, los requisitos específicos de energía para conseguir una cierta calidad de papel y el empleo de tecnología energéticamente eficiente tiene influencia sobre la demanda específica de vapor y electricidad.

El primer aspecto, la elección entre gas, fuel-oil o carbón, madera o electricidad, depende mucho de las condiciones económicas predominantes, y se considera fuera del alcance de este documento especificar cuál de estos combustibles representa MTD. Sin embargo, cuando hay accesible un suministro de gas natural y si las condiciones económicas permiten el empleo de gas natural, se considera que representa MTD. Cuando se utiliza fuel-oil, un contenido de azufre del 1% o menos se considera que representa MTD.

La demanda de energía de fábricas eficientes se discute más adelante.

De la combinación sistema de suministro de vapor y de electricidad, la selección de combustible, la reducción de aire aplicada y el consumo de energía pueden derivarse las emisiones específicas del producto.

Para las calidades de papel estucado, una selección cuidadosa de las recetas de salsa de estucado se considera MTD. Con esta medida puede evitarse o reducirse la emisión de compuestos orgánicos volátiles y de algunas sustancias a controlar, como por ejemplo acrilonitrilo o formaldehído, que pueden aparecer en el aire de escape de las máquinas de estucado. En especial, deben evitarse las recetas de salsa de estucado que contengan compuestos cancerígenos.

Medidas para la reducción de residuos sólidos

1. La minimización de la generación de residuos sólidos y la recuperación, reciclaje y reutilización de estos materiales en la medida de lo posible.
2. Recogida separada de las fracciones residuales en origen y, en caso necesario, almacenaje intermedio de residuos / desechos para hacer posible el reciclaje o reutilización de un mayor porcentaje, en lugar de su desecho en vertedero.
3. Reducción de las pérdidas de fibra y cargas.
Anteriormente, en las fábricas de papel antiguas, los tanques de sedimentación eran la técnica dominante. La eficacia de separación puede mejorarse considerablemente mediante un filtro de disco o una unidad de microflotación.
4. Recuperación y reciclaje de las aguas residuales de estucado.
El uso de ultrafiltración para la recuperación de las aguas residuales de estucado se ha aplicado con éxito en muchas fábricas, y a lo sumo se han reportado pequeños efectos negativos en la calidad del papel fino y el papel artístico cuando se utiliza concentrado en el pre-estucado. En fábricas de papel de revista pueden usarse pequeñas cantidades de concentrado de UF sin desventajas en la calidad. Sin embargo, hay que considerar muchos aspectos técnicos y logísticos a la hora de aplicar estas técnicas, lo que lo hace difícil para fábricas pequeñas.
5. Pretratamiento del lodo (deshidratación) antes de su reutilización o desecho final
Hay varias técnicas disponibles para deshidratar los residuos y lodos. El contenido de materia seca resultante depende de las características del lodo y de las técnicas de deshidratación aplicadas. Un mayor contenido de materia seca por lo general significa menos exigencias de transporte y un mayor valor calorífico del lodo, lo que es sobre todo interesante en los casos en que los residuos son quemados. En caso de desecho, podría aplicarse una estabilización biológica antes de la deshidratación.
6. Reducción de la cantidad de residuos a desechar en vertedero. Identificación de las posibilidades de operaciones de recuperación y - si es factible - utilización de los residuos para el reciclaje del material o la incineración de rechazos y lodo con recuperación de energía.

En algunos casos, se requieren combustibles de apoyo o la adición de residuos con mayor valor calorífico (ej: corteza, restos de madera) en la reducción de la cantidad de desechos en vertedero mediante técnicas de combustión.

La cantidad de residuos a desechar en vertedero depende principalmente del grado de utilización y las opciones de tratamiento escogidas. La elección de las opciones de tratamiento está influenciada por factores como la infraestructura local, costes y competencia con residuos de otras industrias.

Hay que destacar que hay poca información detallada y fiable disponible sobre las cantidades alcanzables de residuos sólidos. Hay una carencia de datos estadísticos y en Europa se utilizan diversas terminologías para las distintas fracciones de residuos. Por lo tanto, no se presentan valores de cantidades específicas según producto de residuos sólidos a desechar en vertedero.

Medidas de ahorro de energía: en general, en este sector, se considera MTD el uso de tecnologías energéticamente eficientes. Hay disponibles muchas opciones para el ahorro de energía en muchas etapas dentro del proceso de fabricación. Estas medidas están generalmente vinculadas a inversiones para sustituir, remodelar o modernizar el equipo de proceso. Debido a economías de escala, las fábricas más pequeñas tienen menos posibilidades de invertir en nuevas tecnologías energéticamente eficientes. Hay que destacar que la mayoría de medidas de ahorro de energía no se aplican sólo por ahorro de energía. La eficacia de producción, la mejora de la calidad del producto y la reducción de los costes globales es la base más importante para las inversiones. Las tecnologías de ahorro de energía pueden, por lo tanto, considerarse como técnicas que se incorporan en muchos otros aspectos de la fabricación de papel.

Para reducir el consumo de vapor y electricidad, se hallan disponibles las medidas siguientes:

1. Puesta en práctica de un sistema para controlar el consumo y el rendimiento energético. Sobre la base de una información fiable sobre rendimiento energético, podrán tomarse acciones apropiadas. La gestión de la energía incluye fijar, controlar, estudiar y revisar objetivos de rendimiento energético.
2. Una deshidratación más eficaz de la hoja de papel continuo en la sección de prensa de la máquina de papel, utilizando tecnologías de prensa de nip ancho (zapata) (esto no se aplica a fábricas de papel tisú).
3. El uso de tecnologías energéticamente eficientes, como por ejemplo fabricación de pasta de alta consistencia, mejores prácticas de refino, formación con doble tela, motores de velocidad variable para ventiladores y bombas, motores eléctricos de alta eficacia, recuperación del vapor condensado, aumento de la materia seca en la prensa de encolado o sistemas de recuperación de calor del aire de escape.
La aplicación de algunas de estas técnicas es sólo posible en una remodelación o cuando esté prevista la sustitución del equipo.
4. Reducción del uso directo de vapor con una integración cuidadosa del proceso mediante análisis de pinch.

En muchos países europeos, hay poca información públicamente disponible sobre los balances de energía de fábricas de papel. Se utilizan distintos esquemas de información, de haberlos, acerca del consumo de energía. La demanda de energía depende también de la calidad del producto (sobre todo en fábricas de papel tisú) y en parte de las condiciones locales. Por lo tanto, es difícil presentar valores de consumo de energía asociados con el empleo de las MTDs. Los rangos de consumo de energía de fábricas de papel que se muestran en la Tabla 6.33 sólo deben considerarse como una indicación sobre los requisitos aproximados de calor de proceso y electricidad en fábricas de papel energéticamente eficientes. En futuras revisiones de este BREF podrían incluirse otros ejemplos de fábricas de papel energéticamente eficientes, incluyendo sus condiciones específicas.

Tipo de fábrica	Consumo de calor de proceso (neto) en GJ/t	Consumo de electricidad (neto) en MWh/t
No integrada, papel fino sin estucar	7,0 – 7,5	0,6 – 0,7
No integrada, papel fino estucado	7,0 - 8	0,7 – 0,9
No integrada, papel tisú	5,5 – 7,5 ¹⁾	0,6 – 1,1
Notas: 1) En fábricas de papel tisú, el consumo de energía depende principalmente del sistema de secado utilizado. El secado a través de aire (TAD) y el crepado consumen una cantidad significativa de calor de proceso, de hasta 25 GJ/t [según ETF]		

Tabla 6.33: Indicación del consumo de energía asociado con el uso de las MTDs para distintos tipos de producción de papel por tonelada de producto

Hay que destacar que el consumo de vapor puede ser entre un 10% y un 25% más alto según el tamaño de la fábrica. El consumo de electricidad puede ser entre un 5% y un 20% más alto según el tamaño de la fábrica. El grado de refino tiene también un efecto significativo en la demanda de electricidad.

Atenuación del ruido

1. Es MTD la reducción de los niveles de ruido audibles en la vecindad de las fábricas de papel. Las medidas aplicadas dependerán, en gran medida, del problema específico de ruido de cada fábrica y de los objetivos establecidos. Normalmente serán mucho más estrictos cuando la fábrica sea adyacente a una zona residencial.

Uso de sustancias químicas

En general, se considera MTD para el uso de agentes químicos:

1. Asegurar la disponibilidad de bases de datos para todos los productos y aditivos químicos, con información sobre la composición química de las sustancias, su degradabilidad, toxicidad para las personas y el medio ambiente, y su potencial de bioacumulación.
2. Aplicación del principio de sustitución, es decir, uso de productos menos peligrosos cuando estén disponibles.
3. Medidas para evitar descargas accidentales al suelo y al agua de la manipulación y almacenaje de productos químicos. Diseño y operación de las instalaciones de modo que las sustancias peligrosas no puedan escapar.

6.4.3 MTD para fábricas de papel especial

Las fábricas de papel especial constituyen un grupo sumamente diverso que cubre una gran cantidad de productos diferentes. Suele haber fábricas pequeñas, pero muchas de ellas superan el umbral que requiere un permiso de IPPC (20 t/d). La composición de la pasta para los productos individuales puede variar bastante y puede incluir pasta química blanqueada y sin blanquear, fibras químicas y minerales u otras fibras (ej: algodón, lino, cáñamo, yute, paja, trapos o algas).

Por una parte, la mayoría de las técnicas que generalmente se consideran como MTD para fábricas de papel son también aplicables a estas fábricas, pero a menudo en un grado diferente. Para las emisiones al agua, a continuación se dan algunas explicaciones adicionales.

Por otra parte, algunos de los productos de fábricas de papel especial tienen sus "problemas ambientales" específico (como el uso de disolventes, aditivos específicos, colores, una demanda muy elevada de agua fresca, etc.). Las mejores técnicas disponibles para estos problemas específicos no se describen en este documento.

El tratamiento biológico de aguas residuales se considera MTD para fábricas de papel especial con cargas orgánicas elevadas causadas por ejemplo por el refino intensivo (durante el cual se disuelve una parte del material orgánico) o aditivos químicos usados que termina en las aguas residuales.

Para otras fábricas, la carga orgánica podría ser demasiado baja para el tratamiento biológico. En las fábricas de papel especial pueden alcanzarse valores de concentración similares de DBO (25 mg/l) y SST (20 - 40 mg/l) a las de las otras fábricas de papel. La carga resultante – incluye cargas orgánicas expresadas como DQO – al medio receptor será con frecuencia más elevada que en otras fábricas de papel debido a los mayores caudales de agua.

La cantidad específica de agua usada puede variar considerablemente según las propiedades de producto y los procesos involucrados. Sin embargo, también las fábricas de papel especial tienen posibilidades para minimizar el consumo de agua. Sin embargo, el agua sólo puede recircularse en un grado limitado debido a la tecnología de producción para estos papeles (temperaturas elevadas debido al refinado intensivo), las demandas de calidad para tipos individuales de papel (ej: conductividad eléctrica, transparencia, etc.) o la incompatibilidad de algunas sustancias químicas disueltas en distintos circuitos de agua. Los papeles especiales también se producen con frecuencia en menores cantidades con más que un cambio de tipo (ej: gramaje, composición, color, ancho) por día y máquina de papel. Como ejemplo, una fábrica de papel especial podría tener más de 5 cambios al día. Según los requisitos de calidad, puede ser necesario vaciar totalmente y lavar los sistemas de agua después de un cambio.

Algunas fábricas de papel especial utilizan una gran variedad de aditivos para alcanzar ciertas propiedades de producto. Estas sustancias químicas podrían incluir sustancias que contienen compuestos orgánicos clorados o compuestos orgánicos nitrogenados, lo que produce mayores emisiones de nutrientes y AOX.

Los rangos de emisiones presentados en la Tabla 6.34 siguiente no están basadas en la misma información básica que los niveles de emisión correspondientes para otras calidades de papel tratadas en este documento. Más bien deberían tomarse como una indicación de los niveles de emisión que cabe esperar en algunos tipos de fábricas de papel especial no integradas.

Parámetros	Unidades	Rango
DBO ₅	kg/t	0,15-1,3
DQO	kg/t	0,4-7,0
SST	kg/t	0,3-1,0
AOX	kg/t	< 0,005-0,01
Total P	kg/t	0,01-0,04
Total N	kg/t	0,15-0,4
Aguas residuales	m ³ /t	15-50 ¹⁾
Notas: 1) El consumo específico de agua excede en ocasiones los 100 m ³ /t		

Tabla 6.34: Indicaciones de los niveles de emisiones que cabe esperar de algunos tipos de fábricas no integradas de papel especial a base de pasta química

6.5 Técnicas Emergentes

En esta sección se tratan unas "técnicas prometedoras" que (todavía) no pueden ser consideradas como MTD debido a la etapa de desarrollo de estas técnicas. Sin embargo, a su debido tiempo, podrían optar a ser MTD, y por lo tanto se describen brevemente aquí. Hay que destacar que la descripción de técnicas prometedoras en este capítulo no pretende dar una descripción completa de todos los desarrollos relevantes.

Introducción

Los desarrollos recientes y la tecnología prevista muestran que la fábrica de papel del futuro probablemente puede describirse por las características siguientes:

- Reducción del consumo de agua y las emisiones específicas de la fábrica de papel mediante la reutilización creciente de agua, circuitos de agua cerrados y tratamiento interno del agua.
- Aumento del consumo de electricidad (específico de la producción).
- Disminución del nivel de ruido de la fábrica de papel.

Las técnicas de simulación dinámica y de integración total proporcionarán una nueva ayuda en la compleja tarea de optimización de la gestión de todo el proceso de la fábrica de papel. Los sistemas de automatización e "inteligencia" de las máquinas de papel aumentarán rápidamente y se integrarán en la máquina de papel. Los sensores, por ejemplo, permitirán predecir las propiedades del papel con la ayuda de unas pocas medidas apropiadas, y esto permitirá el control rápido y eficiente del proceso, por ejemplo en situaciones de cambio de calidades. Se requieren nuevos métodos de medición para la gestión de procesos rápidos. Además de las mediciones de consistencia y caudales, también los sistemas de monitorización química en línea se convertirán en instrumentos para la optimización del proceso.

El coste de inversión en tecnologías nuevas y más complejas es un factor significativo en la rentabilidad de las fábricas de papel y juega a favor de instalaciones grandes. La tendencia actual en fábricas grandes se espera que continúe. La eficacia creciente y la reducción de emisiones van unidas. La complejidad de las tecnologías de tratamiento del agua tiende a aumentar. La gestión de estas técnicas y su mantenimiento correcto es nuevamente un desafío para las fábricas pequeñas.

En las secciones siguientes se presentan novedosas técnicas prometedoras para la reducción del consumo de materias primas y emisiones. Estas técnicas están todavía en desarrollo. Algunas se investigan actualmente con una perspectiva prometedora para aplicaciones futuras, otras funcionan ya a plena escala productiva en algunas aplicaciones.

La información incluye una descripción breve de la técnica, una evaluación del estado de desarrollo, ventajas ambientales y efectos sobre otros medios, consideraciones económicas, si ya hay datos disponibles, y una referencia.

6.5.1 Fábricas de papel con un nivel mínimo de efluentes – diseño optimizado de circuitos de agua y tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales

Descripción: el tratamiento avanzado de aguas residuales en la industria de la pasta y el papel está principalmente concentrado en reactores de membrana con tratamiento biológico adicional, técnicas de filtración con membrana como micro, ultra o nanofiltración, tratamiento con ozono y evaporación. Debido a la experiencia relativamente baja a plena escala productiva, a los costes a veces relativamente altos y la complejidad creciente del tratamiento de aguas, hasta ahora sólo hay

unas pocas aplicaciones a plena escala productiva del tratamiento terciario de aguas residuales de fábricas de papel.

Sin embargo, estas técnicas tienen sobre todo potencial para ser aplicadas como tratamiento en línea como "riñones" para eliminar de forma selectiva aquellas sustancias que interfieren negativamente con la eficacia de la producción de papel o la calidad del papel.

En la Figura 6.25 se muestra un ejemplo de cómo aplicar una combinación de filtración con membrana, ozonación y evaporación, para la purificación de agua de proceso en una fábrica de papel. Sin embargo, la elección y disposición de los riñones en el proceso de producción deben determinarse caso por caso.

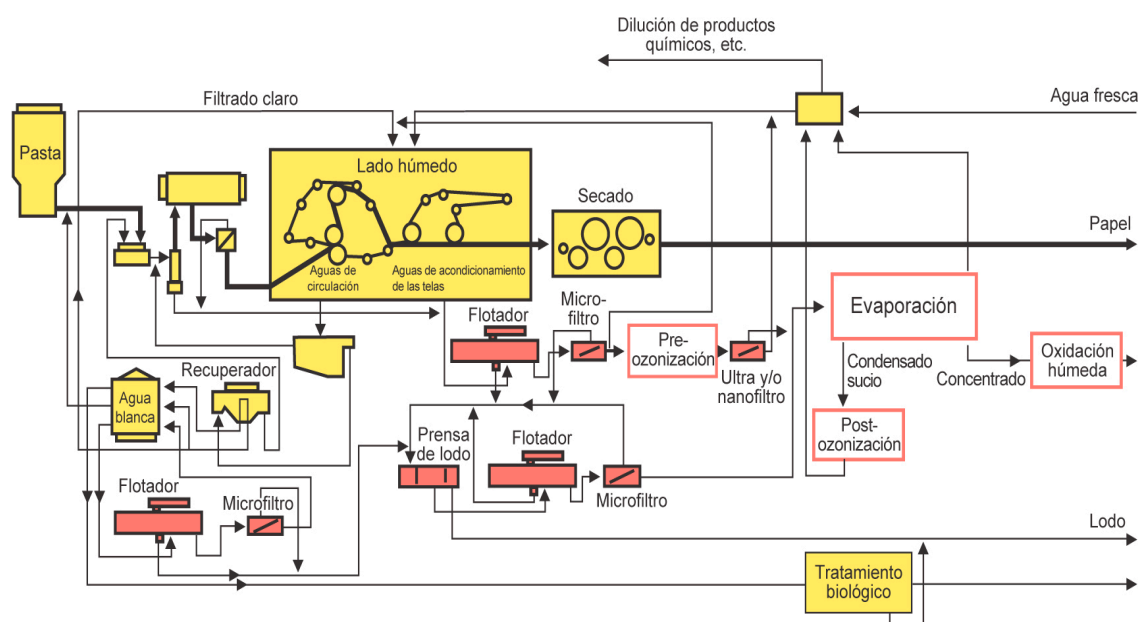


Figura 6.25: Esquema de un posible tratamiento interno y reutilización de agua de la máquina de papel [Edelmann, 1997].

Estado de desarrollo: algunas de estas técnicas sólo se aplican a escala piloto. Las experiencias a plena escala productiva en fábricas de papel se limita a unos pocos ejemplos en el mundo. Según la técnica aplicada hay todavía problemas operativos y costes relativamente altos. Estos últimos dependen de la aplicación y de las condiciones locales.

Sin embargo, al construir nuevas fábricas o modernizar y aumentar la capacidad de fábricas existentes, estas técnicas pueden ser consideradas seriamente. Estas técnicas para la recuperación de agua también pueden usarse para reducir el consumo de agua fresca en fábricas existentes, sin tener la intención de cerrar completamente el sistema de agua. Se espera que estas técnicas tendrán más aplicaciones en la industria del papel en un futuro próximo. Hay una tendencia a cambiar del tratamiento final de línea (*end of pipe*) al tratamiento en línea de las corrientes parciales de agua de proceso. Cabe esperar que los pioneros que usen estas técnicas estén localizados en medios receptores en los que afronten exigencias muy estrictas o en los que los cursos de agua no permiten el aumento de la carga contaminante. Si estas fábricas desean aumentar la capacidad, deben aplicar alguna de las técnicas indicadas.

El estado de las tecnologías de tratamiento de aguas en la industria del papel puede resumirse del modo siguiente:

- Filtros recuperadores (técnica común). Permiten aumentar la producción de filtrado superclaro para reutilización.
- Flotación (probada industrialmente).
- Prensas de lavado (probadas industrialmente).
- Técnica de deshidratación de rechazos y lodos (probada industrialmente).
- Tratamiento biológico convencional en distintas variantes, como por ejemplo, lodo activado (en una o dos etapas con o sin material portador), filtro de goteo (en combinación con lodo activado), biofiltros sumergidos separados (una o dos etapas) en combinación con lodo activado. Todas estas técnicas pueden considerarse probadas industrialmente.
- Tratamiento biológico en línea (primeras aplicaciones industriales realizadas).
- Prefiltración + filtración con membrana (UF, NF) (primeras aplicaciones industriales realizadas).
- Prefiltración + evaporación (primeras aplicaciones industriales realizadas). Si el agua fresca se sustituye por agua evaporada, probablemente no hay efectos sobre la química y la fabricación del papel.
- Ozonización (las primeras aplicaciones industriales se esperan pronto). Si el agua fresca se sustituye por agua parcialmente purificada, hay una acumulación potencial de sustancias perturbadoras. Por ejemplo, las sales inorgánicas no se ven afectadas y pueden interactuar con los agentes químicos de proceso y el equipo. La ozonización se considera todavía relativamente cara, y hay que desarrollar técnicas menos caras. Estos efectos potenciales deben controlarse, y debe aumentar el conocimiento sobre la calidad del agua.
- Tratamiento enzimático del agua de proceso (en fase de investigación).

Implicaciones ambientales: el objetivo de las tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales / de proceso es normalmente la eliminación ulterior de los agentes contaminantes, que no son eliminados por el tratamiento biológico común, como por ejemplo el uso de plantas de lodo activado. Estos agentes contaminantes son los restos de DQO, color, nutrientes o sólidos en suspensión. Los procesos de tratamiento de aguas avanzados producen un agua de alta calidad. A consecuencia de ello, hay una mayor posibilidad para reutilizar "el efluente" en el proceso como agua fresca. Así, el tratamiento avanzado de aguas residuales puede contribuir a un mayor cierre del sistema de agua. Sin embargo, también puede aplicarse para alcanzar menores descargas al medio receptor.

Muy a menudo es un aumento significativo de la capacidad de la fábrica lo que da el incentivo para buscar una nueva solución técnica menos contaminante. Algunas autoridades en Europa requieren que la cantidad de efluente y residuos de las fábricas que deseen aumentar su capacidad no exceda el nivel anterior a la inversión. Esto significa que ha habido que encontrar nuevas vías para reducir el consumo de agua fresca y minimizar la cantidad de residuos sólidos.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía:

[Edelmann, 1997], [Borschke, 1997]

6.5.2 Tecnología de impulsos para la deshidratación del papel

Descripción: el motivo principal del desarrollo de nuevas técnicas de deshidratación en la industria de la pasta y el papel, como la tecnología de impulsos, han sido las mejoras en las propiedades del papel. Esta tecnología también tiene el potencial de ahorro de energía.

La tecnología de impulsos puede proporcionar oportunidades para alcanzar un alto contenido de sólidos después de la unidad de impulsos, y así ahorrar energía calorífica para el secado subsiguiente. En una sección de prensa ordinaria, la hoja de papel continuo alcanza una sequedad de aproximadamente el 40%. En las prensas de nip extendido, la hoja puede alcanzar niveles de

sequedad de aproximadamente un 50%. En el secado por impulsos, algunos informes han indicado niveles de sequedad del 55-65 % antes de la sequería, lo que ofrece la posibilidad reducir el consumo de calor. Los niveles de sequedad más altos significan que debe evaporarse menos agua en la sequería mediante vapor, y la sección de secado podría reducirse (acortarse). También se espera que la tecnología proporcione una superficie del papel lisa con una alta integridad mecánica y una hoja que mantiene una alta rigidez de flexión. Esta combinación de propiedades es de gran valor tanto en materiales de embalaje como papeles para impresión.

La tecnología de impulsos intenta combinar la prensa y el secado en un solo proceso compacto. La hoja húmeda de papel es expuesta a un impulso intenso de energía calorífica a presión entre un elemento de prensa y un elemento calentado en una máquina de papel. Esto induce un aumento repentino de la temperatura superficial del papel a temperaturas bastante más altas que las empleadas en la tecnología tradicional.

Cuando la hoja de papel continuo entra en contacto con la superficie caliente, el calor generado comienza a desplazar el agua en la hoja de papel continuo. El lado caliente de la hoja se comprimirá debido al ablandamiento térmico y puede estar sujeto a modificación química. La hoja continua entra en una segunda etapa de impulso inmediatamente después de la primera unidad. En la segunda etapa, que actúa desde lado inverso, el agua es desplazada en la dirección inversa. Los dos pasos de impulso deben estar suficientemente equilibrados para producir una hoja simétrica.

Estado de desarrollo: se han investigado y ensayado distintos conceptos con diversos nombres como prensado en caliente o secado a presión. El trabajo de desarrollo está todavía en una fase temprana.

Han aparecido muchos obstáculos en el trabajo de desarrollo y la tecnología aún no ha sido aplicada a plena escala productiva. Hay que tener en cuenta que esta tecnología ha sido investigada y desarrollada desde principios de los años 70 sin ningún avance definitivo.

Implicaciones ambientales: aumentando la sequedad de la hoja de papel del 50 al 51 %, habrá aproximadamente 35 kg menos de agua por tonelada de papel para evaporar. Así, la tecnología de secado por impulsos tiene el potencial de reducir la cantidad del agua a evaporar en 175-350 kg/t de papel. Esto simplemente reduciría el consumo de vapor en 175-350 kg/t o unos 0,44 – 0,9 GJ/t de papel (suponiendo 2,5 MJ/kg de vapor), lo que equivale a un 10-25 % del consumo actual de vapor en la fabricación de papel.

Sin embargo, al calcular el ahorro de energía, hay que tener en cuenta la energía necesaria para el impulso de secado en sí. Aunque para el secado por impulsos son necesarias altas temperaturas, no puede utilizarse vapor. Por otra parte, las fábricas de papel normalmente tienen un exceso de vapor disponible, que es también una energía menos cara. Así, la necesidad de una energía de alto coste, como la electricidad, reduce las posibles ventajas para el medio ambiente y el potencial de rentabilidad.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía: [Talja, 1998], [SEPA Report 4712-4, 1997]

6.5.3 Proceso Condebelt

Descripción: el proceso de secado Condebelt® es un nuevo modo de secar papel y cartón. Inicialmente, el proceso pretendía simplemente mejorar la sequedad del papel y del cartón, y fue sólo posteriormente cuando se hicieron patentes los grandes aumentos de las propiedades de resistencia. En el proceso de secado Condebelt®, la hoja continua de papel, que viene de la sección de prensa, es secada entre dos cintas de acero en vez de los cilindros tradicionales de vapor, como se muestra en la Figura 6.26.

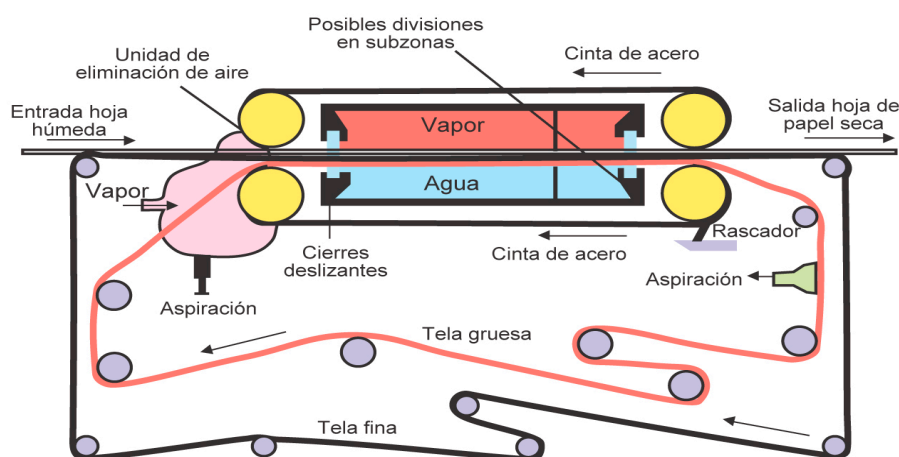


Figura 6.26: Esquema del proceso de secado Condebelt® (tipo alta presión)

La hoja continua viaja entre una cinta de acero superior, calentada con vapor, y una cinta inferior refrigerada por agua. La cinta caliente superior evapora la humedad de la hoja continua que condensa otra vez sobre la hoja de papel continuo y la tela gruesa reduce las marcas de la tela sobre la parte posterior. La superficie de la hoja de papel contra la cinta caliente queda muy lisa. La alta presión y la alta temperatura dentro de la hoja producen el ablandamiento de la hemicelulosa y la lignina en el material de fibra, que "suelta" las fibras entre sí. Esto produce una mayor resistencia y una mejor protección contra los efectos adversos de la humedad. Así, a menudo podría prescindirse del encolado superficial, aunque normalmente se utilice.

El secado Condebelt® mejora considerablemente la resistencia (20-60%), la suavidad de la superficie, la estabilidad dimensional y la resistencia contra la humedad. En el secado Condebelt®, con fibras recicladas es posible alcanzar los mismos valores de resistencia que con fibras vírgenes en el secado convencional.

Estado de desarrollo: en este momento (1999) hay dos procesos Condebelt® utilizados comercialmente. El primero ha estado funcionando desde mayo de 1996 en la fábrica de Pankowski de Stora Enso, Finlandia, produciendo cartón base, *linerboard* (papel ondulado) y cartones especiales. El segundo inició la producción en enero de 1999, en la fábrica de Ansan de la Dong Il Paper Mfg. Co.Ltd. en Corea del Sur, que produce *linerboard* y *fluting*.

Teniendo en cuenta que hay dos unidades comerciales que funcionan a plena escala productiva, el proceso Condebelt® puede también considerarse como una técnica disponible que ha alcanzado la fase comercial y ya no como una "técnica emergente". Sin embargo, el motivo principal para invertir en el secado Condebelt® no es la protección del medio ambiente, sino la gran mejora en las propiedades de producto.

Implicaciones medioambientales: el empleo de esta nueva tecnología de secado no produce un ahorro directo significativo de energía. Sin embargo, las mejoras en la resistencia ofrecen un potencial de ahorro gracias a la reducción del gramaje básico. Esto quiere decir que pueden fabricarse más metros cuadrados a partir de la misma cantidad de fibras sin perder calidad de producto. Además, debido a la mejora en las propiedades de la hoja con el secado Condebelt®, parece que es posible utilizar un material de fibra de calidad inferior o pasta de alto rendimiento (ej: con un 10% menos madera por tonelada de papel ondulado). La mayor resistencia y la mejor protección contra los efectos adversos de la humedad pueden tener el efecto de que muchas veces podría prescindirse del encolado superficial, aunque normalmente se utilice.

Aunque el consumo específico de energía eléctrica y vapor primario equivalga aproximadamente al del secado tradicional, hay mayores oportunidades de ahorrar energía calorífica. Esto es debido a que casi toda el agua evaporada y su calor latente pueden recuperarse del agua de refrigeración a una temperatura bastante alta (normalmente por encima de 80°C). Esta energía puede ser usada también en otras partes del proceso mediante bombeo de calor.

En resumen: las ventajas ambientales son los ahorros potenciales de materias primas (fibras, agentes de encolado) y un potencial algo mayor de recuperación de energía.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles.

Bibliografía

[Retulainen, 1998], [Ojala, 1999]

6.5.4 Bombas de calor internas

Descripción: las bombas de calor se utilizan para bombear el calor de un medio (ej: aire) a otro (ej: agua). La Figura 6.27 muestra un ejemplo de aplicación para una máquina de papel.

Estado del desarrollo: en la industria de la pasta y el papel hay muchas aplicaciones para bombas de calor, pero los costes de inversión son bastante altos, lo que ha obstaculizado el uso de esta clase de equipo. Además, los problemas ambientales asociados con los medios de trabajo convencionales han hecho aún más difícil el empleo de bombas de calor, incluso aunque la termodinámica de la bomba de calor es muy ventajosa.

Implicaciones ambientales: como ejemplo, el aire húmedo descargado puede mantener una temperatura de 105°C con un punto de rocío de 61°C. En tal caso una bomba de calor puede producir el calor correspondiente a 750 kWh/t o 2,7 GJ/T mediante sólo 1/3 o 250 kWh/t de potencia en los motores de los compresores. Esto se basa en un coeficiente de funcionamiento de 3, que es bastante normal.

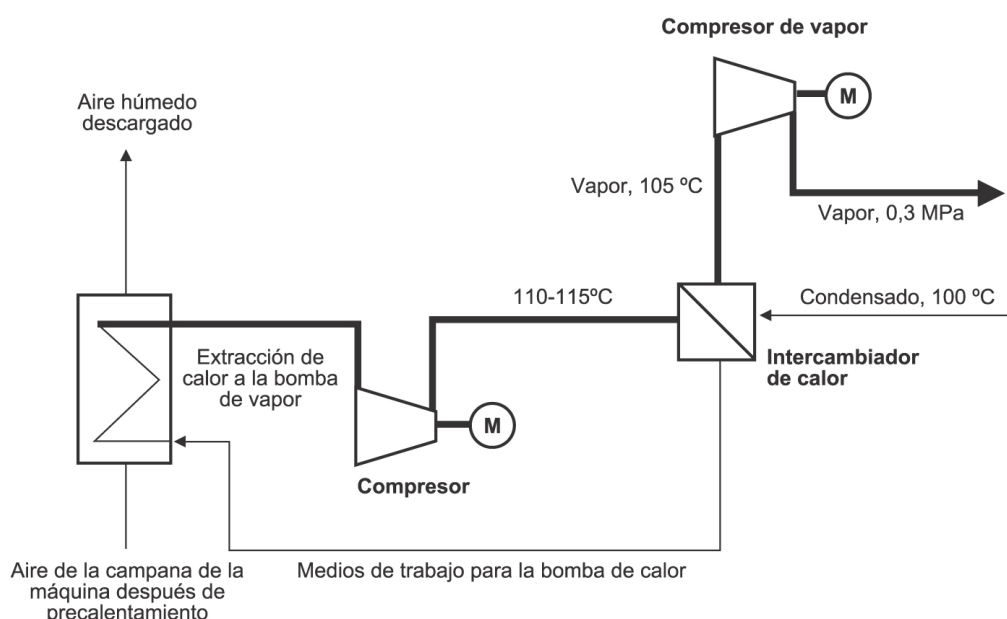


Figura 6.27: Sistema con bomba de calor para generar vapor de proceso. La fuente de calor consiste en aire húmedo de una máquina de papel

Consideraciones económicas: el potencial de esta tecnología es grande, pero el número de instalaciones reales en la industria de la pasta y el papel es pequeño debido a los costes de inversión, así como a las mencionadas dificultades de medios de trabajo adecuados. Dado que esto es tecnología convencional, un avance requiere el descubrimiento o el desarrollo de nuevos medios adecuados, y también de equipos más rentables, especialmente por lo que respecta al compresor.

Bibliografía: [Informe SEPA 4713-2,1997]

6.5.5 Herramientas de integración total

Descripción: debido a la complejidad del proceso de fabricación de papel, el desarrollo tecnológico en el sector se ha realizado de forma gradual. La complejidad del proceso puede ilustrarse mediante un ejemplo sobre el uso del agua. Un mayor reciclaje del agua conducirá a una química de proceso diferente, un menor uso de calor secundario, distintas prácticas de gestión de agua, nuevas corrientes de rechazos, cambios en el funcionamiento del tratamiento de efluentes, un mayor consumo de electricidad y un menor consumo de calor. Por otra parte, el consumo de energía se ve afectado también por la velocidad de producción de la máquina y por el desarrollo del funcionamiento de las distintas unidades de la máquina de papel. Las opciones tecnológicas tendrán efectos sobre el balance de energía de la fábrica. Puede concluirse que la solución inteligente del proceso en el futuro intentará combinar todo el sistema – energía, agua, fibra, sustancias químicas – para crear una buena integración de la fábrica.

Estado del desarrollo: se están desarrollando diversas herramientas asistidas por ordenador capaces de analizar el sistema complejo, incluyendo los efectos sobre otros medios abajo descritos (puntos 1 a 9), y los primeros estudios analíticos se han realizado en fábricas de papel integradas. Sin embargo, debe señalarse que las herramientas de integración total no eliminan la necesidad de estudios en plantas piloto.

Implicaciones ambientales: el problema clave es como idear conceptos de procesos y fábricas capaces de reducir las emisiones a la atmósfera y al agua y al mismo tiempo reducir la formación de residuos sólidos y energía. Los requisitos para el nuevo proceso son una mejor calidad del papel y una mayor operatividad, así como una mejor gestión de proceso. Esto exige un mayor conocimiento sobre el comportamiento de los procesos. Asimismo, hay que identificar los cambios causados en el proceso por la adopción de nuevas técnicas, de modo que pueda desarrollarse tecnología de proceso compatible.

Por consiguiente, está claro que nuevas herramientas de optimización pueden apoyar el desarrollo de futuros procesos de fabricación de papel. Algunas herramientas asistidas por ordenador contienen los siguientes elementos o funciones:

1. Información sobre concentraciones de contaminantes en las distintas partes del proceso.
2. Modelos de comportamiento para los contaminantes.
3. Parámetros de proceso para los métodos de separación y tratamiento.
4. Métodos para optimizar los conceptos de tratamiento del agua por lo que respecta a concentraciones y comportamiento de los contaminantes.
5. Identificación de fuentes y sumideros de calor.
6. Métodos para optimizar el consumo de calor mediante una cuidadosa integración del proceso.
7. Información sobre las emisiones del nuevo concepto de fábrica a la atmósfera y al medio receptor, y formación de residuos sólidos.
8. Diseño de proceso detallado basado en las opciones adoptadas.
9. Métodos para analizar y desarrollar la operatividad del proceso.

Consideraciones económicas: no hay datos disponibles. El software de herramientas de integración total no supone una gran inversión. Sin embargo, se requiere personal experto que tiene que emplear muchas horas de trabajo para adaptar el software a las características particulares de una fábrica.

Bibliografía

[Edelmann, 1999]

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este Capítulo de Conclusiones y Recomendaciones trata sobre el calendario del trabajo; las fuentes, disponibilidad y calidad de la información; comentarios generales sobre mejores técnicas disponibles; grado de consenso entre los expertos del grupo de trabajo ; y recomendaciones para trabajos futuros.

Calendario del trabajo

La elaboración de este BREF tardó casi tres años. Los pasos principales han sido:

- La primera reunión del Grupo de Trabajo Técnico se realizó a lo largo de 2 días entre el 5 y el 6 de mayo de 1997.
- El primer borrador de una parte introductoria del documento fue enviada en Noviembre de 1997 a los expertos del grupo de trabajo técnico. Cubría algunas informaciones generales sobre el sector, técnicas aplicadas y niveles actuales de consumos y emisiones de algunas partes del sector. Los miembros del grupo de trabajo realizaron comentarios.
- Cambio del experto de la oficina responsable de la industria de la pasta y el papel en enero de 1998.
- Un segundo borrador del documento se produjo en agosto de 1998 (pasta química, pasta mecánica, proceso de papel recuperado) y septiembre de 1998 (producción de papel y procesos relacionados). Los comentarios de esta ronda de consultas produjeron datos e informes adicionales.
- La segunda reunión del grupo de trabajo se celebró del 25 al 27 de noviembre de 1998. Las discusiones fueron muy enconadas, y el grupo de trabajo llegó a una decisión sobre el método y estilo de presentación de las conclusiones de MTDs. Algunos aspectos como los niveles de emisiones asociados con el uso de las MTD para fábricas de pasta kraft fueron objeto de fuertes debates. Se hizo evidente que se necesitaban datos adicionales de plantas reales para apoyar los niveles de emisiones de MTDs propuestos. Se aportaron nuevos datos.
- Una parte del borrador del BREF de Pasta y Papel, que ha sido reelaborado en gran medida en vista de la discusión mantenida en la segunda reunión del grupo de trabajo y los comentarios recibidos posteriormente, se distribuyó en enero de 1999. Mostró, mediante el ejemplo del proceso de pasta kraft, que las conclusiones sobre MTDs están basadas en buena información. Los miembros del grupo de trabajo realizaron comentarios.
- Las conclusiones sobre MTDs y principios de IPPC se presentaron y discutieron en la Quinta Reunión del Foro de Intercambio de Información sobre MTDs de IPPC, el 18-19 de febrero de 1999. El Foro apoyó en enfoque y acordó que las conclusiones tenían una base sólida.
- Un tercer borrador del documento completo apareció en agosto de 1999. Los comentarios de esta ronda de consultas produjeron de nuevo valiosa información adicional. La información facilitada durante la consulta se ha incorporado al informe final.
- El borrador final del BREF apareció en febrero de 2000.
- El documento final y los puntos restantes de desacuerdos entre los expertos del grupo de trabajo se presentaron y discutieron en la Séptima Reunión del Foro de Intercambio de Información sobre MTDs de IPPC, el 28-29 de febrero de 2000.

Fuentes de información

Hay disponible mucha información y estudios sobre los diversos aspectos medioambientales de la industria de la pasta y el papel. Países de modo individual y organizaciones internacionales han publicado una serie de documentos de MTDs, documentos orientativos y material técnico básico sobre diversas cuestiones ambientales. En una serie de países europeos se aplican reglamentos especiales para fábricas de pasta y papel, mientras que otros países utilizan

documentos de guía en permisos caso por caso (sin embargo, algunos países no tienen una reglamentación específica para la industria de la pasta y el papel, ni documentos de referencia). En el marco de diversas Convenciones sobre la Protección del Medio Marino se adoptan recomendaciones y decisiones. Estas recomendaciones tratan de las MTDs para la reducción de las emisiones al agua y a la atmósfera de las fábricas de pasta y papel. También, en nombre de la Comisión Europea, durante la última década se han realizado varios estudios sobre MTDs para la industria de la pasta y el papel. Toda esta información fue útil para la descripción de aspectos individuales de las MTDs descritas en el BREF. Sin embargo, las medidas de reducción de emisiones, que se describen con frecuencia por separado, necesitaban actualizarse, complementarse e integrarse en un enfoque integrado que cubra todos los aspectos principales a considerar en la determinación de las MTDs según el ANEXO IV de la Directiva.

Para apoyar el trabajo de la oficina europea de IPPC (EIPPCB), algunos Estados Miembros y la industria han realizado o encargado estudios que tenían como objetivo una descripción más integrada de las MTD en el sector de la pasta y el papel. La Confederación Europea de Industrias del Papel (CEPI) ha realizado tres estudios sobre MTDs para apoyar el trabajo, Groupement Ondulé (Asociación Europea de Fabricantes de Papel Base Ondulado) ha encargado un informe sobre MTDs para la producción de materiales para fabricación de cajas a base de fibras recicladas. Finlandia ha facilitado dos estudios de MTDs, incluyendo niveles de emisiones MTD, Suecia ha presentado dos estudios sobre las posibilidades de ahorro de energía y las implicaciones sobre los costes, y Holanda ha presentado un informe sobre MTDs para la producción de pasta y papel a base de fibras recicladas. Los comentarios y las contribuciones de los miembros del grupo de trabajo técnico fueron de gran utilidad para el resultado del intercambio de información sobre MTDs.

Hay buena información disponible sobre medidas de reducción de las emisiones al agua y a la atmósfera, lo que refleja la tendencia mundial de que los esfuerzos para reducir las emisiones atmosféricas y al agua han dominado el trabajo ambiental en las fábricas de pasta y papel. Hay menos información disponible sobre la evaluación de las tecnologías energéticamente eficientes y de diversas opciones de minimización de los residuos sólidos en la industria de la pasta y el papel.

Durante el trabajo se hizo evidente que había una carencia de información sobre datos suficientemente cualificados de emisiones específicas de plantas. Con frecuencia, en el material de referencia técnica, el comportamiento ambiental de las medidas internas y externas se describe de forma relativamente vaga. La información específica sobre plantas y cifras cualificadas sobre los mejores comportamientos han sido difíciles y a veces incluso imposibles de conseguir. Con frecuencia había necesidad de suplir datos de comportamiento ambiental, agregar información sobre aspectos de efectos sobre otros medios y también sobre costes. No obstante, se recopiló gran cantidad de información útil de los Miembros del grupo de trabajo, que fue facilitada a la EIPPCB, lo que ayudó a completar la mayoría de los huecos existentes en la información.

La transparencia del funcionamiento ambiental de la industria papelera europea todavía se limita a algunos países. Por ejemplo, Suecia y Finlandia están publicando regularmente estadísticas ambientales accesibles al público que especifican el comportamiento medioambiental de fábricas individuales. A partir del año 2000, las fábricas de papel en Holanda tienen que hacer públicos datos de comportamiento ambiental por medio de un informe ambiental anual. También en Irlanda todos los datos de monitorización e informes facilitados por las compañías, y también los datos de monitorización de la agencia de protección del medio ambiente, están disponibles en registro público. El objetivo de la industria y de la sociedad es crear un conocimiento objetivo y transparente sobre los resultados alcanzados en la reducción de las consecuencias para el medio ambiente de la producción de papel. Una estrategia de mayor franqueza y de informar al público podría apoyar este objetivo (generaría más apoyo por parte del público).

Hay que destacar que, a menudo, en los datos presentados se facilitó información insuficiente sobre los métodos de muestreo y análisis. Muchas veces no se facilitaron intervalos del tiempo de referencia (ej: valores medios diarios o anuales), los métodos del cómputo y las condiciones de

referencia, o la información era incompleta. Por lo tanto, la comparabilidad de los datos de comportamiento medioambiental varía y debe mejorarse en el futuro. Para mejorar la comparabilidad, se recomienda realizar un estudio europeo sobre el modo en que se compilan los datos de comportamiento ambiental de las fábricas de pasta y papel, si las diversas prácticas son relevantes, y si es así en qué grado, y hasta qué punto. Por ejemplo, para la determinación de las emisiones atmosféricas difusas (azufre reducido total emitido de muchas fuentes pequeñas en concentraciones bajas y volúmenes altos) parece que se aplican distintos sistemas de medición en las fábricas de pasta kraft europeas. Los cálculos e informes sobre consumo de energía podían también beneficiarse de un estudio de este tipo. Los términos técnicos y de fracciones residuales, así como las fracciones residuales distinguidas, varían también entre las fábricas europeas de pasta y papel. Por lo tanto, no siempre está claro qué materias residuales se incluyen o excluyen cuando se reportan las cifras de cantidades de residuos sólidos. Otros parámetros como DQO, DBO, SST, SO₂ y NO_x parecen diferir menos, ya que existen normas internacionales para la determinación de estos parámetros.

Todavía faltan datos de costes suficientemente cualificados que sean fiables, transparentes y permitan relacionar técnicas y costes y ahorros. Por consiguiente, es difícil comparar costes de técnicas. Hay algunos datos de costes disponibles, pero en general no se sabe qué se incluye exactamente en las cifras o cómo se calculan. Además, los costes varían considerablemente entre fábricas para la misma medida, por ejemplo debido a distintos puntos de partida técnicos y a una distinta programación de las inversiones de proceso. Por lo tanto, los costes indicados en este documento son sólo indicaciones de magnitudes, no cifras exactas. El coste para la fábrica individual puede calcularse solamente en determinados casos.

Mejores técnicas disponibles

Conceptos más o menos similares a las MTDs de la Directiva de IPPC, se introdujeron en la industria de la pasta y el papel hace algún tiempo. Se han desarrollado tecnologías y estrategias para minimizar el consumo de materias primas, productos químicos, energía y agua fresca, así como para reducir emisiones al agua, a la atmósfera, y al suelo. Especialmente durante las dos últimas décadas, se han realizado importantes inversiones y modificaciones en las instalaciones de producción en muchas fábricas de pasta y papel en Europa. El impacto de las fábricas de pasta y papel en el medio ambiente en su conjunto podría reducirse sustancialmente con medidas internas y externas. Sin embargo, todavía hay que realizar mejoras y esfuerzos para alcanzar el objetivo a largo plazo de sostenibilidad.

Hasta ahora, la legislación y el control por parte de las autoridades ambientales se han centrado principalmente en las emisiones atmosféricas y al agua. La reglamentación y la aplicación han sido fuerzas impulsoras importantes para las mejoras sustanciales que hasta ahora se han alcanzado. Sin embargo, no sólo las autoridades, sino también los inversores, los clientes, el público en general incluyendo grupos políticos, los grupos de presión ambiental, y los medios de comunicación están participando en el proceso, exigiendo a las fábricas que reduzcan su impacto ambiental. El interés sobre los temas, en cierta medida, ha variado con el tiempo. Aspectos como el uso eficiente de materias primas y energía, la minimización de residuos sólidos, el uso de productos químicos menos peligrosos para el medio ambiente, y el transporte hacia y desde las fábricas, se han convertido en asuntos más importantes en años recientes. La explotación forestal sostenible y el transporte no se tratan normalmente en la concesión de permisos, y están fuera del ámbito de este documento.

En muchas empresas se ha introducido una opinión más global sobre el medio ambiente en su conjunto. Se han desarrollado y aplicado nuevos métodos para analizar la interacción entre los productos y los procesos de producción y el medio ambiente desde una perspectiva de ciclo vital ("ciclo del papel").

El intercambio de información ha permitido conclusiones sobre MTD a nivel del sector. Con la aplicación de una combinación de mejores técnicas disponibles se asocian determinados niveles

de emisiones y consumos. Tanto las técnicas disponibles como dichos niveles se especifican en el BREF. El resumen ejecutivo contiene los resultados claves referentes a todas estas conclusiones sobre MTDs. Los elementos de las MTDs se describen más detalladamente en los capítulos sobre MTDs y las explicaciones adicionales que se dan ahí.

Grado de consenso

Este BREF ha encontrado el apoyo de la mayoría de los miembros del grupo de trabajo y de los participantes en la 7ª reunión del Foro de Intercambio de Información. Sin embargo, la CEPI – que representa la industria de la pasta y el papel – y algunos Estados Miembros no expresaron su apoyo total para este borrador final y discutieron algunas de las conclusiones presentadas en el documento. Los motivos para ello se indican a continuación.

Algunos Estados miembros y la CEPI expresaron su opinión de que los niveles de emisiones asociados con las MTDs deben presentarse por separado para fábricas nuevas y existentes. Lo que parece ser lógico, a primera vista, es más problemático desde un punto de vista práctico. Las dificultades son causadas por el hecho que, en las fábricas de pasta y papel, la aplicabilidad de una técnica no sólo está motivada por el hecho de ser una fábrica nueva o existente. La fábricas de pasta y papel se caracterizan por la tendencia de que la maquinaria se remodela con los años, en lugar de ser sustituida a gran escala (remodelación y desarrollo modular de plantas). Así, gracias a la remodelación progresiva, a la modernización, y a los sistemas de control de proceso y gestión ambiental, hay muchas fábricas existentes con un comportamiento ambiental comparable o incluso mejor (por lo menos para algunos parámetros) que fábricas de reciente construcción. Además, las declaraciones de MTDs para fábricas nuevas son hasta cierto punto especulación. Por lo tanto, todas las descripciones y datos de este documento se basan en fábricas existentes.

Otro punto del desacuerdo es que algunos Estados Miembros y la CEPI desean tener distintas MTDs y niveles de emisiones asociados con las MTDs para fábricas pequeñas y grandes. La dificultad aquí es que no había información proporcionada por los expertos del grupo de trabajo acerca de qué técnicas no son aplicables para fábricas pequeñas desde el punto de vista técnico y económico. Tampoco se ha facilitado información contrastada sobre los niveles MTD apropiados para fábricas pequeñas, por lo que no está claro el criterio a utilizar para este fin. Por otra parte, hay también algunas fábricas pequeñas que alcanzan un buen comportamiento ambiental. El impacto, si lo hay, del tamaño de la fábrica, será considerado por la autoridad que conceda permiso en el Estado Miembro en cuestión. Por lo tanto, en el BREF no se ha hecho distinción de MTDs entre fábricas pequeñas y grandes. El tamaño de la fábrica puede considerarse al determinar las MTD en un caso específico. Generalmente, puede afirmarse que los costes específicos para fábricas pequeñas son relativamente más altos (economía de escala), que las fábricas pequeñas suelen tener menos medios financieros para cambios técnicos, y puede ser que el material o la configuración de los equipos más antiguos no sean compatibles con un grado más alto de cierre de los circuitos de agua. Las fábricas pequeñas no disponen en ocasiones de los conocimientos que serían necesarios para explotar y controlar soluciones de proceso más complejas lo más eficientemente posible.

A pesar de los argumentos anteriores, la CEPI y un Estado Miembro eran de la opinión de que no se ha tenido en suficiente consideración la diferencia económica entre las fábricas nuevas y existentes y grandes/pequeñas. Además, el Estado Miembro en cuestión opinó que no se daba suficiente consideración a los problemas de las fábricas que utilizan un mismo equipo para producir diversas calidades de papel.

También ha habido un debate sobre si es o no posible que una fábrica típica, al mismo tiempo, alcance todos los niveles de emisiones y consumos asociados con el uso de una combinación adecuada de las diversas técnicas que se consideran como MTD. La CEPI y tres Estados Miembros no creen que una fábrica típica pueda alcanzarlos. En su opinión, no se ha realizado una evaluación suficientemente integrada de todos los parámetros. Un motivo aducido para ello

es la falta de datos de referencia basados en una evaluación integrada. Sin embargo, esta visión no es compartida por la mayoría de los miembros del grupo de trabajo y se han identificado fábricas que han alcanzado al mismo tiempo todos los niveles asociados con las MTDs. Este debate destaca las diversas interpretaciones de MTD según lo definido en la Directiva y acentúa la necesidad de leer el BREF a la luz del prefacio al documento.

Aparte de estos aspectos generales, hay también una serie de aspectos específicos en los que las conclusiones finales no recibieron apoyo unánime. La CEPI y dos Estados miembros consideran que para SST para pasta kraft blanqueada, el extremo superior del rango asociado con el uso de MTD debe ser 2,0 kg/Adt en lugar de 1,5 kg/Adt. La CEPI y un Estado Miembro consideran asimismo que algunos de los rangos asociados con el uso de MTD para las diversas calidades de papel son demasiado restrictivos. Otro Estado miembro expresó la opinión que, para calderas auxiliares, los datos de medición disponibles no eran comparables, socavando así la validez de las conclusiones sobre niveles de emisiones de calderas asociados con las MTDs. Análogamente, hay miembros del grupo de trabajo que consideran que algunos de los niveles asociados con MTDs concluidos son excesivamente permisivos (ej: por lo que respecta a los niveles de DQO para fábricas de pasta kraft).

La Oficina Europea de Medio Ambiente - que representa a organizaciones medioambientales - expresó algunas opiniones discrepantes, como por ejemplo que el blanqueo con ECF en las fábricas de pasta kraft no cumplen los criterios MTD relativos a los principios de prevención y precaución y que, en general, el tratamiento terciario de efluentes debe incluir tratamiento con ozono, peróxido o radiación UV, seguido de un paso de biofiltración.

Recomendaciones para trabajos futuros

La sección "técnicas emergentes" en todos los capítulos da algunos ejemplos de técnicas prometedoras, que han alcanzado un diverso grado de desarrollo. Algunas de estas nuevas tecnologías se han introducido recientemente en el sector. Esto es verdad por ejemplo para las nuevas técnicas de evaporación, las aplicaciones de membranas, la ozonación, los sistemas de tratamiento de aguas en la propia fábrica, los proyectos que tratan de cómo aplicar circuitos cerrados de agua, y las nuevas opciones para el tratamiento de residuos. Una serie de plantas a plena escala productiva van a entrar en funcionamiento. Se espera que dentro de algunos años estén disponibles los resultados de los ensayos prolongados realizados por varias fábricas. Estas experiencias podrían incorporarse en una futura revisión del BREF, agregándose otras técnicas emergentes relevantes.

Los circuitos cerrados de agua con tratamiento biológico en línea de aguas de proceso son una realidad en algunas aplicaciones a plena escala productiva en Europa para calidades sin destintar. El grupo de trabajo discutió si debe considerarse ya como MTD general. Los expertos no lo consideraron así a nivel sectorial, ya que hay algunos problemas técnicos que todavía están esperando resolución. No obstante, para "papeles marrones", se puede considerar ya la fábrica sin efluentes como un objetivo realista. En algunos años, cabe esperar que habrá disponibles más experiencias de ejemplos reales, una vez que las fábricas que van a invertir en estas técnicas estén en posición de reportar sus experiencias operativas. Estas experiencias serán incorporadas en la próxima revisión del BREF.

Actualmente, sólo se ha obtenido información limitada o insuficientemente cualificada sobre costes y/o ahorros en MTDs del intercambio de información en el grupo de trabajo técnico. Sin embargo, se recomienda recoger información más detallada y más operativa en un intercambio de información futuro. Esto debe incluir la información sobre costes y ahorros específicos, como tiempo de amortización de medidas, y costes unitarios (ej: en relación a una tonelada de producto fabricado, una tonelada de contaminante reducido, o un m³ de agua tratada).

La reducción de la cantidad de residuos sólidos en general y la reducción de las fracciones residuales a desechar en vertedero es objetivo general. Esto se puede alcanzar mediante la aplicación de una variedad de técnicas ecológicas, algunas de las cuales se describen en el BREF. Sin embargo, las mejores técnicas disponibles para la recuperación, el reciclaje y la reutilización de residuos varían a través de Europa, y se precisa más información sobre la mejor gestión de residuos y las opciones preferidas de tratamiento en los Estados miembros. Una futura revisión del BREF podría estudiar más detalladamente las opciones disponibles, sus ventajas y desventajas, y los resultados alcanzados. Puede ser que entonces sea posible proponer los rangos asociados con MTDs para los residuos sólidos que aún deban ser desechados en vertedero.

Hay poca información disponible sobre la evaluación de tecnologías energéticamente eficientes y las experiencias prácticas de sus resultados en la industria de la pasta y el papel. Cuando se reportan datos y balances de energía, las suposiciones y condiciones no suelen ser suficientemente cualificadas. Se requiere más trabajo en ese aspecto importante y la derivación de las cifras de consumo específico de energía en producción antes de la próxima revisión.

Se facilitó información limitada sobre aspectos locales como ruido /vibración /olor y medidas relacionadas para su minimización. Lo mismo es verdad para la contaminación potencial del suelo (desmantelamiento ecológico de plantas, prevención de fugas de sustancias peligrosas durante el almacenaje, transporte y uso) y aspectos de higiene y seguridad. Si hay información disponible, se podría incorporar en la revisión de BREF.

Parecen existir diversas prácticas para recoger, muestrear, medir y calcular las emisiones atmosféricas fugitivas de las fábricas de pasta kraft que pueden escapar de diversas fuentes pequeñas (medidas como azufre reducido total TRS). Se requiere más trabajo para entender si estas diversas prácticas conducen a diferencias relevantes.

Hubo una fuerte controversia en el grupo de trabajo sobre la comparabilidad general de los datos a través de Europa, especialmente por lo que respecta a la medición del total de sólidos en suspensión en agua, o la determinación de emisiones de partículas al aire. El ANEXO III da más detalles, pero sin embargo no apoya la opinión de que los datos sobre el total de sólidos en suspensión no son comparables. Aparte de estos ejemplos, se considera que la comparabilidad de datos no es un problema tan importante como algunos sugieren, observándose que hay normas europeas para varios parámetros. Sin embargo, es claramente deseable armonizar los datos futuros usando otros métodos estándar europeos e investigando las diferencias reales y los factores importantes que influyen en los resultados divulgados. Esto debe incluir mediciones de caudales, muestreo, tratamiento previo y almacenaje de muestras, así como diferencias a la hora de calcular y reportar el comportamiento ambiental (tiempo de promedio, condiciones de referencia).

Cuando los datos de emisiones se reporten en el futuro, deberían incluir volúmenes específicos y concentraciones (es decir, por la tonelada de producto) de gases y aguas residuales de modo que las emisiones específicas puedan ser comprendidas mejor por los lectores escépticos. Los datos de emisiones específicas suficientemente cualificados son la información preferida para la comparación del comportamiento ambiental de las diversas instalaciones en toda Europa.

La información sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTDs es generalmente mucho más débil para las fábricas de pasta al sulfito que para las fábricas de pasta kraft. Por lo tanto, de la información limitada facilitada por los miembros del grupo de trabajo en el curso del intercambio de información sobre MTDs, sólo algunas técnicas pudieron ser descritas con el mismo detalle que para la fabricación de pasta. Si los Estados miembros ven la necesidad de explorar más las diferencias entre los procesos de fabricación de pasta y al sulfito, deberá aportarse más información para una revisión de esta sección.

Una revisión futura del BREF podría estudiar con más detalle las condiciones específicas de las fábricas pequeñas y del grupo de papeles especiales. Podría ser beneficioso instalar una red entre

fábricas más pequeñas para organizar un intercambio de información entre ellos y buscar apoyo para soluciones que sean especialmente apropiadas a sus condiciones.

Cuando se adquiriera experiencia con la IPPC y el uso del BREF, debe utilizarse para determinar si hay necesidad de una descripción más detallada de otros factores relacionados con el producto. Estos factores pueden incluir materias primas especiales, calidades específicas del producto final, y factores operativos asociados.

El grupo de trabajo recomienda, para comenzar a actualizar este documento de referencia de MTDs, aproximadamente el año 2005 para evaluar en detalle los puntos anteriores y los progresos reportados en las emisiones alcanzadas por tonelada de producto. Antes de que se realice una actualización de este BREF, los Estados miembros y la industria deben hacer que la información sobre emisiones y consumo de energía, junto con las técnicas asociadas y sus costes, sean más fácilmente disponibles y transparentes. Un paso importante para apoyar este trabajo sería que los Estados miembros y la industria publicaran abiertamente datos sobre producción, emisiones y consumo de energía para cada fábrica. A este respecto, podría ser útil comenzar con un estudio sobre las diversas prácticas para la determinación del comportamiento ambiental y la divulgación de resultados de las fábricas europeas de pasta y papel.

REFERENCIAS

[ADEME, 1996]

Centre Technique Du Papier, Énergie et Environnement Dans L'Industrie Papetière (in French only), authors: Pichon, M., Muratore, E., Guillet, F., on behalf of ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 1996, ISBN 2 906579 05 X

[Alfthan, 1996]

C.J. Alfthan, L. Ahlenius, G. Svensson, Closed Loop Bleaching - Mill experiences (in German), Das Papier, 1996, p. V 8 - V 12

[Annergren, 1996]

Annergren, G., Sandström, A bleach plant designed for closure (in German), Das Papier 1996, p. V 12

[Axegård, 1997]

Axegård, P. Carey, J., Folke, J., Gleadow, P. Gullichsen, J., Pryke, D., Reeve, D., Swan, B., Uloth, V., Minimum-Impact Mills: Issues and challenges, Paper presented at 3rd International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9-13 November 1997

[Bentley, 1999]

Bentley, D.J., Mill report: McKinley Paper goes from zero to success in less than four years. Vol. 82 TAPPI Journal No. 1, 1999-03-25

[BMU Austria, 1995]

Bundesministerium für Umwelt (BMU), Sector Waste Management Concept for Paper and Pulp Industry. Prevention-Utilisation-Disposal (in German only), Ministry of Environment, Vienna, Austria, 1995

[BMU Germany, 1993]

Minimum Requirements for the Disposal of Wastewater in Water Courses - §7a, Water Resources Law. Production of Paper and Board. Comments and explanations on appendix 19 B, Published by the Minister for the Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Federal Gazette, 1993

[Borschke, 1997]

Borschke, D., Gehr, V. Mönnigmann, R., Papermaking in view of an optimized waste and water management (in German only: Papierherstellung aus der Sicht eines optimierten Reststoff- und Wassermanagement), Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 146- 153

[Bowen, 1990]

Overview of Emerging Technologies in Pulping and Bleaching, Bowen, J., Hsu, J.C.L., Tappi Journal, September 1990

[Braeuer, 1998]

Braeuer, R., Puhar, E.M., Mulligan, D.B., A new technology for recovered paper processing. The Continuous Batch Fiber Recovery System (CBFRS) "The Tunnelwasher", PTS-CTP Deinking Symposium, Munich, Germany, 1998

[Braunsperger, 1996]

Braunsperger, F., Oberkofler, J., Moser, T., Slime Control without Chemicals (in German only: Chemiefreie Schleimbekämpfung), Wochenbl.f.Papierfabrikat.124 (1996), No. 5, p. 192-194

[COWIconsult, 1989]

COWIconsult, The Technical and Economic Aspects of Measures to Reduce Water Pollution Caused by the Discharges from the Pulp and Paper Industry, European Commission, 1989

[CEPI, 1997a]

CEPI, CEPI Annual Statistics 1996, 1997

[CEPI, 1997b]

CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1997

[CEPI, 1998a]

CEPI (ed.), BAT for Paper Manufacturing, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1998

[CEPI, 1998b]

CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp. Complementary Information on BAT Candidates, Report carried out by J. Pöyry Soil and Water Ltd, Helsinki, July 1998

[CEPI, 1998c]

CEPI, Annual Statistics 1997, 1998

[de Beer, 1993]

de Beer, J.; Worrell, E.; Blok, K., Energy Conservation in the Paper and Board Industry in the Long Term, Utrecht University, 1993

[DG XVII, 1992]

Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 1, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[DG XVII, 1992]

Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 2, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[Diedrich, 1997]

Diedrich, K., Hamm, U., Knelissen, J.H., In-line biological process water treatment in a zero effluent discharge paper mill (in German only), Das Papier 51, No. 6A, p. V153-V159, 1997

[Driessen]

Driessen, W., Habets, L., Paasschens, C., Anaerobic treatment of effluent from recycled paper, p. 81-83

[Dutch Notes on BAT, 1996]

Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General for Public Works and Water Management and RIZA (Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment), Dutch Notes on BAT for Paper and Board from Recycled Fibres, 1996
Contact: W.J.Luttmer, RIZA, P.O. Box 17, 8200 AA Lelystad, The Netherlands

[ECF, 1997]

Elemental Chlorine Free (ECF), Pollution Prevention for Pulp and Paper Industry. Submission to the Joint Standing Committee on Natural Resources, 118th Maine Legislature, April 1997

- [Ecocyclic pulp mill, 1999]
KAM program "Ecocyclic pulp mill", July 1, 1996 - December 31, 1999, STFI, Box 5604, S-114 86 Stockholm, Sweden.
- [Edelmann, 1997]
Edelmann, K., Kaijaluoto, S. Karlsson, M., Towards effluent free paper mill, Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 138- 145
- [Edelmann, 1999]
Edelmann, K., Closed water cycles and environmental issues in paper production, International Conference on process integration, 7 - 10 March 1999, Copenhagen
- [EN 643, 1994]
EN 643, 1994, List of European standard qualities of waste paper, CEN
- [Energy Efficiency Office, 1991]
Energy Efficiency Office, UK, Anaerobic Digestion of Paper Mill Effluent, Energy Efficiency Office, 1991
- [Energy Efficiency Office, 1991]
Energy Efficiency Office, UK, Cross Direction (CD) Profile Correction of Moisture and Caliper on a Paper Machine (A demonstration at Tait Paper), Energy Efficiency Office, 1991
- [Energy Efficiency Office, 1992]
Energy Efficiency Office, UK, An Improved Infra-Red Camera for Troubleshooting on a Paper Machine, Energy Efficiency Office, 1992
- [Energy Efficiency Office, 1992]
Energy Efficiency Office, UK, Hot Stock Dispersion in a Paper Mill Using Wastepaper in its Furnish, Energy Efficiency Office, 1992
- [Energy Efficiency Office, 1993]
Energy Efficiency Office, UK, Hot press drying of board grade paper products, Energy Efficiency Office, 1993
- [Energy Efficiency Office, 1993]
Energy Efficiency Office, UK, Jet Foil air flotation drying on a paper machine, Energy Efficiency Office, 1993
- [Energy Efficiency Office, 1994]
Energy Efficiency Office, UK, Optimisation of a Yankee Drying Cylinder Hood, Energy Efficiency Office, 1994
- [Energy Efficiency Office, 1996]
Energy Efficiency Office, UK, Energy savings from a film metering size press, Energy Efficiency Office, 1996
- [Energy Efficiency Office, 1997]
Energy Efficiency Office, UK, Multi-Disk refining at a paper mill, Energy Efficiency Office, 1997
- [EPA, 1996]
Irish EPA, Integrated Pollution Control Licensing, BATNEEC Guidance Note for Board Manufacture, EPA No. LC 11 (2/96), 1996, ISBN 1 899965 173

[EPA, 1997]

Irish EPA, BATNEEC Guidance Note Pulp and Paper Manufacture (draft), 1997

[EU, 1996]

Autio, E.; Dietrichs, E.; Führer, K.; Smith, K., Innovation Activities in Pulp, Paper and Paper Production in Europe, European Commission, DG XIII, 1996

[EUCEPA, 1997]

26th EUCEPA Conference together with ZELLCHEMING Annual Meeting and Expo '97. The Sustainable Paper Cycle - A Challenge, Baden-Baden 23-26 June 1997, Conference issue, Das Papier 6 A/1997

[EurEco, 1997]

EurEco, Interdisciplinary Environmental Studies, Review of selected schemes developed for environmental risk assessment of substances hazardous for the aquatic environment, submitted to: RIZA, contract: RI-1908, Luxembourg, 1997

[Evans, 1991]

Evans, T., An overview of the water recovery process at Millar Western's, CPPA Spring Conference, Whistler, B.C. 1991

[Evans, 1992]

Evans, T., Startup of Millar Western's zero discharge BCTMP mill in Meadow Lake, Tappi Pulping Conference, Boston, MA, Nov. 1992

[Evans, 1993]

Evans, T. Sweet, F.W. Manolescu, D.R., Meadow Lake's success opens the door for kraft bleach plant closure, Pacific Paper Expo, Vancouver, B.C. Nov. 1993

[Färnstrand, 1997]

Färnstrand, P. - A., Obtaining better quality, efficiency and pollution control with new pulp processes, 5th Global Conference on Paper and the Environment, Gothenburg, Sweden, 10-12 June 1997

[FEI, 1996]

Finnish Environment Institute (ed.), 1996. J. Tana and K.H. Lehtinen, The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations - an overview, The Finnish Environment 17, ISBN 952-11-0028-1, Oy Edita Ab, Helsinki, 1996

[FEFCO, 1997]

FEFCO, European Database for Corrugated Board. Life Cycle Studies, 1997

[FFIF, 1998]

Environmental Report. Statistics for 1997, Finnish Forest Industries Federation, 1998

[Finnish BAT Report, 1997]

The Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry. The Finnish Environment 96, Ministry of Environment in Finland, Edita Ltd, Helsinki 1997, ISBN 952-11-0123-7

[Fischöeder, 1995]

Fischöeder, R., Thermische Nutzung von Fangstoff aus der Papier- und Kartonherstellung (in German only) (Thermal utilization of residual materials from paper and paperboard production), UBA-Report II 1.1-30441-6/4, 1995

[Folke, 1994]

Folke, J.; Mogensen, U., Produktion og miljøforhold I papirindustrien, Miljøministeriet Miljøstyrelsen, 1994

[Fromson, 1993]

Fromson, D.A., Wootton, P., Good project execution: a science not an art, 47th Annual General Conference, Roorua, Australia, April 1993

[Fuhrmann, 1998]

Fuhrmann, A., Rasimus, R., Rautonen, R., Ozone bleaching - New encouraging perspective, Paper and Timber 4/1998

[Gartz, 1996]

Gartz, R., Waste heat evaporation of paper mill process waters. An R&D project at Enso-Gutzeit Oy Kotka mills, TAPPI International Environmental Conference, Orlando, 1996

[Gatz, 1996]

Gatz, C.; Meyer, G.; Cordes-Tolle, M.; Möbius, C.H, Reinigung von Produktionsabwässern aus der Papiererzeugung durch eine zweistufige Biofor-Filteranlage (Cleaning paper mill production wastewater using a two-stage Biofor filter plant, in German only), UBA-Report 7028, 1996

[Gartz, 1998]

Gartz, R., Evaporation of mill effluent is in sight. An R&D project at Enso-Gutzeit Kotka Mills has opened the possibility of effluent-free paper manufacture, PPE, No. 1, 1998, p. 20- 23

[Guillet, 1997]

Guillet, F., Sludges utilization (in French only), Congress 22.10.1997 in Bourdeaux-Lac: 50 years of technical progress. Springboard for future innovations, session 5: Environment and valorization of sludges: assessment, concrete actions and perspectives

[Hamm, 1991]

Hamm, U., Bobek, b., Götsching, L., Anaerober Abbau von Abwässern altpapierverarbeitender Papierfabriken (in German only), Das Papier 45, No. 10A, p. V55-V63, 1991

[Hamm, 1996]

Hamm, U., Utilization and final disposal of paper mill waste - what is the answer (only in German), Wochenbl. F. Papierfabr. (1996), Nr. 9, 409 - 413

[Haskoning, 1992]

Haskoning, BAT Pulp Industry - Selection of Parameters, EU, 1992

[Haskoning, 1994]

Implementation of Best Available Techniques BAT in the Pulp Industry, Haskoning, on behalf of the European Commission, Final Report Contract No: B4-3040/012185/92, 1994

[Helble, 1999]

Helble, A., Schlayer, W., Liechti, P.-A., Jenny, R. and Möbius, C.H. (1999). Advanced effluent treatment in the pulp and paper industry with a combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors. Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[HMIP, 1993]

Her majesty's Inspectorate of Pollution Department of the Environment (HMIP), Pollution Control for Paper and Pulp Processes, DoE Report No: DoE/HMIP/RR/93/036/Sector No: 1.1, 1993

[HMIP, 1995]

HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/8 the Making of Paper Pulp by Chemical Methods, 1995, ISBN 0 11 753 1057

[HMIP, 1995]

HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/9 The Papermaking and Related Processes, Including Recycled Fiber and Deinking, 1995, ISBN 0 11 753 1065

[Höök, 1997]

J. Höök, P. Tomani, Towards the closed cycle mill for bleached pulp - milestones and stumbling blocks, *Das Papier* 6 A, 1997, p. V 54 - 59

[IFP, 1997]

Bobek, B., Hamm, U., Götsching, L., Biodegradability of chemical additives for papermaking and paper converting (in German only: Biologische Abbaubarkeit von chemischen Hilfsstoffen zur Papierherstellung und Papierverarbeitung), Final Report AiF-No: 10213, Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1997

[IFP, 1998]

Götsching, L.; Hamm, U.; Putz, H.-J., Report on BAT for the Production of Case making Materials (Testliner and Wellenstoff), Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1998 on behalf of Groupement Ondulé

[IPTS, 1997]

IPTS, The legal definition of waste and its impact on waste management in Europe, EUR-17716-EN, Nov. 1997

[J. Pöyry, 1992]

Pöyry, J., Tech/Econ Evaluation of Water Pollution Control in Pulp Mills, 1992

[J. Pöyry, 1993]

Pöyry, J., Environmental Issues in Nordic Pulp and Paper Industry, Nordic CoM, 1993

[J. Pöyry, 1994a]

Pöyry, J., Air Pollution Control measures in Pulp Mills, 1994

[J. Pöyry, 1994b]

Pöyry, J., Techno-Economic Study on the Reduction Measures, Based on BAT of Emissions (water, waste, air) from the Paper and Board Manufacturing Industry, European Commission - DG XI, 1994

[J. Pöyry, 1997b]

Pöyry, J., A compilation of BAT techniques in Pulp and Paper Industry. Jaakko Pöyry Oyj, 1997

[J. Pöyry, 1998]

Jaakko Pöyry Consulting, Consortium. BAT emissions of the pulp and paper industry in the European Union. Strategic background paper, Helsinki, 1998

[Justin, 1994]

Justin, R.; Plankensteiner, W. Schlöger, H. et al, Integrated Environmental Protection in the Paper Industry - Overview, Austria, 1994

[Kari, 1996]

Kari, F.G., Giger, W., Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment, Wat. Res. Vol. 30, No. 1, pp. 122 - 134, 1996.

[Kaindl, 1999]

Kaindl, N., Tillman, U. and Möbius, C.H. (1999). Enhancement of capacity and efficiency of a biological waste water treatment. Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[Koepp-Bank, 1991]

Koepp-Bank, H.-J., Biologische Reinigung des Abwassers einer altpapierverarbeitenden Papierfabrik (in German only), Allg.Papier-Rdsch. 115, No. 40, p. 1092-1098, 1991

[Krieger, 1998]

Krieger, U., New developments in rejects and sludge dewatering, Paper Technology 39, No. 4, p. 45-50, 1998

[Legnerfält, 1997]

Legnerfält, B., Hallgren, O., Nygren, A., Evaporation as a CTMP mill kidney, 1997

[Lövsblad, 1991]

Lövsblad, R., Moberg, G., Olausson, L., Boström, C.-A., NO_x Reduction from a recovery boiler by injection of an enhanced urea solution (NO_xOUT process), TAPPI Proceedings, Environmental Conference, April 1991

[Lorson, 1996]

Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Black Liquor Recovery by Pressurized, Oxygen-Blown Gasification, Noell, Inc.

[Lorson, 1996]

Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Emerging Gasification Applications, Noell, Inc., 1996

[Merkel, 1997]

M. Merkel, Waste Paper Treatment and Energy Consumption, (in German), WfP No.5, 1997, p. 211-215

[Metcalf, 1991]

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed., revised by G. Tchobanoglous & F.Burton, McGraw-Hill International Editions, ISBN 0-07-041690-7

[Ministry of Education, 1994]

Höyrykattilateknikka ("Steam boiler engineering"), A Publication of the Finnish Ministry of Education, 1994

[Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997]

Environmentally compatible pulping processes (in German: Umweltverträgliche Holzaufschlußverfahren"), on behalf of Ministry of Food, Agriculture and Forestry, Project.No. 95 NR076-S, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 1997, ISBN 3-7843-2877-6.

[Möbius, 1997 a]

Möbius, C.H., Cordes-Tolle, M., Enhanced biodegradability by oxidative and radiative wastewater treatment, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 245-250

[Möbius, 1997 b]

Möbius, C.H., Pulp and paper industry wastewater. Biological treatment of wastewater from pulp and paper manufacturing (in German only: Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie. Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff), 2nd Edition, Munich, Germany, 1997

[Möbius, 1999]

Möbius, C.H., Inside wastewater biofilters used for advanced treatment of papermill effluent, Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, June 1999, Tampere, Finland

[Mönningmannn, 1996]

Mönningmann, R., Schwarz, M., Abwasserfreie Papierfabrik - Traum oder Alptraum ? (in German only), Das Papier 50, No. 6, p. 357-364, 1996

[Naturvårdsverket, 1996]

Naturvårdsverket (SE), Action Programme for Waste (Mål för särskilda avfallsslag), Naturvårdsverket, 1996

[Nivelon, 1997]

Nivelon, S., Pichon, M., Piollet, A., Deconcentration treatment for corrugating medium papermaking circuits: target zero reject, 84th Annual Meeting, Technical Section CPPA, A 123-A 126, 1997

[Nokelainen, 1995]

Nokelainen J., Piirainen R., Wet end control- results and new possibilities. Pulp & Paper Conference "EcoPaper/Tech". Helsinki June 1995, p. 21 - 30, Finland

[Nokelainen, 1997]

Nokelainen J., Artama M., Farrand N., Control of retention and ash, PIRA Conference Proceedings "Use of minerals in Papermaking", February 1997, Manchester, UK

[Nordic Council of Ministers, 1993]

Nordic Council of Ministers, Study on Nordic Pulp and Paper Industry and the Environment, Nordic Council of Ministers, 1993

[Nygard, 1997]

Nygard, S., Hietanen, S., Roitto, I., Alho, J., Coating chemical regeneration by ultrafiltration, 1997

[Ojala, 1999]

Ojala, t., Condebelt drying process benefiting paper- and boardmanufacturing and converting, presentation at Aticelca/ATI Convention in Milan, April 19, 1999, Energetic evolution in the paper sector

[Öko-Institut, 1993]

Öko-Institut (DE), Report about investigations at 10 paper manufacturing plants in the federal state Hesse concerning the implementation of Art 5 (in German only), Hessisches Ministerium für Umwelt, Germany, 1993

[Öller, 1997 a]

Öller, H.-J., Weinberger, G., Demel, I., Enhanced DQO elimination and colour stripping by ozone treatment of biologically treated mill effluents (in German only), Das Papier No 4, (1997), p. 177- 182

[Öller, 1997 b]

Öller, H.-J., Weinberger, G., Demel, I., Reduction in residual DQO in biologically treated paper

mill effluents by means of combined ozone and ozone/UV reactor stages, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 269-276

[Paper and Timber, 1993]

Firing pulp and paper making residues at small power plants, Paper and Timber Vol. 75/No. 8, 1993

[Papermaking Science and Technology, 1999]

Papermaking Science and Technology, Book 5: Mechanical Pulping, (ed.)

Sundholm, J., published by Fapet Oy, Helsinki, Finland, 1999, ISBN 952-5216-05-5

(This book is one out of a series of 19 books on pulp and paper industry. These recently published 19 volumes cover descriptions of latest technology and future trends for all pulp and paper grades)

[Paper News a]

Landström, L.; Pettersson, H., Two of the world's most silent board machines, MoDo Iggesund Paperboard BM 2 and Stora Paperboard Skoghall BM 8, Paper News, Valmet

[Paper News b]

Petterson, H., Environmentally friendly air systems for pulp, paper and board machines, Paper News, Valmet

[PARCOM, 1992]

PARCOM, Report on Pulp and Paper Industry, PARCOM, 1992

[PARCOM, 1994]

PARCOM, BAT and BEP for the Sulphite and Kraft Pulp Industry, PARCOM, 1994, ISBN 0946 56 367

[Pfitzner, 1999]

Pfitzner, Th., Process Water Systems in Newsprint Paper Mills (in German only:

Wassersysteme von Zeitungsdruckpapierfabriken), Wochenbl.f.Papierfabrik., No. 4, P. 223-226, 1999

[Proceedings, 1997 a]

Proceedings of the European Conference on Pulp and Paper Research - The present and the future, October 9/11, 1996, Stockholm, Sweden, EUR 17467, ISBN 92-827-9327-3.

[Proceedings, 1997 b]

Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9 - 13 November 1997

[PTS, 1998]

N.N., Operation of biological Wastewater Treatment Plants - Reasons and Prevention of Disturbances (in German only: Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen - Ursachen und Vermeidung von Betriebsstörungen), (ed.) Demel, I., Schmid, F., Papiertechnische Stiftung PTS (The Paper Technology Specialists), PTS-Seminar, 1998

[PTS-FB 09/97]

Öller, H.-J., Kappen, J., Measures for reduction of gaseous emissions from paper and coating machines (only in German), Munich: Papiertechnische Stiftung (PTS), 108 p., PTS Research-report PTS-FB 09/97

[Pulp & Paper, 1993]

Lavigne, J.R., Pulp & Paper Dictionary, Millar Freeman Books, San Francisco, 1993

[Rampotas, 1996]

Rampotas, C., Terelius, H., Jansson, K., The netfloc system - the tool to remove extractives and NPE, 1996 Tappi Minimum Effluent Mill Conference, 1996.

[Regenex, 1996]

N.N., Regenex RCF system at TAPPI, Paper Equipment & Material International, March-April 1996

[Rentz, 1996]

Rentz, O., Schleef, H.-J., Dorn, R., Sasse, H., Karl, U., Emission control at stationary sources in the Federal Republic of Germany, Volume I, Sulphur oxide and Nitrogen oxide emission control, French-German Institute for Environmental Research University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, August 1996

[Retulainen, 1998]

Retulainen, E., Merisalo, N. Lehtinen, J. Paulapuro, H., Effect of Condebelt press drying in sheet structure and properties, Pulp Pap. Can., Vol 99, No 1, 1998, p. 53-58

[RIZA, 1997a]

Senhorst, H.; Zwart, L.; Boulan, R.P.; Luttmer, W., A Broad Approach to Water Loop Closure at Papierfabriek Doetinchem (and Appendix Report), RIZA-document 97.188X, RIZA, 1997

[RIZA, 1997b]

Benschop, P., The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of Surface water Act, Riza report 98.005, Lelystad, 1997, ISBN 903 6951569

[Roberts, 1998]

Roberts, J. Wastepaper yields more treasure. There's more to be extracted from wastepaper than just fibre, Pulp and Paper Europe (PPE) Number 5, 1998, p. 33-34

[Roitto, 1997]

Roitto, I., Alho, J., Environment-friendly coating: recycling of coating chemicals, Executive conference on profitable making of coated papers, April 7 to 10, 1997, p. 69-79

[Saarinen, 1998]

Saarinen, K., Jouttijärvi, Forsius, K., Monitoring and control practices of emissions in pulp and paper industry in Finland, The Finnish Environment 220, Finnish Environment Institute, Helsinki, 1998, ISBN 952-11-0308-6

[Schwarz, 1995]

Schwarz, M., Peripheral subsystems for water, sludge and rejects (in German only), WfP, No. 18, p. 792-802, 1995

[Sebbas, 1988]

Sebbas, E., Reuse of kraft mill secondary condensates, Tappi Journal, July 1988.

[SEPA report 4008, 1992]

Pöyry, J., Reduction of Atmospheric Emissions from Pulp Industry, on behalf of Swedish EPA, 1992

[SEPA report 4869, 1996]

SEPA report 4869, "Skogsindustrins utsläpp till vatten och luft samt avfallsmängder och energiförbrukning 1996" (The Forest Industry's emissions to the atmosphere and water, amounts of waste and consumption of energy), 1996

[SEPA report 4785, 1997]

Swedish Environmental Protection Agency, 1997, Environmental Impact of Pulp and Paper Mill Effluents. A strategy for Future Environmental Risk Assessments, Report 4785, ISBN 91-620-4785-X

[SEPA-Report 4712-4, 1997]

Energy conservation in the pulp and paper industry, Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[SEPA-Report 4713-2, 1997]

Aspects on Energy and Environment Costs in Connection with Production of Kraft Pulp, Recycled Fibre and TMP. Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[Solid Waste Handbook, 1996]

Consortium solid waste handbook (ed.), 1996. Solid waste handbook for the paper industry, (in German), ISBN No. 3-9521198-0-6

[SSVL 1974]

Skogsindustrins miljövårprojekt, Teknisk sammanfattning, SSVL 1974

[StoraEnso, 1999]

StoraEnso, 1998 Simplified Environmental Statement, Sachsen mill, 1999

[Swedish EPA, 1992]

Statens Naturvårdsverk (S), BAT (Miljöstörende Anläggningar), Statens Naturvårdsverk (S) (1992)

[Sweet, 1993]

Sweet, F.W., Manolescu, D.R., Mason J.C., Millar Western's zero liquid effluent market BCTMP mill one year after start-up, Pacific Coast and Western Branches Conference, CPPA, Whistler, B.C. May 1993

[Talja, 1998]

Talja, R., Bäckström, M. Kilian, M., Impulse technology - a paper making process for tomorrow, EcoPaperTech, 1998

[Tappi Environmental Conference, 1992]

Josephson, W., Krishnagopalan, Ch.A., Brownstock washer performance and control. Tappi Proceedings, Environmental Conference, 1992

[Tappi, Proceedings, 1994]

Tappi, Proceedings 1994, Key design features of the DNCG system at Howe Sound Pulp and Paper Ltd.

[Tappi Proceedings, 1996]

Design considerations for cost-effective kraft and sulphite pulping liquor spill control system, Tappi Proceedings, Minimum effluent Mill Symposium, 1996

[Tappi, Proceedings, 1997]

Tappi, Proceedings 1997, Environmental Conference May 5-7, 1997. Odour abatement systems of the modern pulp mill and relative importance of prevailing TRS emissions sources.

[Teppler, 1996]

Teppler, M., Paatero, J., Bergdahl, J., Damen, H., PM and BM white water treatment with membrane technology, in: PTS-Manuskript, PTS-MS 21/96, Munich, Germany, 1996

[Tomani, 1997]

Tomani, P., Report to European Commission DG XII. Project: "Separation methods for closed loop technology in bleached kraft pulp production", 1996 - 1999. See also: Jönsson, J., Report to European Commission DG XII. Project: "Closed cycle mill for high quality chemical pulp", 1996 - 1999.

[Tripathi, 1996]

Tripathi, P., Pinch technology reduces wastewater. Mass exchange integration maximizes water recycling at a paper mill, Chemical engineering, November 1996, p. 86- 90

[UBA Report 7041, 1996]

UBA-Report 7041(German EPA, Berlin), Avoidance of wastewater by closed water loops with in-line process water treatment in a paper mill, (in German only: Abwasservermeidung durch geschlossene Produktionskreisläufe mit integrierter Kreislaufwasserbehandlungsanlage in einer Papierfabrik), Berlin, 1996

[Uhlmann, 1991]

Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 18 A (alphabetically arranged articles) Paper and Pulp, completely rev.ed., 1991, ISBN 3-527-20118-1

[UNEP, 1996]

UNEP, Effluent Discharge Standards, UNEP, 1996

[US EPA, 1993]

Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, USEPA, 1993

[USEPA, 1992]

Total Cost Assessment: Accelerating IPPC Measures, USEPA, 1992

[USEPA, 1993]

Guidance Manual for Developing Best Management Practices, USEPA, 1993

[USGI, 1995]

EPA Sector Notebook: Pulp and Paper Industry, USGI, 1995

[van Ginkel, 1997a]

van Ginkel, C.G., Stroo, C.A., Treatability of EDTA containing wastewaters from bleaching plants in an activated sludge plant, Akzo Nobel Central Research, Internal Report, 1997

[van Ginkel, 1997b]

van Ginkel, C.G., Vandenbrouke, K.L., Stroo, C.A., Biological Removal of EDTA in conventional activated sludge plants operated under alkaline conditions, Bioresource Technology 59 (1997), 151-155.

[Virtapohja, 1997]

Virtapohja, J., Alén, R., Accelerated biodegradation of EDTA in a conventional activated sludge plant under alkaline conditions, 1997 TAPPI Environmental Conference, Minnesota, USA, May 5-7, 1997, Book 2, p. 991-997.

[Ward, 1993]

Ward, R.O., Manolescu, D.R., Sweet, F.W., Millar Western Meadow Lake. A success story in effluent treatment, Joint Conference of Environment Canada and the German Ministry of Environment, Munich, Germany, Nov. 1993

[WBCSD, 1996]

Towards a Sustainable Paper Cycle, WBCSD, 1996

[Wigsten, 1995]

Wigsten, A., Towards ecobalanced paper production, EcoPaperTech Conference, 6.6.1995, Helsinki, Finland

[Winell, 1997]

Winell, B., Chemicals Use (Kemikalier), Sweden (1997)

[Wünschmann, 1993]

Possibilities of utilization of residues from paper industry in agriculture and land reclamation (only in German), Das Papier 47 (1993), Nr.10A, V119-V126

[Wünschmann, 1995a]

Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 1: fundamentals about composting and requirements to composting materials (only in German), Wochenbl. f. Papierfabr. 123 (1995), Nr.9, 395-403

[Wünschmann, 1995b]

Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 2: analysis of the compostability in lab-scale (only in German), Wochenbl.f.Papierfabr. 123 (1995), Nr.16, 707-714

[Young, 1998]

Young, R.A., Akhtar, M. (Ed.), Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry, John Wiley&Son.Inc., New York, 1998, ISBN 0-471-15770-8

[Zippel, 1999]

Zippel, F., Water Management in Paper Mills (in German only: Wasserhaushalt in Papierfabriken), Frankfurt am Main, Germany, Dt. Fachverlag, 1999, ISBN 3-87 150-619-2

[Zunich, 1993]

Zunich, J.L., Vora, V.M., Venkataram, B., Design considerations for steam stripping of kraft mill foul condensates. TAPPI Environmental Conference Book 1993.

GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS

Unidades y Factores de Conversión

- a = año, 365 días
- d = días, 24 horas
- h = hora(s)
- 1 kWh = 3,6 MJ
- 1 MJ = 0,2778 kWh
- 1 kg vapor = Suponiendo una presión de 2,5 bares en las conducciones de vapor, el calor del vapor que puede aprovecharse corresponde a unos 0,7 kWh/kg vapor o alrededor de 2,5 MJ/kg vapor.
- ppm = Valor multiplicado por el Peso Molecular dividido por 22,41 = mg/m³; ej: 1 ppm NO₂ = 2,05 mg NO₂/Nm³ o 1 ppm SO₂ = 2,85 mg SO₂/Nm³
- t = tonelada métrica (1 * 10⁶ gramos)
- m³n o Nm³ = metro cúbico normalizado (estándar); volumen que ocupa un gas a presión atmosférica (1013 mbares) y 273,15 K (= 0°C)
- I-TEQ = PCDD/F equivalentes de toxicidad internacionales
- °C = grado centígrado o Celsius
- □ = micro = 1 * 10⁻⁶

Abreviaturas

% ISO	Grado de blancura según ISO, International Organisation for Standardisation.
ADt	Tonelada métrica de pasta seca, lo que significa un contenido de materia seca del 90%. Nótese que una tonelada de papel seco se define como papel con un contenido de humedad del 6%.
AOX	Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles según el método estándar para aguas residuales ISO 9562: 1998
BREF	Documento de Referencia de Mejores Técnicas Disponibles
C	Etapas de blanqueo por cloración, que utiliza cloro molecular dispersado y disuelto en agua.
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles.
CSF	Canadian Standard Freeness – Una medida del desgote o velocidad a la que el agua se escurre de una pasta. Cuanto menor es el valor, más lento es el desgote.
CTMP	Pasta quimicotermodinámica.
D	Etapas de blanqueo con dióxido de cloro utilizando una solución acuosa de dióxido de cloro (ClO ₂).
D/C	Etapas de blanqueo con dióxido de cloro en la que el dióxido de cloro domina sobre el cloro (que puede especificarse con porcentajes de cloro activo, ej: D ₉₀ /C ₁₀ , que significa 90 % dióxido de cloro y 10 % cloro).
DAF	Flotación por Aire Disuelto.
DBO₅/DBO₇	Demanda Biológica de Oxígeno, que indica la cantidad de materia orgánica biodegradable en las aguas residuales, evaluada con un test estándar de 5 o 7 días.
DIP	Pasta destintada: Pasta producida a base de papel de impresión recuperado, como papel prensa, mediante un proceso con destintado.
DQO	Demanda química de oxígeno, que indica la cantidad de materia orgánica oxidable en las aguas residuales (normalmente se refiere a análisis mediante oxidación con dicromato).
DTPA	Acido DietilTriaminPentaAcético, agente complejante.
E	Etapas de blanqueo por extracción con hidróxido sódico (NaOH).
E/O	Etapas de blanqueo por extracción con hidróxido sódico con adición subsiguiente de oxígeno gaseoso como agente de refuerzo.
E/P	Etapas de blanqueo por extracción con hidróxido sódico con adición subsiguiente de solución de peróxido de hidrógeno como agente de refuerzo.
ECF	Blanqueo sin cloro elemental.
EDTA	Acido EtilDiaminTetraAcético, agente complejante.
ej:	por ejemplo
ENP	Elementos que no son del proceso que pueden acumularse al cerrar los circuitos de agua en las fábricas de pasta, como Al, Si, Ca, Ma, Mn.
EOP	Etapas de blanqueo por extracción con hidróxido sódico con adición subsiguiente de solución de peróxido de hidrógeno y oxígeno como agente de refuerzo.
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU.

ETS	European Tissue Symposium, Asociación Europea de Fabricantes de Papel Tisú.
Euro	Moneda europea.
FAS	Acido formamidinsulfónico; agente de blanqueo reductor.
FEI	Instituto Finlandés del Medio Ambiente
FRC	Fibra(s) reciclada(s); pasta obtenida del proceso de papel recuperado.
GNC	Gases no condensables, hace referencia a los gases malolientes del proceso de preparación de pasta química.
GW	Pasta mecánica.
H₂O₂	Peróxido de hidrógeno
HC	Pasta de alta consistencia. Pasta con una consistencia del orden de 30 – 50% de materia seca
i.e.	es decir (id est, latín)
IPPC	Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC).
IVL	Índice Volumétrico de Lodos; Volumen en ml ocupado por 1 gramo de lodo activado tras la sedimentación bajo condiciones específicas durante un tiempo específico, normalmente 30 minutos.
LC	Baja consistencia – concentración de pasta en un intervalo del 3 - 5% de materia seca.
LWC	Papel estucado ligero (LightWeight Coated).
MBR	Bioreactor de Membrana.
MC	Consistencia media – concentración de pasta en un intervalo del 8 – 15% de materia seca.
MEuro	1 millón de euros, moneda europea.
Mg	Magnesio.
MLSS	Sólidos en suspensión en el licor de mezcla.
MS	Materia Seca
MTD	Mejores Técnicas Disponibles, según se definen en el Artículo 2(11) de la Directiva de IPPC
MWC	Papel estucado medio (Medium Weight Coated).
Ndg	Gas seco normal referido a condiciones normales.
NO_x	La suma de óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂) expresada como NO ₂
Nsp	Papel vendible neto.
NSSC	La pasta semiquímica al sulfito neutra (Neutral Sulphite Semi Chemical) es el tipo más común de pasta semiquímica, que se produce mediante una combinación de procesos químico y mecánico. En el proceso, las astillas de madera son parcialmente cocidas para debilitar las uniones entre las fibras y la lignina. Las astillas son luego tratadas mecánicamente en un refino.
O	Etapas de blanqueo con oxígeno.
OCA	Objetivo de Calidad Ambiental
P	Etapas de blanqueo alcalino con peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) en forma líquida.
PCDD/F	Dibenzo-p-Dioxinas/Furanos Policlorados.
PE	Precipitador Electrostático
PGW	Pasta mecánica presurizada (Pressurised Ground Wood) (fabricación de pastas).
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales.
Q	Etapas de blanqueo ácido en la que se ha utilizado el agente quelante EDTA o DTPA para la eliminación de metales.
RMP	Pasta mecánica de refino (Refiner Mechanical Pulping).
SNCR	Reducción No Catalítica Selectiva.
S	1) Azufre. 2) Etapa de blanqueo ácido con hidrosulfito sódico (NaHSO ₃)
SC	Papel supercalandrado (SuperCalendered).
SEPA	Agencia Sueca de Protección Ambiental.
SGW	Pasta mecánica de muelas (Stone GroundWood).
SO₂	Dióxido de azufre.
SS	Sólidos en suspensión.
TCF	Blanqueo sin cloro (Totally Chlorine Free).
TMP	Pasta termomecánica (Thermo-Mechanical Pulp).
TRS	Compuestos de azufre reducido (Total Reduced Sulphur), que significa la suma de los siguientes compuestos de azufre malolientes generados en el proceso de fabricación de pasta: sulfuro de hidrógeno, metilmercaptano, sulfuro de metilo y sulfuro de dimetilo, expresados como azufre.
TSP	Total partículas sólidas (Total Solid Particulates) (en los gases de combustión), polvo.
SST	Sólidos en suspensión totales (en aguas residuales).
Z	Etapas de blanqueo con ozono gaseoso (O ₃).

Definición de términos

Absolutamente seca	Pasta con un contenido de materia seca del 100%; también se denomina pasta seca en estufa.
Agua blanca	Término general para todas las aguas de una fábrica de papel que han sido separadas de la suspensión de pasta, en la máquina de papel o en los equipos auxiliares, como espesadores, lavadoras, recuperadores y desfibradores. Contiene una cierta cantidad de fibra y puede contener cantidades variables de cargas y colorantes.
Blanqueo	Proceso de blanqueo de la fibra mediante la eliminación de las sustancias coloreadas o mediante su decoloración.
Caja de entrada	Inicia la alimentación de pasta a la máquina de papel.
Capacidad de producción diaria	Peso de productos (secos al aire) que puede producir una instalación durante un día.
Cargas	Aditivos de fabricación de papel, normalmente caolines o carbonatos cálcicos.
Cilindro Yankee	Cilindro grande único utilizado principalmente para secar papel tisú / compresas.
Colas	Materiales diversos que se emplean para encolado, como adhesivos y también ligantes en el proceso de estucado.
Composición	Mezcla de diversos materiales en la suspensión de pasta al agua a partir de la cual se fabrica el papel o cartón. Los componentes principales son el material fibroso (pasta), cargas, agentes de encolado, aditivos de resistencia húmeda u otros aditivos, y colorantes.
Consistencia	Porcentaje en peso de material fibroso seco (o absolutamente seco) en una pasta o suspensión de pasta. Se distinguen pastas de consistencia baja (3% - 5%, LC), consistencia media (10% - 15%, MC) y alta consistencia (30% - 50%, HC).
Consumo específico de agua	Cantidad de agua fresca consumida durante la producción (aguas superficiales o subterráneas). La demanda de agua fresca está relacionada con la producción neta seca, y se expresa en m ³ /t. No se incluye el agua fresca que sólo se utiliza para refrigeración (es decir, agua que no ha tenido contacto con fibras y aditivos) y que se descarga directamente al medio receptor. Tampoco se incluyen las aguas residuales generadas en las plantas de cogeneración de vapor y electricidad.
Destintado	Proceso de eliminar la tinta de los papeles impresos reciclados, aunque también incluye la eliminación general de otros materiales indeseables.
Dispersión	Tratamiento mecánico de las fibras del papel recuperado para dispersar las partículas de tinta.
Efectos sobre otros medios	Posible transferencia de la presión medioambiental de un medio a otro. Esto se da por ejemplo cuando se instala un filtro para eliminar emisiones atmosféricas; el aire se limpia, pero se genera un residuo.
Índice Kappa	Medida del contenido de lignina residual en la pasta sin blanquear, determinado después de la cocción y antes del blanqueo. Cuanto menor es el índice Kappa, menos lignina asociada.
Finos	Materias de pequeño tamaño de partícula, normalmente definido por debajo de 75 micras.
Foso de rotos (Couch pit)	Tina bajo el extremo de la sección de prensa de la mesa de formación que recibe los orillos y roturas de la hoja continua en la fabricación de papel.
Gramaje	Masa del papel/cartón, normalmente expresada como g/m ² .
Instalación	Unidad técnica estacionaria en la que se fabrican uno o más productos.
Jabón	Producto de la reacción entre el álcali de la solución de fabricación de pasta kraft y los ácidos grasos de la madera, que precipita cuando se evapora el agua del licor residual.
Parte húmeda	Parte del proceso de fabricación del papel antes de la formación de la hoja de papel continuo.
Parte seca	Parte del proceso de fabricación de papel tras la formación de la hoja de papel.
Lignina	Es la sustancia ligante en las fibras naturales; se trata de un polímero orgánico complejo con una estructura irregular.
Madera de coníferas (fibra larga)	Grupo de maderas para pasta que incluye las siguientes: Pino y abeto.
Madera de frondosas (fibra corta)	Grupo de especies de madera que incluye las siguientes maderas para fabricación de pasta: álamo, haya, abedul y eucalipto.
Magnefite	Proceso de fabricación de pasta a base de sulfito magnésico.

Niveles asociados con MTD	Niveles de emisiones (y consumos) que representan el comportamiento medioambiental que podría anticiparse a consecuencia de la aplicación de las MTDs, teniendo en cuenta el balance de costes y ventajas inherentes a la definición de MTD.
Papel o cartón con pasta mecánica	Papel o cartón con una parte considerable de compuestos no celulósicos (más del 5%) como componente esencial de su composición de fibras.
Papel o cartón sin pasta mecánica	Papel o cartón que en principio sólo tiene pasta química en su composición fibras; no obstante, en la práctica puede contener una pequeña cantidad de otras fibras o pastas (menos del 5% de compuestos no celulósicos).
Papel	Hoja de fibras con una serie de aditivos químicos. Según el gramaje básico, cabe distinguir: Papel < 150 g/m ² < cartulina < 250 g/m ² < cartón.
Pasta en suspensión	Suspensión homogénea de fibra y otras materias utilizada para fabricar el papel.
Pasta al sulfito	Pasta química en la que se utilizan diversos sulfitos o bisulfitos como agente de cocción química.
Pasta de fibra reciclada	Material fibroso que ya ha pasado por la producción de papel o cartón.
Pasta kraft	Pasta química fabricada con sulfato sódico como principal agente de cocción.
Pasta cruda	Suspensión de pasta sin blanquear.
Pasta mecánica	Pasta para fabricación de papel elaborada totalmente por medios mecánicos a partir de diversas materias primas, es decir, desfibrando madera contra una superficie abrasiva (pasta mecánica) o procesando virutas de madera o serrín a través de un refino (pasta mecánica de refino). La pasta mecánica contiene una parte considerable de compuestos no celulósicos.
Pasta química	Material fibroso obtenido mediante la eliminación de una parte considerable de los compuestos no celulósicos que puede eliminarse mediante tratamiento químico (cocción, deslignificación, blanqueo).
Pasta termomecánica	Pasta para fabricación de papel producida totalmente por medios mecánicos a partir de diversas materias primas, la más normal madera. En el proceso de fabricación termomecánica, la materia prima es sometida a pretratamiento térmico. La pasta termomecánica contiene un porcentaje considerable de compuestos no celulósicos.
Producción integrada	Instalación en la cual la producción de papel y/o cartón está conectada directamente con la producción de pasta.
Producción no integrada	Instalación en la que la producción de papel o cartón no está directamente conectada con la producción de pasta. Se produce pasta o papel / cartón.
Fabricación de pastas	Proceso de conversión de la fibra virgen (ej: madera) o reciclada en una pasta utilizable en la fabricación del papel con un tratamiento ulterior mínimo.
Recuperador (Save-all)	Aparato utilizado para recuperar fibras y cargas del agua blanca. Normalmente funciona según un principio de filtración, sedimentación, floculación o flotación.
Refino	Proceso de tratamiento mecánico de las fibras para desarrollar resistencia.
Rendimiento	La cantidad de fibra útil tras la fabricación de pasta y/o blanqueo o destintado, expresada como porcentaje de la fibra cruda.
Resina MF	Resina de melamina –formaldehído.
Resina UF	Resina de urea-formaldehído.
Resina	Material resinoso de las fibras vírgenes.
Roturas	Papel que ha sido descartado en algún lugar del proceso de fabricación.
Seca (al aire)	Tonelada métrica de pasta seca, lo que significa un contenido de materia seca del 90%.
Trementina	Una mezcla de terpenos, principalmente pineno, obtenida mediante la destilación de la resina de pino recuperada de la condensación de los gases de escape del digestor, en la cocción de maderas blandas mediante el proceso de fabricación de pasta kraft.
UASB	Reactor o proceso de lodo anaerobio (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).
Valor alcanzable	Cuando se utiliza una cierta técnica o combinación de técnicas, nivel alcanzable significa que cabe esperar que se alcance un determinado nivel de emisiones a lo largo de un periodo de tiempo sustancial (ej: un año), en una instalación o proceso bien diseñado, mantenido y operado, utilizando estas técnicas.

ANEXO I AGENTES QUÍMICOS Y ADITIVOS EN LA FABRICACION DE PAPEL

En la industria de papel se utiliza un gran número de sustancias químicas. Por una parte se requieren sustancias químicas de proceso para la producción de pasta, y por otra parte se aplican aditivos químicos y productos auxiliares en la producción de papel. Los aditivos químicos y productos auxiliares se tratarán aquí. Los aditivos químicos se utilizan para conferir diversas características al papel, mientras que los productos auxiliares se utilizan para aumentar la eficacia y reducir la interrupción del proceso de producción.

Dado que los aditivos químicos están diseñados para dar al papel una característica particular, por motivos de coste y eficacia generalmente tienen un nivel alto de retención en las fibras de celulosa. La mayor parte de las sustancias químicas, por lo tanto, son retenidas en el papel. Los productos auxiliares, por otra parte, suelen tener un nivel bajo de retención, y una proporción grande se descarga con las aguas residuales. Un producto con un aditivo químico a menudo contiene productos químicos auxiliares diseñados para facilitar el empleo del producto, como los emulgentes, que aseguran la mejor accesibilidad en el sistema de agua para las sustancias que son difíciles de disolver en agua. Estos productos químicos auxiliares también tienen poca afinidad a la celulosa. Según la degradabilidad de las sustancias químicas y la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales para su tratamiento, pueden acabar en el medio ambiente.

Los grupos más comunes de sustancias químicas usadas en la industria de papel se examinan a continuación desde el punto de vista ambiental. El texto siguiente se centra en los grupos más comunes de sustancias, que son sólo un extracto de una lista más larga de sustancias químicas que se emplean en realidad (según un estudio sueco, en total se utilizan unos 1300 productos, con alrededor 800 sustancias, en la industria sueca del papel). La discusión incluye siempre información sobre la función, las sustancias implicadas y las emisiones y efectos que cabe esperar. Cuando está disponible, se da una indicación sobre las posibilidades de control de las emisiones o de reducción del impacto sobre el medio ambiente.

En las siguientes páginas se discuten los siguientes aditivos químicos:

- Cargas.
- Agentes de encolado.
- Agentes de resistencia en húmedo.
- Agentes de resistencia en seco.
- Agentes de estucado.
- Abrillantadores o blanqueadores fluorescentes.
- Colorantes.
- Ayudas de retención.
- Antiespumantes.
- Agentes dispersantes y surfactantes .
- Biocidas para el agua entrante.
- Biocidas (fungicidas) para los circuitos de agua de proceso.

Se realizaron estudios en distintos países para identificar las sustancias que en el aspecto medioambiental son candidatas a ser reemplazadas según el principio de sustitución. El principio de sustitución significa que, al utilizarse sustancias químicas, los productos peligrosos deben ser evitados si pueden ser sustituidos por otros menos peligrosos. La peligrosidad medioambiental de una sustancia se determina evaluando sus características intrínsecas respecto a los parámetros ambientales de toxicidad, biodegradabilidad y bioacumulación. Lamentablemente, gran parte de esta información todavía no se halla disponible, tanto por lo que respecta a los candidatos a la sustitución como a las alternativas adecuadas. Por lo tanto, hay necesidad de desarrollar un modelo de estudio a nivel europeo que pueda ser también utilizado por empresarios e inspectores. Esta revisión debería ir dirigida a candidatos a la

sustitución, es decir, productos químicos de "alto riesgo" que deberían ser eliminados y sustituidos por tipos de "bajo riesgo", sin perjudicar el proceso de fabricación de papel.

Cargas (ayudas de producto)

Función: en la fabricación de papel, las cargas se agregan para dar opacidad, blancura y lisura superficial, además de ser sustitutos baratos de la fibra.

Sustancias químicas: normalmente se utiliza caolín y carbonato cálcico hasta 300 kg/ADt. Siempre que esto es compatible con la especificación de papel, el carbonato cálcico se suele preferir al caolín debido a que permite alcanzar una retención global más alta y consistente. Dióxido de titanio, talco, y microesferas de plástico se utilizan en menores cantidades como cargas especiales. Las cargas se añaden en la parte húmeda y un 50 - 80% es retenido en la hoja de papel, dependiendo de si también se utilizan agentes de retención apropiados.

Emisiones y efectos: la retención después de la recuperación de fibras y cargas es típicamente del orden del 98%. Las cargas que alcanzan el efluente serán eliminadas en un grado considerable por el tratamiento primario. Sin embargo, pueden ocurrir algunas descargas a las aguas receptoras, en particular como descargas accidentales o temporales. Las cargas inorgánicas son productos principalmente insolubles e inertes. Las cargas orgánicas tienen una degradabilidad muy baja. Cuando se vierten en las aguas pueden afectar la penetración de la luz en los cuerpos de agua (turbidez) y los depósitos acumulados en sedimentos.

Agentes de encolado (ayudas de producto)

Función: las colas se agregan para mejorar la resistencia del papel a líquidos acuosos, es decir, hacen el papel hidrófobo. Las colas se aplican en la parte húmeda (papel con encolado interno) o en la prensa de encolado (encolado superficial). Se utilizan en la fabricación de papel prensa, de impresión y escritura, y de embalaje.

Sustancias químicas: se utilizan productos naturales como resinas naturales modificadas (resina de encolado), almidón o almidón modificado, así como productos sintéticos como el dímero de alquilceteno (AKD) y otros polímeros (por ejemplo copolímeros basados en ésteres de ácidos acrílicos, ésteres del ácido maleico, acrilonitrilo y estirolo). El AKD es el agente de encolado más extensamente usado, y su uso puede ser preferible cuando las especificaciones del producto lo permiten. Cuando se utiliza el AKD, un 0,1% de sustancia activa (con referencia a pasta seca) es suficiente para alcanzar el efecto encolado total. En menor grado también se aplican cera de parafina, ceras de polietileno y sustancias químicas fluoradas. Normalmente se agregan emulgentes y otros aditivos para conseguir buenos resultados de encolado.

Emisiones y efectos: poco se sabe acerca de la retención de las sustancias químicas añadidas a la composición. Dado que las sustancias químicas tienen una baja solubilidad, lo más probable es que se adhieran al papel producido o se eliminen en gran medida en plantas de tratamiento de efluentes. Para agentes de encolado superficial, la retención es muy cercana al 100%.

Junto con los porcentajes de adición de agentes de encolado en la pasta, los fabricantes deberían especificar los índices de emisiones anticipados a través de la ETP y el destino de las sustancias aplicadas.

AKD: Biodegradable, baja toxicidad para bacterias, posible bioacumulación [UK Note IPR 6/9], [J. Pöyry, 1994b].

Productos resinosos: tóxicos para bacterias, bioacumulación en peces [UK Note IPR 6/9], [J. Pöyry, 1994b]

Almidones modificados: biodegradables, atóxicos [UK Note IPR 6/9]. No se reportan riesgos de efectos ambientales.

Agentes de resistencia en húmedo (ayudas de producto)

Función: se agregan en la parte húmeda de la composición para mejorar las propiedades de resistencia en húmedo del papel en condiciones húmedas. Se utilizan en aplicaciones como

compresas, rollos de cocina, servilletas, papel para bolsas, etiquetas, papel moneda, mapas y papeles de filtro.

Sustancias químicas: se utilizan principalmente polímeros ligantes de fibras, como resinas de urea-formaldehído (UF), resinas de melamina-formaldehído (MF) y resinas a base de poliamidoamina-epiclorhidrina (PAA-E). Según el campo de aplicación, las cantidades de agentes de resistencia húmeda usados pueden variar. Se agrega hasta un 5% de la sustancia sólida (pasta seca).

Emisiones y efectos: la retención en la máquina de papel se ha estimado que es $> 90\%$, lo que significa que $< 10\%$ sale del sistema con el agua residual [J. Pöyry, 1994b]. No obstante, hay experiencias actuales de que las resinas de UF y MF se retienen sólo al 50-70% [Wallonia Authority].

Las resinas de UF y MF han mostrado una toxicidad moderada para peces y son sólo parcialmente biodegradables.

Las resinas de UF y MF contienen algo de formaldehído libre (típicamente 2-5%), y se emite más por reactividad cruzada (cross-linking) asociada con el curado de las resinas. Debido a la alta solubilidad del formaldehído, la mayor parte del formaldehído libre permanecerá en el agua y pasará a la planta de tratamiento de efluentes, donde es fácilmente biodegradable. No obstante, el agua que se evapora durante el secado libera su formaldehído a la atmósfera. La concentración y flujo de masa del formaldehído libre emitido deberán determinarse mediante la medición del contenido de formaldehído del aire que abandona la sección de secado. Si se determina que el flujo de masa es significativo, deberá considerarse su captura.

También se requerirá una evaluación de las concentraciones máximas a nivel de suelo y de la idoneidad de la altura del punto de emisión.

Hay disponibles resinas bajas en formaldehído libre ($< 0,5\%$), que pueden usarse con poca pérdida de eficacia de resistencia húmeda en algunos casos. No obstante, con algunas composiciones se requieren mayores cantidades, lo que anula los beneficios obtenidos. Los fabricantes deben investigar a fondo la posibilidad de estas alternativas.

Las resinas de PAA-E no emiten componentes volátiles durante su uso, pero contienen cloro combinado orgánicamente que será emitido al efluente si no queda retenido en el papel o el lodo. Son tóxicas para los organismos acuáticos y no son biodegradables. Durante la síntesis de las resinas de PAA-E, la epiclorhidrina puede también reaccionar o formar dicloropropanol (DCP), un posible carcinógeno, y cloropropandiol (CPD). Por estos dos motivos, actualmente hay disponibles comercialmente una amplia gama de resinas de PAA-E con niveles reducidos de AOX y DCP/CPD, y son estas resinas las que deben usarse preferentemente.

Los vertidos directos de estas resinas pueden causar mortandad en los peces, ya que se fijan a las branquias. Los sistemas deben estar diseñados para evitar la posibilidad de vertidos directos.

Una vez curados, los papeles con resistencia húmeda son más difíciles de repulpar que los papeles corrientes. El reprocesado de papeles tratados con resinas de UF o MF puede producir emisiones de formaldehído. Los fabricantes deben tener la obligación de monitorizar estas operaciones para establecer la magnitud de estas emisiones.

Agentes de resistencia en seco (ayudas de producto)

Función: estos agentes químicos pueden agregarse en la parte húmeda o a la superficie del papel para mejorar las propiedades de resistencia del papel en condiciones secas. Se utilizan principalmente para papel de impresión y escritura, y en cierto grado para papel tisú.

Sustancias químicas: se utiliza almidón o almidones catiónicos modificados, así como galactomananos, derivados de la celulosa (ej: carbometilcelulosa (CMC)), poliacrilamidas, y

alcohol polivinílico (prensa de encolado solamente). El tipo dominante utilizado como agente de resistencia en seco es el almidón o almidón catiónico.

Emisiones y efectos: típicamente, la cantidad de agentes de resistencia en seco es de 10 kg/ADt en la parte húmeda, donde la retención es mala con un 70-90%, y hasta 40-50 kg/ADt en la prensa de encolado. Los almidones utilizados en las fábricas de papel se emiten en cierto grado al sistema de aguas blancas. De este modo, contribuyen a la carga de DBO de una fábrica de papel, siendo básicamente biodegradables y atóxicos. Deben utilizarse los que demuestren dar una mayor retención en la planta, si las limitaciones del producto lo permiten.

Agentes de estucado (ayudas de producto)

Función: la aplicación de un baño de estucado al papel acabado en una estucadora separada tiene por finalidad conferir al papel ciertas propiedades superficiales, como por ejemplo una mayor blancura, opacidad, brillo y lisura.

Sustancias químicas: los estucos son en su mayoría mezclas acuosas de pigmento y ligantes. Los pigmentos blancos determinan en gran parte la calidad y el coste del estucado. Los pigmentos por lo general representan al menos el 80 % del peso total seco del estuco. Los pigmentos comunes usados son caolín, carbonato cálcico molido y precipitado, y en menor grado sulfoaluminato cálcico (blanco satén) y dióxido de titanio. El pigmento usado más frecuentemente es el caolín, pero las calidades finamente molidas de carbonato cálcico han adquirido particular importancia, y las cantidades usadas son ahora comparables a las de caolín.

La función del ligante o adhesivo es unir las partículas de pigmento entre sí y fijar el estuco al papel base. Su proporción en peso en el color de estucado es de un 5 - 20% basado en el pigmento. Cabe distinguir ligantes a base de materias primas naturales solubles en agua y ligantes sintéticos no solubles en agua. Los ligantes naturales más extensamente aplicados son el almidón y sus derivados y éteres de celulosa como la carboximetilcelulosa (CMC), que es razonablemente biodegradable. Sin embargo, el uso de ligantes naturales es limitado. Como ligantes sintéticos se utilizan dispersiones en polímeros de ligantes de estucado no solubles en agua, como látex de estireno-butadieno, poliacrilatos y acetato de polivinilo, y con una aceptación limitada, el alcohol polivinílico (PVA). Las dispersiones de estireno-butadieno son las más extensamente usadas en todo el mundo. Las dispersiones en polímeros usadas como ligantes sintéticos pueden contener compuestos volátiles orgánicos como monómeros residuales en niveles bastante altos (<1%), dependiendo los niveles típicos del monómero y los procesos usados. Hay también disponibles productos destilados que contienen muy bajos niveles de COVs.

Además, en las formulaciones se utiliza una variedad de agentes auxiliares: en las formulaciones se utilizan agentes dispersantes para estabilizar químicamente la mezcla hacia nueva aglomeración de los pigmentos, agentes de resistencia en húmedo (endurecedores), productos para el control de viscosidad y retención de agua, inhibidores de espuma y antiespumantes, blanqueantes ópticos, matizantes, lubricantes para mejorar el calandrado del papel y biocidas. Los papeles especiales estucados podrían implicar el uso de solventes, que en parte son emitidos a la atmósfera como compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los agentes de lubricación incluyen estearato amónico y cálcico, ceras y jabones.

Puede concluirse que las salsas de estucado pueden ser sistemas de múltiples componentes bastante complicados. Hay gran número de composiciones distintas.

Emisiones y efectos: las salsas de estucado son casi todas a base de agua. No obstante, donde todavía se aplican estucos a base de disolventes orgánicos, deben ser sustituidos por estucos a base de agua. Si se encuentra que el flujo de masas contiene cantidades significativas de COVs, las emisiones deberían ser recogidas de los varios puntos por un sistema de extracción, seguido por incineración o combustión en la caldera de la planta de energía.

Durante la operación normal no hay descargas de salsa de estucado. Las pérdidas por vertidos, arrastres y reprocesado de rotos estucados deberían controlarse. Algunos ligantes tienen un efecto

negativo sobre la planta de tratamiento externo de efluentes y por lo tanto deben tomarse medidas apropiadas para solucionarlo (ver 6.3.3 y 6.3.6). El efecto más inmediato de una mayor descarga de salsa de estucado es un cambio de color del agua del medio receptor.

Blanqueantes ópticos o Agentes de blanqueo fluorescentes (ayudas de producto)

Función: los blanqueantes ópticos se agregan para realzar el aspecto blanco del papel, convirtiendo la energía UV en una luz fluorescente azul.

Sustancias químicas: son normalmente derivados del ácido 4,4'-diaminoestilbeno-2,2'-sulfónico, y se utilizan en muchos papeles blancos. Los blanqueantes ópticos se añaden a la composición en la parte húmeda, en la prensa de encolado o de film, o como el componente de la salsa de estucado.

Emisiones potenciales, efectos ambientales y posibilidades de controlar las emisiones: normalmente, el uso es de 5-10 kg/ADt, y la retención mala, con un 50 - 90%. No son biodegradables, pero se adsorben parcialmente en el lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales. Lo que se emita a los cuerpos acuáticos fotodegradará parcialmente (sólo transformación de la estructura química). Los blanqueantes ópticos son débil o moderadamente tóxicos para los peces [J. Pöyry, 1994b]. Deberían utilizarse con la máxima restricción y aplicarse en la prensa de encolado a ser posible. En la producción de papel y cartón para envases alimentarios, debe tenerse especial atención en el uso de blanqueantes ópticos. Los blanqueantes ópticos pueden contener hasta un 30% de urea como agente estabilizante. Si no se tiene en cuenta, esto puede provocar una sobredosis de nitrógeno en la planta de tratamiento biológico.

Colorantes (ayudas de producto)

Función: los colorantes se agregan para dar un cierto color o tinte al papel.

Sustancias químicas: los tintes se agregan principalmente a la composición en la parte húmeda, aunque también en la prensa de encolado. Para la coloración de papel se utilizan casi exclusivamente colorantes orgánicos. Cabe distinguir colorantes y pigmentos básicos, ácidos y directos. Los colorantes usados son principalmente versiones solubles en agua de colorantes de azo, estilbeno, di y tri fenilmetano, xanteno, acridina, quinolina, azolideno, oxazolidina, tiazolidina, antraquinona, índigo y ftalocianina. Además, todos los colorantes contienen uno o varios aditivos (sustancias químicas inorgánicas y orgánicas). Hay poco empleo de colorantes reactivos. Los pigmentos sólidos (por ejemplo óxidos de hierro, negro carbón) se utilizan para una alta solidez del color. Dado que no forman uniones con las fibras, hay altas pérdidas al agua, debiendo ser eliminados por sedimentación, floculación o precipitación química. Típicamente, el uso de colorantes está entre 0,1 kg/ADt para tintes, hasta 100 kg/ADt para tonos muy oscuros.

Emisiones potenciales, efectos sobre el medio ambiente y posibilidades de controlar las emisiones: la retención varía entre 70-98 %. Debido a la alta afinidad con la fibra de los colorantes básicos y directos y el empleo adicional de agentes de fijación para colorantes directos, el agua de proceso debería estar libre de colorantes si se dosifican con cuidado. Sin embargo, para algunas aplicaciones, pueden producirse emisiones significativas. No es posible dar un resumen completo de los riesgos de los efectos ambientales de los colorantes debido al gran número de sustancias diferentes, y debido al hecho de que de estos efectos se conocen de forma incompleta. Sin embargo, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Se sabe que muchos colorantes son tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos.
- Generalmente, los colorantes son muy poco biodegradables en condiciones aerobias.
- Algunos colorantes incorporan iones metálicos.

Cuando los colorantes se aplican junto con el estuco, el lavado a contracorriente del filtro de estucado, así como los desagües del agua de duchas y de lavado de la zona de estucado deben recogerse por separado y aplicarse tecnología de membranas para recuperar la salsa de estucado. El permeado también debe reciclarse.

Cuando existan problemas de toxicidad del efluente final a pesar de pasos citados, es decir, el efluente no sea inocuo, pueden adoptarse las siguientes medidas adicionales:

- Si los colorantes (y/o estucos) han sido aplicados en el cabezal estucador (es decir, no en la pasta), la concentración de estos materiales en las roturas será alta. Deberá considerarse la necesidad de lavar los rotos reprocesados, antes de su devolución a la preparación de pasta, y tratar separadamente el agua de lavado concentrada.
- Tratamiento terciario en el tratamiento externo de aguas residuales.

Los colorantes que no puedan ser blanqueados para su reprocesado, tanto en forma de rotos como de papel residual, deben evitarse a ser posible, para minimizar la producción de residuos.

Las formulaciones de los colorantes incorporan una amplia gama de aditivos colorantes. La mayoría son biodegradables o inorgánicos y pueden aumentar la DQO. El fabricante debe obtener la información para confirmar que es así para las formulaciones empleadas. A menudo se emplean agentes de fijación de color para apoyar la fijación de los colorantes directos en las fibras.

Ayudas de retención (ayudas de proceso)

Función: las ayudas de retención funcionan mediante un mecanismo coagulación / floculación para aumentar la retención partículas sólidas (fibra, fragmentos de fibra, finos y cargas, más sustancias químicas adsorbidas) en la tela. Las ayudas de retención reducen la pérdida de materias primas e incrementan la producción.

Sustancias químicas: las más comúnmente usadas son polímeros sintéticos como poliacrilamidas modificadas (PAM), aplicadas a unos 0,1-0,5 kg de ingrediente activo por ADt, y polímeros catiónicos como polietileniminas (PEI) (1-2 kg/ADt). También se utilizan sustancias químicas inorgánicas como sulfato de aluminio (alumbre), aluminato sódico, policloruro de aluminio. Sin embargo, tienen la desventaja de aumentar el contenido de sales en el agua blanca.

Emisiones potenciales y efectos medioambientales: la retención total de las ayudas de retención en sí mismas es alta (97-99%), y la emisión después del tratamiento se supone que es baja. Normalmente, las ayudas de retención son tóxicas para los organismos acuáticos debido a su cationicidad (se fijan a las branquias de los peces) y no son fácilmente biodegradables. La toxicidad se reducirá notablemente cuando haya carbono orgánico presente, como por ejemplo la biomasa en la planta de tratamiento de aguas residuales. Las PEI tienen una biodegradabilidad moderada. Aunque el monómero de PEI libre es tóxico, se biodegrada en gran parte o se fija a la biomasa en la planta de tratamiento de efluentes. La poliacrilamida no es biodegradable. El monómero de acrilamida libre tiene una toxicidad moderada para peces, pero es biodegradable.

Dado que las rutas principales para cualquier componente de la pasta son salir con el producto o pasar eventualmente a la planta de tratamiento de efluentes, el grado de retención de los materiales en el producto de papel es importante. La mejor retención alcanzable varía según el tipo de producto, pero el fabricante debería ser capaz de demostrar que utiliza el sistema de retención apropiado para su aplicación particular.

Antiespumantes (ayudas de proceso)

Función: los antiespumantes se utilizan en la parte húmeda de la máquina de papel y en la preparación de la salsa de estucado para prevenir la formación de espuma y destruir la espuma formada. El aire causa problemas en la formación inicial de la hoja de papel, y puede producir espuma en la máquina, que solía tratarse por medios químicos. Los antiespumantes se utilizan en el circuito principal y en plantas de tratamiento de aguas residuales aireadas.

Sustancias químicas: las sustancias usadas son compuestos orgánicos con propiedades tensioactivas. Se utilizan productos de aceites minerales y vegetales, ácidos grasos y derivados, ésteres del ácido fosfórico, alcoholes altos y aceites de silicona.

Emisiones potenciales, efectos ambientales y posibilidades de controlar las emisiones: la mayor parte de los antiespumantes agregados a la parte húmeda se descarga probablemente con el efluente. Los antiespumantes usados en la preparación del estucado se añaden principalmente al papel, o se evaporan en parte en la sequería.

Según el tipo de sustancias químicas usadas, la biodegradabilidad de los antiespumantes es variable. Los productos de aceites minerales tienen una biodegradabilidad baja y se descargan a los cuerpos de agua. Sólo deben usarse productos totalmente biodegradables con productos conocidos y seguros de biodegradación. Emitidos a las aguas, los antiespumantes tienen una toxicidad generalmente baja para peces. Sin embargo, algunas sustancias químicas son lipofílicas y tienen tendencia a bioacumularse. Los vertidos pueden suprimir la formación de burbujas y el mecanismo de aireación en las plantas de tratamiento aerobio de efluentes. Esto debería evitarse mediante un sistema de gestión adecuadamente diseñado.

Agentes dispersantes y surfactantes (ayudas de proceso)

Función: los tensioactivos, también denominados surfactantes, tienen principalmente la función de reducción de la tensión superficial. Los tensioactivos se componen de una parte hidrófila y otra hidrófoba (lipofílica). Las funciones de proceso del uso de tensioactivos en fábricas de papel son principalmente las siguientes:

- Limpieza de fieltros, telas y partes de la máquina, de forma continua durante la producción.
- Limpieza de los sistemas de circuitos de agua, discontinuamente durante paradas de producción.
- Dispersión de las partículas de tinta en el destintado de fibras recuperadas.
- Dispersión de resinas, limo (aglomeraciones de bacterias) y otros depósitos.

Sustancias químicas: los tensioactivos y agentes dispersantes forman un grupo muy grande de sustancias químicas, y se han utilizado un gran número de variaciones distintas. El grupo de tensioactivos se compone de los tipos aniónicos, catiónicos y no iónicos, en referencia al carácter químico de la parte hidrófila de la molécula. Como compuestos aniónicos para el grupo hidrófilo pueden usarse, por ejemplo, sulfonato, sulfato o carboxilato, como grupos no iónicos por ejemplo polioxietileno, sacarosa o péptidos, y como grupos catiónicos, por ejemplo, amonio cuaternario. También pueden usarse compuestos de ácidos grasos, jabones ácidos o alcoholes, así como hidrocarburos parafínicos y olefínicos, alquilbencenos (por ejemplo nonilfenol, nonilfenol etoxilato y alquilfenol etoxilato), grupos naftalénicos y óxido de propileno polimerizado. Los nonilfenoles se sospecha que son disruptores endocrinos. Por lo tanto, el empleo de etoxilatos de nonilfenol (también como emulgentes en aditivos) debería evitarse.

Emisiones potenciales, efectos ambientales y posibilidades de controlar las emisiones: aplicado alrededor de 0,5 kg/ADt (de ingrediente activo), todos los surfactantes son potencialmente dañinos ya que atacan las estructuras celulares, y la mayoría se descargan al tratamiento de efluentes, donde su biodegradabilidad varía. Por lo tanto, debería tenerse cuidado en su selección. Hay disponibles tensioactivos biodegradables.

Los fabricantes deben demostrar que usan sólo aquéllos con muy alta biodegradabilidad y con productos de biodegradación conocidos. Los nonilfenol etoxilatos, que pueden descomponerse en nonilfenol, deberían evitarse. El nonilfenol es un compuesto bioacumulativo y tóxico con baja biodegradabilidad. Hay también cierta evidencia de que algunos productos de degradación del alquilfenol etoxilato muestran actividad estrogénica.¹ PARCOM ha recomendado (Recomendación PARCOM 92/8) retirar progresivamente los agentes de limpieza industriales que contienen nonilfenol etoxilatos.

¹ Renner, R., European bans on surfactant trigger transatlantic debate, Env. Sci. Technol. 31 (7), 1997, p. 316-320.

Biocidas para el agua entrante (ayudas de proceso)

Función: según la fuente de agua, puede requerirse tratamiento del agua entrante. Dado que a menudo se utiliza agua superficial como agua de proceso y de refrigeración, los microorganismos serán introducidos en el sistema. Estos microorganismos pueden colonizar rápidamente las superficies de las tuberías y sistemas de agua de refrigeración. Para el control de la contaminación biológica hay disponibles distintas opciones, muchas de ellas a base de biocidas.

Sustancias químicas: el cloro y el hipoclorito sódico son usados extensamente, así como compuestos de bromo como el ácido hipobromoso.

Emisiones y efectos: el uso de cloro líquido implica el riesgo de una emisión peligrosa. Todos estos causarán la producción de una amplia gama de compuestos orgánicos halogenados potencialmente dañinos. Evidentemente, cuantos más compuestos orgánicos haya en el agua entrante, mayor será la generación de estos compuestos. Por lo tanto, no debería aplicarse cloro. Sin embargo, en algunos casos donde el agua superficial se utiliza como agua de proceso, podría ser necesario aplicar sustancias como hipoclorito sódico. Si los compuestos orgánicos son abundantes, puede considerarse el empleo de dióxido de cloro, ya que se formarán menos compuestos orgánicos halogenados. El ozono es otra opción, aunque no tiene acción biocida residual y hay que controlar el riesgo de exposición debido a la liberación de ozono gas en áreas cerradas. El agua de entrada puede ser pretratada (por ejemplo mediante sedimentación, precipitación, filtración). De este modo puede reducirse la cantidad de biocida requerido para un tratamiento satisfactorio.

Los biocidas pueden tener importantes efectos negativos sobre la planta de tratamiento de aguas residuales y el medio ambiente. Por lo tanto, los fabricantes deben minimizar el uso de biocidas manteniendo al mismo tiempo una acción biocida eficaz.

Biocidas (fungicidas) para los circuitos de aguas de proceso (ayudas de proceso)

Función: el lodo se compone de materia biológica y depósitos químicos relacionados, sedimentados en todas partes del sistema. Representa un problema serio para la buena gestión de la fábrica de papel. Produce manchas y agujeros, haciendo que el papel producido sea más susceptible a roturas con la pérdida relevante de producción. El fenómeno se controla generalmente mediante la dosificación de biocidas (fungicidas) que desactivan las bacterias, juntos con agentes dispersantes. Muchas fábricas, aunque no todas, lavan también rutinariamente el sistema.

Sustancias químicas: como componentes activos se utilizan gran número de distintos compuestos orgánicos, como compuestos sulfo-orgánicos, bromo-orgánicos y organonitrogenados, como por ejemplo ditiocarbamatos, isotiazolinones, bromohidroxiacetofenona y muchos otros. La formulación de los biocidas también puede incluir dispersantes, surfactantes y disolventes.

Emisiones y efectos: aplicados típicamente a 30 mg/l en el circuito de agua, la mayoría serán emitidos al entorno acuático y son intrínsecamente potencialmente nocivos, al igual que sus productos de degradación. Los productos que deberían usarse preferentemente deben ser seleccionados sobre la base de minimización del riesgo ambiental, mediante la comprensión de los productos usados con respeto a su degradación, bioacumulación y desactivación. Además deberían conocerse los productos de degradación. El rendimiento óptimo de un biocida depende además de su vida media y es un compromiso entre el tiempo de degradación, el punto de aplicación y la cantidad de sustancia química que debe agregarse. El objetivo es usar el mínimo de biocida para evitar problemas entre paradas de limpieza, en lugar de intentar mantener un circuito "estéril". La evaluación debería mostrar que se han tenido en cuenta estos factores, y los relativos a otras sustancias de la formulación. La evaluación del fabricante debe tener en cuenta los biocidas persistentes, que también pueden acabar en el lodo.

La limpieza discontinua de una máquina en una parada implica la recirculación de una concentración más alta que lo normal de biocidas y limpiadores de sistema, por lo general a temperaturas elevadas, alrededor del sistema de agua. El fabricante debe mostrar cómo se gestiona esta corriente concentrada para evitar sobrecargas y las consiguientes perturbaciones en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Debido de algunos efectos adversos en su manipulación o por motivos ambientales, se han propuesto otros enfoques como alternativas adecuadas para el tratamiento antilimo, como enzimas, oxidantes (por ejemplo peróxido), dispersantes e inhibidores de biopelícula (como por ejemplo ligno-sulfonatos). Una estrategia posible para reducir el consumo de biocidas es eliminar el limo que se forma con combinaciones de dispersantes y biocidas. Según el equipo instalado, la configuración del proceso, y las exigencias del producto, puede conseguirse una reducción considerable del uso de biocidas. Asimismo, el punto de dosificación de los biocidas puede tener un gran impacto sobre la cantidad necesaria de biocidas. En algunos casos, las fábricas de papel consiguen una producción con ausencia total de biocidas.

ANEXO II LEGISLACION Y ACUERDOS NACIONALES E INTERNACIONALES EXISTENTES

Límites de Emisiones Nacionales para la producción de pasta y papel en la Unión Europea

Los límites medioambientales o sistemas de guía para la industria de la pasta y el papel varían considerablemente entre los países europeos, a pesar de los esfuerzos por crear un sistema más uniforme.

Algunos países europeos (ej: AT, DE, ES, FR, IT, PT) tienen un sistema de permisos donde la legislación o las autoridades nacionales han fijado límites (mínimos) generales que representan los límites que deben cumplirse en todo momento. Estos valores son las emisiones máximas aceptadas. Las autoridades que conceden los permisos pueden fijar límites más estrictos basados en las condiciones ambientales (normalmente se requiere una Evaluación de Impacto Medioambiental para las instalaciones grandes). Para cada permiso se realiza un ajuste por las autoridades que conceden el permiso, basadas en las condiciones ambientales locales y las características técnicas de la instalación. En otros países (ej: FI, NL, NO, SE, UK), los límites se basan en medidas técnica y económicamente factibles y se determinan caso por caso, considerando las condiciones ambientales. No obstante, los países nórdicos también han publicado documentos de guía y otros medios para dirigir las decisiones de los permisos individuales (ej: recomendaciones del Grupo de Trabajo Nórdico sobre la industria de la pasta y el papel, valores de referencia nacionales para los parámetros de control claves).

Los permisos tienen normalmente valores límite para emisiones, así como requisitos para medidas técnicas (tanto para procesos internos como externos). En algunos países, los límites de permiso incluyen cargas máximas al medio ambiente (kg/d). Las emisiones pueden regularse mediante límites de concentración (mg/l o mg/m³), carga específica (kg/t), y carga al medio ambiente (kg/h, kg/d). Generalmente, hay que controlar las emisiones para cumplir el límite de emisión y no exceder las normas de calidad ambiental.

La mayoría de los países tienen sistemas de permiso separados para las emisiones a la atmósfera, las descargas de aguas residuales y los residuos sólidos, pero especialmente después de la adopción de la Directiva Europea sobre IPPC, se pretende un enfoque más integrado.

Es importante observar que en los países europeos las consecuencias y las obligaciones son diferentes cuando no se cumplen los valores límites. La interpretación de los límites puede variar, por ejemplo con respecto a qué tipo de exceso de los límites constituye un incumplimiento claro que requiere acción (por ejemplo si un valor límite del permiso se excede por un período de 2 horas, un día, diez días, 30 días, un año). Hay una diferencia entre valores límite que no deben excederse en todo momento y límites de guía, que pueden excederse temporalmente y para los que sólo un exceso continuo puede dar lugar a sanciones. En algunos países, sólo los valores límites que no deben excederse en todo momento se consideran para posibles excesos, y cualquier exceso, aunque sólo ocurra ocasionalmente, es perseguido por la ley. Por lo tanto, es de la importancia crucial tener en cuenta el marco y el contexto legal de los valores límite de los permisos, si están basados en valores diarios máximos o en medias mensuales (o anuales) máximas, y si se prevén o no sanciones en caso de incumplimiento.

Algunos países (AT, DE, FR) han publicado a nivel nacional / federal reglamentos sobre emisiones para diversos tipos de fábricas de pasta (ej: pasta kraft, pasta al sulfito, etc.) y papel (ej: papel sin pasta mecánica y sin estucar, papel con pasta mecánica, papel a base principalmente de fibras recicladas, etc.). Estos reglamentos consideran las diversas materias primas, procesos y productos finales. Otros países (ej: ES, IT, PT) han fijado valores límite generales (límites de la concentración) para fábricas de papel - independientemente de la contaminación específica generada. En Italia, los valores límite se fijan para la industria en su totalidad, sin centrarse en cada sector industrial.

Como ejemplo para este campo complejo, en la Tabla II.1 a Tabla II.3 se ofrece un resumen de los límites de vertido de las emisiones al agua para algunas calidades de pasta y papel en países seleccionados. Las tablas se basan en los requisitos legales y no consideran cuestiones de puesta en práctica. Las tablas contienen solamente valores para los países sobre los que había datos disponibles o se facilitaron. Los límites aplicables a la pasta kraft blanqueada se muestran en la Tabla II.1, los límites para pasta al sulfito blanqueada en la Tabla II.2, y los límites para distintos tipos de fábricas de papel en la Tabla II.3.

País	DQO	DBO ₅	SST	AOX	Comentarios
Austria	existente: 30 kg/t nuevo/modificado: 20 kg/t	existente: 3 kg/t nuevo/modif.: 2 kg/t	exist.: 5 kg/t nuevo: 2,5 kg/t	exist.: 0,5 kg/t nuevo: 0,25 kg/t	valor monitorizado diario ("4 de 5")
Francia ¹⁾	exist.: 65 (32.5) kg/t nuevo/modif.: 50 (25)kg/t	exist.: 3,98 (2,6) kg/t nuevo: 3 (2) kg/t	exist.: 6,5 kg/t nuevo: 5 kg/t	1 kg/t (media anual)	valor límite mensual = 1/2 máximo diario
Alemania ²⁾	exist.: 40 kg/t nuevo /modif.: 25 kg/t	exist.: 35 mg/l nuevo/modif.: 30 mg/l	sin valores (parte de DQO)	exist.: 0,35 kg/t nuevo: 0,25 kg/t	valor monitorizado diario ("4 de 5")
Irlanda ³⁾	Sin límite	90% eliminación o 50 mg/l	Sin límite	0,1 mg/l	muestra compuesta 24-h
Italia ⁴⁾	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No hay requisitos	media 3-h
Holanda ⁵⁾	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Reino Unido ⁶⁾	No se han propuesto niveles de guía alcanzables	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1.5 kg/t	media mensual
Notas: 1) El primer valor hace siempre referencia a pasta de madera de coníferas (fibra larga) blanqueada . Los valores entre paréntesis hacen referencia a pasta de madera de frondosas (fibra corta) blanqueada. 2) Límites en discusión, en estado de borrador. No se hace distinción entre pasta kraft y al sulfito. 3) Los límites se establecen en la guía irlandesa BATNEC para fabricación de pasta y papel. 4) Para los principales contaminantes, la legislación italiana establece valores de límites de emisiones al agua basados en parámetros de concentración, sin distinción del sector industrial afectado. Los valores que se muestran en la tabla hacen referencia a descargas a las aguas superficiales. Las descargas al alcantarillado público deben cumplir otros valores. 5) En Holanda no se produce pasta kraft blanqueada. 6) Emisiones alcanzables – procesos nuevos. Normalmente no se consideran como aplicables a fábricas existentes, sino que deben considerarse para fijar límites apropiados. No son límites de emisiones obligatorios. No se hace distinción entre los distintos métodos de fabricación de pasta química.					

Tabla II.1: Límites nacionales actuales de vertidos para producción de pasta kraft blanqueada. Para países que no aplican requisitos mínimos nacionales (ej: BE, DK, FI, NL, SE) no se presentan valores límite obligatorios. Los requisitos de permisos en esos países se fijan caso por caso y son específicos de cada lugar. Para los países que no tienen requisitos generalmente obligatorios y que no obstante no se presentan en la tabla, no se facilitó información.

País	DQO	DBO ₅	SST	AOX	Comentarios
Austria	existente: 40 kg/t magnetite: 50 kg/t nuevo/modif.: 25 kg/t magnetite: 30 kg/t	existente: 3 kg/t nuevo/modif.: 2 kg/t	existente: 5 kg/t nuevo: 2,5 kg/t	existente: 0,2 kg/t nuevo: 0,1 kg/t	valor monitorizado diario ("4 de 5")
Francia ¹⁾	existente: 45,5 kg/t nuevo/modif.: 35 kg/t	existente: 6,5 kg/t nuevo: 5 kg/t	exist.: 6,5 kg/t nuevo: 5 kg/t	1 kg/t (media anual)	valor límite mensual = 1/2 máximo diario
Alemania ²⁾	exist.: 40 kg/t nuevo/modif.: 25 kg/t	exist.: 35 mg/l nuevo/mod.: 30 mg/l	no hay valores (parte de DQO)	existente: 0 kg/t	valor monitorizado diario ("4 de 5")
Irlanda ³⁾	No hay límite	90% eliminación o 50 mg/l	No hay límite	0,1 mg/l	muestra compuesta 24-h
Italia ⁴⁾	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No hay requisitos	media 3-h
Holanda ⁵⁾	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Reino Unido ⁶⁾	No se han propuesto niveles de guía alcanzables	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1,5 kg/t	media mensual

Notas:

- 1) El primer valor hace siempre referencia a pasta de madera de conífera (fibra larga) blanqueada. Los valores entre paréntesis hacen referencia a pasta de madera de frondosas (fibra corta) blanqueada.
- 2) Límites en discusión, en estado de borrador. No se hace distinción entre pasta kraft y al sulfito.
- 3) Los límites se establecen en la guía irlandesa BATNEC para fabricación de pasta y papel.
- 4) Para los principales contaminantes, la legislación italiana establece valores de límites de emisiones al agua basados en parámetros de concentración, sin distinción del sector industrial afectado. Los valores que se muestran en la tabla hacen referencia a descargas a las aguas superficiales. Las descargas al alcantarillado público deben cumplir otros valores.
- 5) En Holanda no se produce pasta al sulfito blanqueada.
- 6) Emisiones alcanzables – procesos nuevos. Normalmente no se consideran como aplicables a fábricas existentes, sino que deben considerarse para fijar límites apropiados. No son límites de emisiones obligatorios. No se hace distinción entre los distintos métodos de fabricación de pasta química.

Tabla II.2: Límites nacionales actuales de descargas para producción de pasta al sulfito blanqueada. Para países que no aplican requisitos mínimos nacionales (ej: BE, DK, FI, NL, SE) no se presentan valores límite obligatorios. Los requisitos de permisos en esos países se fijan caso por caso y son específicos de cada lugar. Para los países que no tienen requisitos generalmente obligatorios y que no obstante no se presentan en la tabla, no se facilitó información.

País	DQO	DBO ₅	SST	AOX	Comentarios
Austria ¹⁾	existente: 2-5 kg/t (incl. pasta mecánica/FRC)	exist.: 20-25 mg/l	exist.: 50 mg/l	exist.: 10-30 g/t	valor monitorizado diario ("4 de 5")
Francia	exist.: 4-8 kg/t nuevo/modif.: 2,5 - 4 kg/t	exist.: 1 - 2 kg/t nuevo: 0,7 kg/t	exist.: 1,5 kg/t nuevo: 0,7 kg/t	---	valor límite mensual = 1/2 máximo diario
Alemania ¹⁾	exist.: 2-6 kg/t (incl. pasta mecánica/FRC)	exist.: 25 mg/l	no hay valores (parte de DQO)	exist.: 10-40 g/t	muestra compuesta 2-h ("4 de 5")
Irlanda ²⁾	No hay límite	90% eliminación o 50 mg/l	No hay límite	0,1 mg/l	muestra compuesta 24-h
Italia ³⁾	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No hay requisitos	media 3-h
Holanda ⁴⁾	200 mg/l	20 mg/l	30 mg/l	No hay normas de emisiones	muestra compuesta 24-h
Reino Unido ⁵⁾	No se han propuesto niveles de guía alcanzables	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1,5 kg/t	media mensual

Notas:

- 1) Papel especial con más de un cambio de tipo por jornada de trabajo, el papel finamente triturado o pergamino vegetal tienen límites más altos. Cuando se presentan rangos, dependen de la calidad de papel producida.
- 2) Los límites se establecen en la guía irlandesa BATNEC para fabricación de pasta y papel.
- 3) Para los principales contaminantes, la legislación italiana establece valores de límites de emisiones al agua basados en parámetros de concentración, sin distinción del sector industrial afectado. Los valores que se muestran en la tabla hacen referencia a descargas a las aguas superficiales. Las descargas al alcantarillado público deben cumplir otros valores.
- 4) En Holanda, los requisitos de permisos son específicos del lugar. Por lo tanto, se dan normas de emisiones típicas para fábricas con planta de tratamiento biológico in situ. Los datos que se muestran en la tabla hacen referencia a los valores medios de la media continua de 10 muestras. Los valores máximos típicos después del tratamiento biológico son: 300 mg/l DQO; 30 mg/l DBO; 60 mg/l SST.
- 5) Emisiones alcanzables – procesos nuevos. Normalmente no se consideran como aplicables a fábricas existentes, sino que deben considerarse para fijar límites apropiados. No son límites de emisiones obligatorios. No se hace distinción entre los distintos tipos de fibras o calidades de papel que se fabrican en una fábrica de papel.

Tabla II.3: Límites nacionales actuales de descargas para la producción de papel. Para países que no aplican requisitos mínimos nacionales (ej: BE, DK, FI, NL, SE) no se presentan valores límite obligatorios. Los requisitos de permisos en esos países se fijan caso por caso y son específicos de cada lugar. Para los países que no tienen requisitos generalmente obligatorios y que no obstante no se presentan en la tabla, no se facilitó información.

Al comparar los valores límite, hay que destacar que el tiempo de promedio para los límites podría ser diferente de un país al otro, ej: medias diarias, mensuales, anuales, como lo son hasta cierto punto los métodos de análisis y las condiciones. Los criterios de cumplimiento también podrían variar. Algunos países han fijado valores límite distintos para fábricas nuevas y existentes (ej: AT, FR, DE). En casos específicos, pueden aplicarse límites más rigurosos según las decisiones de la autoridad que concede el permiso, y si se requiere para cumplir estándares de calidad de agua.

Para más información sobre valores límite a otros medios (ej: atmósfera, residuos) y sobre los aspectos ambientales regulados en la industria de la pasta y el papel en países europeos, se remite a un estudio completo de la OCDE publicado a finales de 1999.² Este estudio está basado en una serie de Perfiles de País, que describen los procedimientos de permisos de diez países individuales. Los países examinados son Austria, Bélgica (Valonia), Canadá, Finlandia, Alemania, Nueva Zelanda, Noruega, Suecia, Suiza, y Estados Unidos. El informe definitivo proporciona un análisis de los permisos medioambientales de fábricas de pasta química blanqueada y papel en los diez países estudiados. El informe describe la responsabilidad reguladora y los procedimientos aplicados en la concesión de permisos; el empleo de normas sobre emisiones y valores límite; la consideración dada a la mejor tecnología disponible (MTD) y objetivos de calidad ambiental (ECAs) al fijar las condiciones de permiso; la respuesta tecnológica de las fábricas a las condiciones del permiso; y las opiniones de las fábricas sobre el proceso de permiso aplicado en su país. Los lectores son referidos asimismo a otros tres volúmenes que tratan sobre "Requisitos Medioambientales para Permisos Industriales" que han sido publicados por la OCDE en 1999.³

Cooperación Internacional para la Protección del Medio Ambiente Marino. PARCOM (Mar del Norte y el Atlántico Nordeste)

La Comisión de PARIS (PARCOM) fue establecida según la Convención para la Prevención de Contaminación Marítima desde fuentes terrestres ("la Convención de París"). El 25 de marzo de 1998 entró en vigor la Convención OSPAR. Esta reemplaza tanto la Convención de Oslo como la Convención de París. Sin embargo, las Decisiones, Recomendaciones y todos los otros acuerdos adoptados conforme a dichas Convenciones seguirán siendo aplicables, inalterados en su naturaleza legal, a menos que sean rescindidos por nuevas medidas adoptadas conforme a la Convención OSPAR. Por consiguiente, las Decisiones y Recomendaciones PARCOM para la Industria Papelera mencionadas más adelante están todavía vigentes según la nueva Convención.

La Convención para la protección del medio ambiente marino del Atlántico Nordeste ("Convención OSPAR") ha sido firmada y ratificada por todas las Partes Contratantes de las Convenciones de Oslo o París (Bélgica, Dinamarca, la Comisión de las Comunidades Europeas, Finlandia, Francia, Alemania, Islandia, Irlanda, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte), así como por Luxemburgo y Suiza.

Según la Convención OSPAR, las Partes Contratantes "realizarán todos los pasos posibles para prevenir y eliminar la contaminación", incluyendo "las medidas necesarias para proteger el área marítima contra los efectos adversos de la actividad humana". Con este fin, las Partes adoptan programas y medidas y armonizan sus políticas y estrategias. La Comisión OSPAR ha adoptado una serie de decisiones y recomendaciones. Una decisión OSPAR es vinculante, transcurrido un período de 200 días desde su adopción, para las partes que la hayan votado. Las recomendaciones OSPAR no tienen carácter obligatorio. Hasta ahora, el programa de trabajo se

² OECD. Environment Directorate, Environmental Requirements for Industrial Permitting, Case Study on the Use of Best Available Technology (BAT) and Environmental Quality Objectives (EQOs) in the Environmental Permitting of Bleached Chemical Pulp and Paper Mills, Paris, France.

³ OECD. 1999. Environmental Requirements for Industrial Permitting: Vol.1 - Approaches and Instruments; Vol.2 - OECD Workshop on the Use of Best Available Technologies and Environmental Quality Objectives, Paris, 9-11 May 1996, Vol.3 - Regulatory Approaches in OECD Countries, ISBN 92-64-16193-7, ver también www.oecd.org.

ha centrado en el desarrollo de recomendaciones y decisiones para definir mejor el concepto de MTD para sectores específicos.

Se han tomado las siguientes Decisiones PARCOM con respecto a la industria de la pasta y el papel:

- Decisión PARCOM 96/2 sobre la Eliminación de los Procesos que utilizan Cloro Molecular (Cl_2) en el blanqueo de Pasta Kraft y al Sulfito, adoptada en junio de 1996.
- Decisión PARCOM 95/2 sobre Valores Límite de Descargas y Emisiones para la Industria Integrada y No Integrada de Pasta de Papel al Sulfito, adoptada en junio de 1995.
- Decisión PARCOM 95/3 sobre Valores Límite de Descargas y Emisiones para la Industria Integrada y No Integrada de Pasta Kraft, adoptada en junio de 1995.

Se han tomado las siguientes Recomendaciones PARCOM con respecto a la industria de la pasta y el papel:

- Recomendación PARCOM 94/2 sobre Mejores Técnicas Disponibles y Mejores Prácticas Medioambientales para la Industria Integrada y No Integrada de Pasta de Papel al Sulfito, adoptada en junio de 1994.
- Recomendación PARCOM 94/3 sobre Mejores Técnicas Disponibles y Mejores Prácticas Ambientales para la Industria Integrada y No Integrada de Pasta Kraft, adoptada en junio de 1994.

Una descripción de MTDs y MPAs con información adicional de fondo para la industria de la pasta al sulfito y pasta kraft puede encontrarse en la Serie OSPAR 1994, Sectores Industriales: Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y Mejores Prácticas Ambientales (MPA). Los informes de progreso en la puesta en práctica se publican regularmente.

No hay ningunas recomendaciones PARCOM o decisiones sobre MTDs para fábricas de papel, sino sólo para fábricas de pasta química. Las decisiones, recomendaciones e información adicional están disponibles en Internet en: www.ospar.org.

HELCOM (Mar Báltico)

La primera Convención sobre la Protección del Medio Ambiente Marino en la Zona del Mar Báltico fue firmada en 1974 por los estados costeros de Mar Báltico en aquel tiempo. En 1992, una nueva Convención fue firmada por todos los países que lindan con el Mar Báltico y por la Comunidad Económica Europea. El ente gubernativo de la Convención es la Comisión de Helsinki - Comisión de Protección del Medio Ambiente Marino del Báltico -, también conocida como HELCOM. Las actuales partes contratantes de HELCOM son Dinamarca, Estonia, la Comunidad Europea, Finlandia, Alemania, Letonia, Lituania, Polonia, Rusia y Suecia. La Convención de Helsinki de 1974, publicada para proteger el medio ambiente marino del Mar Báltico, era el primer acuerdo internacional para cubrir todas las fuentes de contaminación que alcanzan la Zona de la Convención, tanto desde la tierra como desde barcos, así como a través de la atmósfera.

Para lograr su objetivo, la Convención reclama acciones para contener las diversas fuentes de contaminación del Mar Báltico. La Convención de Helsinki contiene disposiciones que definen las Mejores Técnicas Disponibles, que son muy similares a las de la Convención OSPAR. Las decisiones tomadas por la Comisión de Helsinki – que se adoptan unánimemente – se consideran como recomendaciones a los gobiernos afectados. Tienen un importante peso moral y político.

La Comisión de Helsinki ha enviado una serie de recomendaciones relativas a las emisiones de la industria de la pasta y el papel:

- Recomendación HELCOM 16/4 Reducción de Emisiones a la Atmósfera de la Industria de la Pasta y el Papel, adoptada en marzo de 1995.
- Recomendación HELCOM 16/4 Reducción de Descargas de la Industria de Pasta Kraft, adoptada en marzo de 1996.
- Recomendación HELCOM 17/9 Reducción de Descargas de la Industria de Pasta al Sulfito, adoptada en marzo de 1996.
- Una Recomendación HELCOM sobre la Reducción de Descargas de la Producción de Pasta Mecánica, Pasta Termomecánica, Pasta Quimicotermodomecánica, Pasta Reciclada y Fabricación de Papel y Cartón, se encuentra en fase de borrador.

En la Tabla II.4 (para fábricas de pasta al sulfito) y la Tabla II.5 (para fábricas de pasta kraft) se indican los valores límite recomendados por las distintas decisiones y recomendaciones.

Valores límite como media anual, kg/tonelada de pasta seca (90% materia seca)				
	Fábricas existentes a 31-12-99 (OSPAR), o a 01-01-2000 (HELCOM)		Fábricas nuevas, o aumento de capacidad en más del 50% después del 31-12-1996 (OSPAR) o del 1-01-1997 (HELCOM)	
	OSPAR	HELCOM ³	OSPAR	HELCOM ³
DQO	80	70	35	35
SST	8,0	---	4,5	---
AOX	---	0,5	---	0,1
Tot-P	---	0,08	---	0,04
Tot-N	---	0,06	---	0,4
SO ₂	5,0 ¹	3,0 ²	3,0 ¹	---
NO _x	2,5 ¹	---	1,5 ¹	---

Notas:

- 1) En OSPAR, los límites atmosféricos para fábricas de pasta y papel cubren sólo SO₂ y NO_x de calderas auxiliares, pero excluyen emisiones de calderas auxiliares.
- 2) El valor límite recomendado originalmente es de 1,5 kg S/Adt; ha sido convertido a kg SO₂/Adt para hacer que los valores sean más fáciles de comparar. No se recomienda valor separado para fábricas nuevas.

Tabla II.4: Valores límite de las Comisiones de París y Helsinki (medias anuales) para industrias integradas y no integradas de pasta al sulfito blanqueada y papel.

Valores límite como media anual, kg/tonelada de pasta seca al aire				
	Fábricas existentes a 31-12-99 (OSPAR), o a 01-01-2000 (HELCOM)		Fábricas nuevas, o aumento de capacidad en más del 50% después del 31-12-1996 (OSPAR) o del 1-01-1997 (HELCOM)	
	OSPAR	HELCOM ³	OSPAR	HELCOM ³
DQO	50	30	30	15
SST	8,0	---	4,0	---
AOX	---	0,4	---	0,2
Tot-P	---	0,04	---	0,02
Tot-N	---	0,4	---	0,35
SO ₂ -S	2,0 ¹	1,0 ²	1,0 ¹	---
NO _x	2,0 ¹	---	1,5 ¹	---

Notas:

- 1) En OSPAR, los límites atmosféricos de SO₂ y NO_x para fábricas de pasta kraft se aplican a la suma de las emisiones de calderas de recuperación, hornos de cal e instalaciones para la combustión separada de gases malolientes. Azufre gaseoso (S) significa compuestos sulfúricos calculados como S.
- 2) En HELCOM, las emisiones atmosféricas incluyen todas las fuentes relevantes excepto las de calderas auxiliares. No se recomienda un valor separado para fábricas nuevas.
- 3) Todos los análisis de efluentes deben hacerse en muestras sin sedimentar y sin filtrar.

Tabla II.5: Valores límite de las Comisiones de París y Helsinki (medias anuales) para industrias integradas y no integradas de pasta kraft (al sulfato) blanqueada y papel.

Estados Unidos: "Conglomerado de Normas" para la Industria de la Pasta y el Papel

En Noviembre de 1997, la EPA de EE.UU. finalizó un nuevo conjunto de directrices federales, denominadas "conglomerado de normas" (cluster rules). Las directrices son muy complicadas y contienen límites para 12 tipos distintos de fábricas, cada uno de ellos distinguido mediante cuatro niveles técnicos distintos:

- Limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes alcanzable mediante la aplicación de las Mejores Tecnologías Prácticas (MTP) de Control Disponibles Actualmente. Los valores límite deben ser cumplidos por cualquier fuente puntual existente y comprenden parámetros básicos como DBO₅, SST y pH.

- Limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes alcanzable mediante la aplicación de las Mejores Tecnologías Convencionales (MTC) de Control de Contaminantes. Pueden requerirse para contaminantes convencionales como DBO₅ y SST (si está justificado) y en la práctica son normalmente las mismas que las MTP.
- Limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes alcanzable mediante la aplicación de las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) Económicamente Alcanzables, utilizadas para el control de contaminantes tóxicos y no convencionales, como por ejemplo biocidas que contienen clorofenoles.
- Los Estándares de Nuevas Fuentes (New Source Performance Standards o NSPS) se utilizan para nuevas plantas que combinan las MTDs para contaminantes no convencionales y convencionales.

Los valores límite se dan como carga contaminante expresada como kg de contaminante por tonelada de producto, distinguiendo valores máximos para cualquier día y valores medios de los valores diarios durante 30 días consecutivos.

Para las descargas de agentes contaminantes tóxicos, como por ejemplo biocidas que contienen clorofenoles, en una planta de tratamiento de propiedad pública (PTPP) la fábrica debe alcanzar los Estándares de Pretratamiento para Fuentes Existentes (PSES) y los Estándares de Pretratamiento para Fuentes Nuevas (PSNS).

Las regulaciones se aplican a cualquier fábrica de pasta, papel o cartón que descargue agentes contaminantes de aguas de proceso a las aguas o a una planta de tratamiento de propiedad pública. La tabla II.6 presenta el esquema de subclasificación codificado. Para cada categoría de fábrica se indican las limitaciones de descargas de efluentes:

Subcategoría	Tipos de productos cubiertos en el subapartado. Dentro de cada subcategoría se dan distintos valores límite
Pasta Kraft Soluble	Pasta soluble en fábricas kraft
Pasta para papel Kraft y a la Sosa Blanqueada	Producción de pasta comercial en fábricas de pasta kraft blanqueada; producción integrada de cartulina, papel grueso y papel tisú en fábricas de pasta kraft blanqueada; producción integrada de pasta y papeles finos en fábricas de pasta kraft blanqueada y producción integrada de pasta y papel en fábricas de pasta a la sosa.
Pasta Kraft cruda	Pasta y papel en fábricas de pasta kraft, incluido linerboard (cartón compacto para cajas) o papel para bolsas y otros productos mixtos; pasta y papel que utilicen el proceso semiquímico al sulfito neutro y pasta kraft cruda (recuperación cruzada).
Pasta al Sulfito Soluble	Pasta en fábricas de pasta al sulfito soluble para las siguientes calidades: nitración, viscosa, celofán y acetato.
Pasta para papel al Sulfito (pastas a base de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ o Na ⁺ , pasta a base de NH ₄ ⁺ , pastas para calidades especiales)	Pasta y papel en fábricas de pasta para papel al sulfito en los que se usen técnicas de lavado de pasta en depósito de soplado, y pasta y papel en fábricas de pasta para papel al sulfito en los que se utilicen tambores de vacío o presurizados para lavar la pasta.
Pasta Semiquímica	Pasta y papel en fábricas semiquímicas a base de amonio o de sodio.
Pasta Mecánica	Pasta y papel en fábricas de pasta mecánica y quimicomecánica; pasta y papel en fábricas de pasta mecánica mediante la aplicación del proceso termomecánico; pasta y papel grueso, productos de pasta moldeada y papel prensa en fábricas de pasta mecánica; pasta y papel fino en fábricas de pasta mecánica.
Pasta Química sin pasta mecánica	Pasta y papel en fábricas de pastas químicas sin pasta mecánica.
Fibra Secundaria, Destintada	Pasta y papel en fábricas con destintado, incluidos papeles finos, papel tisú o papel prensa.
Fibra Secundaria, Sin Destintar	Cartulina de papel reciclado con composición de papel para ondular u otro; papel tisú de papel reciclado sin destintado en fábricas de fibra secundaria; productos moldeados de papel reciclado sin destintado; papel para la construcción y aislamientos para tejados de papel reciclado.
Papel Fino y Ligero a base de Pasta Comercial	Papeles finos en fábricas no integradas con composición de fibras de madera o de algodón; papeles ligeros en fábricas no integradas o papeles eléctricos ligeros en fábricas no integradas.
Papel Tisú, Papel de Filtro, No Tejido y Cartulina a base de Pasta Comercial	Papeles tisú en fábricas no integradas; papeles de filtro y no tejidos en fábricas no integradas; cartulina en fábricas no integradas.

Tabla II.6: Esquema de subclasificación del "Conglomerado de Normas" para la Industria de Pasta y Papel en EE.UU.

Comparando con requisitos recientes de permisos en Europa, las limitaciones para las fábricas existentes establecidas en el conglomerado de normas de EE.UU. son permisivas. Sin embargo, para animar a las fábricas individuales a alcanzar mayores reducciones, más allá de las exigencias de los reglamentos, la EPA establece un programa de incentivos voluntario. Las fábricas que se ofrecen voluntariamente para el programa estarán sujetas a reducciones más rigurosas y, a cambio, recibirán recompensas por su participación, como un tiempo de cumplimiento adicional. El denominado "Programa de Incentivos para Limitaciones Voluntarias Avanzadas según las MTDs", que debe completarse en seis (Grado I), once (Grado II) y dieciséis años (Grado III) a partir de la fecha de la publicación del conglomerado de normas, son más fácilmente comparables con los Valores de Referencia de MTDs compilados en el BREF. Para algunas subcategorías los Estándares para Nuevas Fuentes (ej: para DBO₅ y AOX) son también comparables a niveles de emisiones observados en la fábricas existentes en Europa.

Las normas e información adicional se hallan disponibles en Internet en:
www.epa.gov/ostwater/pulppaper/reg.html.

Canadá

Canadá tiene dos niveles de legislación y autoridades: el estado y las provincias. La legislación /autoridad nacional establece directrices generales, pero los límites y directrices reales pueden ser diferentes en cada provincia. La mayoría de provincias requieren que se lleve a cabo una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al construir o ampliar fábricas de pasta y papel, y esta EIA tiene influencia sobre los límites reales.

Los sistemas de límites de aguas residuales en Canadá están sobre todo basados en la carga en kg por tonelada de producción. Se aplican distintos límites para los distintos tipos de fábricas. Algunos parámetros pueden ser medidos como concentraciones. También se utilizan límites de toxicidad. Durante los últimos años, los límites canadienses para fábricas de pasta y papel han sido adaptados, por ejemplo para incluir sustancias tóxicas, como dioxinas y furanos.

El control de contaminación atmosférica en las fábricas canadienses está basado en alcanzar estándares de calidad del aire ambiente. Típicamente se aplican límites de emisión a los parámetros principales y a las principales fuentes de emisión (ej: SO₂ de caldera de recuperación).

Asia

Indonesia es uno de los países más importantes de producción de pasta y papel en Asia. Tiene un sistema de permisos medioambientales bastante desarrollado, con evaluaciones de impacto ambiental para las principales plantas industriales. Se han publicado dos conjuntos de normas nacionales sobre aguas residuales, uno para ser aplicado en el año 1995 y otro para el año 2000. Los límites son expresados como límites de concentración y como carga específica (kg/t), y también se limita el consumo del agua (m³/t). Se han establecido nuevos límites para siete tipos de fábricas de pasta y cuatro tipos de fábricas de papel.

Hay normas nacionales para emisiones atmosféricas de diversas fuentes en un molino de pasta, expresados como mg/m³. La autoridad que concede el permiso puede establecer límites más estrictos en ciertas zonas. Las fábricas de pasta y papel de nivel mundial en Indonesia tienden a seguir directrices internacionales para sus sistemas de control ambiental.

Sudamérica

Brasil es el productor más importante de pasta y papel en Sudamérica, y sirve a menudo como modelo para otros países en la región. Las autoridades brasileñas tienden a seguir las directrices de la EPA de EE.UU. al establecer límites ambientales para las fábricas.

Los límites de efluentes cubren parámetros convencionales y por lo general se expresan como cargas específicas máximas (kg/t). Los límites para fábricas modernas son relativamente estrictos.

También los límites para emisiones gaseosas son relativamente estrictos para fábricas nuevas. En los permisos suelen incluirse límites de concentración para las fuentes principales, y requisitos tecnológicos (ej: recogida de gases malolientes).

ANEXO III MONITORIZACION DE DESCARGAS Y EMISIONES EN FÁBRICAS EUROPEAS DE PASTA Y PAPEL

Para información más detallada que la presentada a continuación, se hace referencia al BREF paralelo sobre "monitorización de emisiones".

Métodos analíticos en la Unión Europea

La legislación actual en Europa requiere que las fábricas de pasta y papel monitoricen las emisiones al agua y a la atmósfera. Por lo general también se monitoriza y controla el análisis de fracciones residuales sólidas y de niveles de ruido. Las prácticas de monitorización varían entre países europeos hasta cierto punto, ya que normalmente los métodos analíticos aplicados, incluyendo el muestreo y cálculo de resultados, no están totalmente armonizados. Por consiguiente, la comparabilidad de los resultados de las mediciones no puede garantizarse. Por otra parte, en la mayoría de los países europeos hay normas nacionales disponibles para los parámetros más relevantes de las emisiones al agua y la atmósfera. Esto quiere decir que estos métodos han sido validados para el objetivo específico y se cumplen los requisitos mínimos con respecto a la exactitud, independientemente de los detalles técnicos de los procedimientos analíticos que se utilicen. No obstante, en caso de parámetros en grupo como SST, DQO, DBO, AOX, que pueden considerarse definidos operativamente por el procedimiento analítico aplicado, es evidente una fuerte necesidad de armonización a nivel europeo. Esto queda reflejado por las actividades del Comité Técnico 147 sobre Calidad del Agua de la ISO de (Organización de Estandarización Internacional) y el Comité Técnico 230 de la Organización de Estandarización Europea CEN, que ya han publicado normas apropiadas o están trabajando en ello, respectivamente. Para conseguir una visión más clara de la comparabilidad y la exactitud de los datos presentados en este documento, a continuación se da una breve descripción de los métodos empleados dentro de la Unión Europea. Sin embargo, hay que destacar que es necesario evaluar toda la cadena de metodología analítica, desde el muestreo, el análisis y la calibración a la comunicación de resultados, para conseguir una información fiable sobre las principales fuentes de errores y la comparabilidad de datos.

1. Comparación de mediciones de aguas residuales

Los parámetros típicos de monitorización de aguas residuales a analizar para fábricas de pasta y papel son los siguientes:

Caudal de aguas residuales, total sólidos en suspensión (SST), temperatura, demanda química de oxígeno (DQO_{Cr}), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5 o 7), fósforo total (P), nitrógeno total (N), pH, conductividad, halógenos orgánicos adsorbibles (AOX) y toxicidad. Otros parámetros, como TOC, clorato, EDTA/DTPA, y metales son supervisados en algunos casos. Algunas de estas mediciones se detallan a continuación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno en aguas residuales se mide como el consumo de oxígeno correspondiente durante la oxidación con dicromato (DQO_{Cr}). La DQO se determina en muestras sin sedimentar y sin filtrar. El principio de la DQO_{Cr} es agregar una cantidad conocida de dicromato a un cierto volumen de la muestra de agua y calentar la mezcla durante 2 h. Parte del dicromato reaccionará con compuestos oxidables de la muestra, y finalmente se determina el dicromato restante, por valoración (Método Estándar) o fotométricamente. El valor de DQO_{Cr} se calcula sobre la base de la cantidad de dicromato reducido, y el resultado se expresa en $mg\ O_2/l$.

Los métodos fotométricos (ej: Dr. Lange, HACH, WTW) han simplificado el análisis de DQO_{Cr} y han sido aprobados por las autoridades en la mayoría de países como una alternativa equivalente al método estándar, más complicado.

Los métodos utilizados en los países europeos parecen ser muy similares, pero se hace referencia a ellos con términos distintos (ej.: DIN 38 409-H41, BS 6068: Sección 2.34, SFS 3020, SS 02 81 42). Todos están basados en los principios descritos en la Norma ISO 6060: 1989 Calidad del Agua - Determinación de la demanda química de oxígeno. Las pequeñas diferencias entre los métodos no se espera que den diferencias significativas entre resultados analíticos. En algunos casos la DQO se analiza en muestras filtradas. Esto debe tenerse en cuenta en la evaluación de los resultados, ya que puede influir en ellos considerablemente si una cantidad considerable es retenida en el filtro.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO está relacionada con el contenido de sustancias que pueden ser oxidadas bioquímicamente. El objeto es medir el consumo de oxígeno, cuando las sustancias en la muestra son degradadas por bacterias. La DBO puede verse como la parte fácilmente degradable de la DQO. La DBO se determina en muestras sin sedimentar y sin filtrar.

La muestra de agua se diluye con agua de dilución que contiene una siembra de microorganismos aerobios. La concentración de oxígeno disuelto se determina antes y después de la incubación durante 5 días (en algunos países 7 días). La incubación se produce a temperatura controlada (20°C) en la oscuridad, y en un frasco totalmente lleno y cerrado. Generalmente, la DBO es sensible a errores (factor de dilución, tiempo de almacenaje, temperatura, etc.). El contenido de oxígeno puede medirse por valoración o por métodos electrométricos. La DBO es la reducción del contenido de oxígeno y se expresa como $mg\ O_2/l$.

Hay pequeñas diferencias entre los países europeos, aunque se utilicen distintas terminologías o referencias (DIN 38 409-H51, BS 60 68: Sección 2.14, SFS 5508, SS 02 81 43). Todos los métodos parecen estar cerca del método ISO y se basan en los principios descritos en la Norma ISO 5815: 1989 Calidad de Agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno después de 5 días, método de dilución y siembra. En la práctica hay ligeras diferencias, como por ejemplo respecto al agua de siembra o los volúmenes de los frascos de incubación. No hay ninguna sospecha razonable de que tales diferencias tengan una influencia significativa sobre los resultados analíticos.

La mayor parte de países aplican la DBO a 5 días, DBO_5 , pero los países nórdicos usan un tiempo de incubación de 7 días. Según investigaciones del Instituto de Medio Ambiente Finlandés sobre efluentes de las fábricas de pasta y papel, la DBO_7 corresponde a 1,16 veces la DBO_5 (es decir, una DBO_5 de 25 mg/l corresponde a un valor de DBO_7 de 29 mg/l).

Desde 1998 existe un método estándar europeo para la determinación de la DBO: EN 1899-1 "Método de dilución y siembra con adición de alitiourea".

Sólidos en Suspensión Totales (SST)

Los sólidos en suspensión son partículas que están suspendidas, es decir, pueden sedimentar en agua estancada. Consisten en pequeños fragmentos de fibras, cargas, finos, lodo biológico no sedimentado (aglomeración de microorganismos), y otras pequeñas partículas hasta un tamaño de 1 μm . Las más pequeñas de estas partículas sedimentan muy despacio en condiciones normales y se acercan a la categoría de partículas coloidales ($<0,4\ \mu m$).

El análisis de sólidos en suspensión se realiza filtrando un volumen conocido de agua a través de un filtro con un tamaño de poro definido aproximadamente, con aspiración al vacío, y pesando luego la materia seca retenida en el filtro. El tipo de filtro usado depende del objetivo

del análisis. Según si el objetivo es la determinación de la cantidad de fibras y partículas gruesas (EN 871, la determinación de partículas gruesas y fibra con tela metálica con un ancho de malla 60-70 μm), o la cantidad total de partículas (EN 872, sólidos en suspensión totales), se requieren filtros diferentes. La mayor parte de países usan filtros de fibra de vidrio, que aproximadamente dan el valor de SST.

Hoy en día hay un método internacional estándar para la determinación de sólidos en suspensión mediante filtración con filtros de fibra de vidrio (ISO 11923: 1997). Hay también una norma europea EN 872 sobre la determinación de sólidos en suspensión. Sin embargo, esta norma no especifica un tamaño de poro definido para los filtros de fibra de vidrio. En Alemania, por ejemplo, se utilizan filtros con un tamaño de poro de 0,3-1 μm según la norma DIN EN 872. Los filtros de fibra de vidrio tipo Whatman GF/A (1,6 μm) o GF/C (1,2 μm) son adecuados para determinar la cantidad de total de sólidos en suspensión (SST) en fábricas de pasta y papel.

Los miembros del grupo de trabajo expresaron incertidumbre acerca de si realmente hay diferencias relevantes en los análisis de sólidos en suspensión en distintos países diferentes y si las emisiones de SST en Europa son comparables. Por lo tanto, la Tabla III.1 presenta información acerca de los métodos estándar usados para los análisis de sólidos en suspensión dentro de la Unión Europea. También se incluye una especificación de los filtros [información facilitada por Miembros del grupo de trabajo].

País	Método analítico	Parámetro	Tipo de filtro	Comentarios
Alemania	DIN EN 872	Sólidos en suspensión totales	Filtro fibra vidrio (0,3-1 μm)	según EN 872
Austria	ÖNORM EN 872	Sólidos en suspensión totales	Filtro de fibra de vidrio	según EN 872
Bélgica	No se ha facilitado información			
Dinamarca	DS 207	Sólidos en suspensión totales	No se ha facilitado información	
España	NFT 90-105	Sólidos en suspensión totales	Filtro de fibra de vidrio	
Finlandia	SFS-EN 872	Sólidos en suspensión totales	Filtro de fibra de vidrio	sustituye a SFS 3037
Francia	NF T 90 105	Sólidos en suspensión totales	No se ha facilitado información	
Grecia	No se ha facilitado información			
Holanda	NEN 6484	Sólidos en suspensión totales	Filtro de 0,45 μm	
Irlanda	B7 (método interno no publicado basado en el método estándar)	Sólidos en suspensión totales	Filtro de fibra de vidrio	basado en APHA/AWWA Sección 2540 D 19ª ed.
Italia	IRSA CNR N.2 2050	Sólidos en suspensión totales	Filtro de 0,45 μm	
Noruega	NS 4733	Sólidos en suspensión totales	Filtro de fibra de vidrio GF/A	
Portugal	No se ha facilitado información			
Reino Unido	No se ha facilitado información			
Suecia	SS 02 81 12 SS 02 81 38	Sólidos en suspensión totales Partículas gruesas incl. fibra	Filtro fibra de vidrio (GF/A) Tela metálica 70 μm	equivale a DS 207 y SFS 3037
Nota: Tras la publicación de una Norma Europea (EN), los Estados miembros son responsables de publicarla como norma nacional idéntica en contenido y presentación, o de publicar una nota de aprobación. Las normas nacionales contrarias a la norma EN deben ser retiradas.				

Tabla III.1: Métodos estándar para el análisis de Sólidos en Suspensión Totales (SST) en la Unión Europea

Halógenos Orgánicos Adsorbibles (AOX)

En muchos países, el análisis de AOX ha sido aprobado como un método estándar para determinar el total del cloro combinado biológicamente en los efluentes de fábricas de pasta y papel (la presencia de otros halógenos distintos del cloro es insignificante en tales aguas residuales). En Escandinavia, los AOX se analizan según el método estándar del Comité de Ensayos del Consejo Escandinavo de Pasta, Papel y Cartón, SCAN-W 9:89, y a menudo se

denomina "el método de sacudidas". El principio es adsorber los componentes orgánicos de la muestra sobre carbón activado, separar el carbón de la muestra por filtración, y quemar el carbón con el oxígeno en un aparato especial para AOX. Se forman HX a partir del halógeno orgánico original, y se absorben en un electrolito en el cual se determinan por valoración microculométrica. El resultado se expresa como el cloruro en mg Cl/l.

El método correspondiente alemán para AOX, DIN 38409, H14, es básicamente muy similar al método escandinavo. Desde 1998, hay una norma ISO (ISO 9562:1998) y también está disponible la Norma Europea EN 1485 – Determinación de halógenos orgánicos adsorbibles. Suponiendo que haya personal suficientemente cualificado en el laboratorio, las pequeñas diferencias entre métodos aplicados no se espera que den diferencias significativas entre valores analíticos.

Conclusiones

Hay pequeñas diferencias entre métodos de medición para descargas de aguas residuales de las fábricas de pasta y papel en países europeos, aunque los métodos se denominen con distintos términos o referencias. Todos los métodos parecen ser muy similares a los métodos ISO y están basados en principios similares (o idénticos). Por lo tanto, no se espera que estas pequeñas diferencias produzcan variaciones significativas de los valores analíticos. Otros aspectos como métodos de muestreo, manipulación y conservación de muestras, suficiente cualificación del personal, y medidas de garantía de calidad interna y externa en los laboratorios de análisis parecen tener una influencia mucho más grande sobre los resultados que las diferencias en los métodos de medición usados. Sin embargo, estos factores no sólo podrían conducir a las diferencias significativas de los resultados de las medidas de efluentes de fábricas de papel entre países, sino también dentro de un mismo país.

Por último, la frecuencia de los muestreos tomados para determinar el comportamiento ambiental de las fábricas, así como los periodos de referencia (intervalos de tiempo) a partir de media diaria, mensual, anual) se esperan que tengan una influencia significativa sobre los resultados (ver ANEXO IV: Ejemplos de variaciones de emisiones).

2. Comparación de mediciones de emisiones atmosféricas

En la industria de la pasta y el papel, las emisiones a la atmósfera provienen tanto de la producción de energía como del proceso. Las fuentes de emisiones de proceso de fábricas de pasta kraft son principalmente la caldera de recuperación, el horno de cal y el departamento de cocción. Otras fuentes de emisiones son, por ejemplo, el blanqueo, los filtros de lavado, la planta de evaporación, el tanque de disolución, la tolva de astillas, y la fabricación de aceite de pino. Las emisiones en fábricas de papel son principalmente debidas a los gases de combustión de la producción de energía. Las fuentes de emisión de producción de energía en una fábrica de pasta y papel son el horno de combustibles múltiples o la caldera de corteza. En fábricas de papel a base de FRC, que disponen de plantas de destintado para el proceso de papel recuperado, diversos lodos pueden ser incinerados en una caldera de combustible sólido.

Los parámetros típicos de monitorización de gases residuales a analizar en fábricas de pasta y papel son los siguientes:

Caudal de gas, óxidos de azufre (óxidos de azufre expresados como SO₂), óxidos de nitrógeno (expresado como NO₂), partículas / polvo, compuestos de azufre reducido (TRS), y H₂S. En algunos casos o en ciertos intervalos también se analizan monóxido de carbono, cloro, y dibenzodioxinas policloradas, dibenzofuranos (PCDD/PCDF), así como HCl para calderas que queman lodos. A continuación se destacan algunos aspectos generales a considerar y medidas comúnmente utilizadas.

Frecuencia de medición, muestreo, cálculo de caudal de gases de combustión y cálculo de emisiones

Mediciones continuas

Las mediciones continuas son realizadas por los operarios de la misma planta. La disponibilidad de tiempo de monitorización se considera suficiente cuando la monitorización continua de emisiones está en funcionamiento al menos un 90 % del tiempo de funcionamiento anual. Los resultados muestran las emisiones totales anuales, así como las variaciones temporales de las emisiones durante el funcionamiento.

En fábricas de pasta, el dióxido de azufre, TRS, partículas y óxidos de carbono se miden normalmente de forma continua. Las mediciones continuas se realizan cuando el caudal de gases de combustión es significativo, al igual que para las emisiones de la caldera de recuperación, el horno de cal, el sistema de manipulación de gases no condensables y las calderas de producción de energía. Las mediciones continuas de emisión de NO_x sólo son aplicadas en algunos países (ej: Suecia, Finlandia) por ejemplo para calderas de recuperación o calderas de vapor grandes. Dado que en la actualidad no hay ningún sistema de medición continua fiable para el caudal de gases de combustión, hay ciertas dificultades para definir los valores periódicos que permitan describir las situaciones de proceso variables. No obstante, en muchos casos, como por ejemplo calderas de recuperación y hornos de cal, el caudal puede calcularse a partir de los datos de combustible.

El muestreo y el tratamiento de las muestras son por lo general los puntos más débiles de las mediciones. Pueden surgir problemas para tomar una muestra representativa de gas. Las instrucciones para escoger del punto de medición e instrucciones para el muestreo se detallan en diversas normas. Las mediciones en sí son realizadas por lo general según normas actualmente válidas (basadas en las normas relacionadas internacionales o extranjeras) o con equipos de medición homologados. ISO y el CEN han publicado diversas normas y propuestas de normas para la calibración.

Mediciones periódicas / discontinuas

Las mediciones periódicas se utilizan para fuentes de emisión pequeñas y separadas. Se realizan como medidas manuales puntuales o durante un periodo corto. Las mediciones de emisiones periódicas pueden ser realizadas una vez por semana o una vez al mes (y en casos especiales también una vez al año como por ejemplo para dioxinas y furanos) para los siguientes componentes de las emisiones: SO_2 , TRS, CO, CO_2 , NO_x , Cl y partículas, y en algunos casos también para dioxinas, furanos y emisiones de HCl de calderas de combustión de lodos según los métodos estándar usados en el país dado. Los compuestos de cloro (Cl_2 , ClO_2), que pueden determinarse en la zona de preparación de agentes de blanqueo y en la extracción de vapores de los procedimientos de blanqueo, también se miden periódicamente. Las mediciones periódicas indican el estado de las emisiones durante el tiempo muestreo escogido.

Los parámetros necesarios para los cálculos de emisiones, como caudal, temperatura, contenido de oxígeno y humedad del humo, se determinan también en las mediciones periódicas.

Si la intención con la monitorización discontinua es ofrecer una imagen fiable de las emisiones totales a lo largo de un cierto período, de un día, un mes o un año, es crucial tener un número de muestras estadísticamente representativo. Si las emisiones totales se computan sobre la base de unas pocas muestras que representan sólo una pequeña parte del tiempo de producción total, es probable que sean una mala representación de la verdadera situación. Esto es debido al hecho que los procesos no son condiciones de proceso estables y predominantes, y las perturbaciones en procesos etc. pueden afectar considerablemente los resultados.

Caudal de gases de combustión

Si deben determinarse las emisiones totales o específicas del producto (ej: kg SO₂/Adt), la calidad de medición o cálculo del caudal de gases de combustión es de importancia crucial. Si esto no se hace, ni siquiera una buena calidad de análisis de los parámetros de emisión podrá dar una imagen realista de la situación. Si el objetivo es determinar la concentración del componente en los gases de combustión, sólo es necesario conocer el volumen de gas de la muestra, además de la masa de la sustancia para a determinar.

Cálculo de emisiones

Los cálculos de balances de materia pueden usarse para complementar las mediciones de emisiones con el fin de comprobar los resultados de las mediciones, así como crear una visión general del nivel de emisión total de cada componente. A veces, la cantidad de emisiones difusas que no es registrada por mediciones de emisiones puede ser sustancial (ej: emisión de TRS de fábricas de pasta kraft) y puede tenerse una aproximación mediante balances de materia de azufre. Un cálculo de balance de materia da una idea de la magnitud esperada de la emisión de una sustancia específica, pero no puede dar (ni siquiera sustituir) una medición exacta. Por lo tanto, la utilidad del cálculo teórico de emisiones para la determinación de niveles de comportamiento ambiental es cuestionable. Los cálculos de balances de material están a menudo basados en caudales de proceso evaluados y concentraciones medidas. Sin embargo, si sólo se determina poca información mediante mediciones, pueden acumularse posibles errores en los resultados finales. El cálculo de niveles de emisión medios fiables para una planta implica la monitorización a largo plazo de los procesos y el examen estadístico de los datos.

Oxidos de azufre (SO₂), Oxidos de nitrógeno (como NO₂) y partículas / polvo

Las emisiones atmosféricas de las fábricas de pasta y papel cubren principalmente los agentes contaminantes clásicos que también se emiten de las calderas de generación de energía: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas. En fábricas de pasta kraft, además hay que considerar sobre todo emisiones de TRS, que son emitidas por unas pocas fuentes de emisión principales, así como un par de otras fuentes con concentraciones inferiores (emisiones difusas).

Las normas internacionales para la determinación de los principales agentes contaminantes atmosféricos son elaboradas por el Comité Técnico de ISO (Organización Internacional de Normalización) y la Organización de Estandarización Europea, CEN. Las normas ISO para emisiones de fuentes estacionarias y las Normas Europeas que han sido publicadas hasta ahora se muestran en la Tabla III.2. Estas normas incluyen normalmente Los métodos de muestreo y medición. En gran parte, estas normas han sido adoptadas como normas nacionales.

Cabe esperar que las emisiones alcanzables indicadas en el documento sean determinadas mediante normas ISO/CEN o, en los casos en los que las normas internacionales no estén aún disponibles, mediante la aplicación de normas nacionales adecuadas. Para la determinación de SO₂, hoy se utilizan comúnmente métodos continuos (ej: absorción con rayos IR o UV, o fluorescencia). Sin embargo, para calderas de generación de energía que utilizan gas o combustibles sólidos a base de madera (corteza), las emisiones de SO₂ son tan bajas que tiene escaso interés medir este parámetro continuamente.

Para la determinación de SO₂ y NO_x, cabe esperar que las diferencias entre los métodos usados dentro de la Unión no darán variaciones significativas de valores analíticos. La frecuencia de los muestreos tomados para determinar el comportamiento ambiental de fábricas, así como los periodos de referencia (intervalos de tiempo) a partir de los cuales se calcula la emisión real (promedio diario, mensual, anual) se espera que tengan una influencia más significativa sobre los resultados (ver ANEXO IV).

Número	Año de publicación	Parámetro medido	Comentarios
ISO 7934	1989	Determinación de la concentración en peso de dióxido de azufre – Método Thorin con peróxido de hidrógeno / perclorato bórico.	Medición discontinua, ver también enmienda 1
ISO 11632	1998	Determinación de la concentración en peso de dióxido de azufre – Método de cromatografía iónica	
ISO 7935	1992	Determinación de la concentración en peso de dióxido de azufre – Características de funcionamiento de los métodos de medición automática.	
ISO/DIS 11564	1996	Determinación de la concentración en peso de óxidos de nitrógeno. Método fotométrico con naftiletilendiamina.	
ISO 10849	1996	Determinación de la concentración en peso de óxidos de nitrógeno - Características de funcionamiento de los métodos de medición automática.	
ISO 10396	1993	Muestreo para la concentración automática de concentraciones de gases.	
ISO 10780	1994	Medición de velocidades y caudales de corrientes de gas en conductos.	Medición discontinua
ISO/DIS 14164	1997	Medición de caudales de corrientes de gas en conductos – Método automático	
ISO 9096	1992	Determinación de concentración y flujo de masa de partículas en conductos que transportan gas – Método gravimétrico manual	Medición discontinua
ISO 10155	1995	Monitorización automática de concentraciones en peso de partículas – Características de funcionamientos, métodos de ensayo y especificaciones.	
EN 1911	1998	Método manual para la determinación de HCl	
EN 1948	1996	Determinación de la concentración en peso de PCDDs/PCDFs	
Abreviaturas: DIS = Borrador Norma Internacional; ISO = Norma Internacional; prEN = Borrador Norma Europea; EN = Normas Europeas			

Tabla III.2: Normas para la determinación de contaminantes atmosféricos de emisiones de fuentes estacionarias publicadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO)

Para la determinación de partículas, las distintas prácticas dentro de la Unión Europea podrían tener una mayor relevancia, ya que las partículas no son un parámetro bien definido (como SO₂ y NO_x) sino que están definidas por el procedimiento de medición. Es esencial y práctica común que el muestreo sea realizado isocinéticamente, es decir, que la velocidad del gas en el dispositivo de muestreo debe corresponder a la que tiene en el conducto. El método usado para el muestreo depende del contenido de humedad y de la composición del gas. El gas de combustión de las calderas de generación de energía que utilizan aceite, carbón, gas o combustible sólido (madera) está normalmente bastante seco para usar el método de filtro seco. La muestra de gas se recoge con una bomba conectada a un gasómetro para medir el caudal del gas muestreado. Las partículas recogidas sobre un filtro adecuado se determinan gravimétricamente.

Para destacar las posibles diferencias en las mediciones de partículas / polvo, en la Tabla III.3 se recoge información relativa a los métodos estándar utilizados dentro de la Unión Europea. También se incluye una especificación acerca de los métodos de medición empleados [información facilitada por Miembros del grupo de trabajo].

País	Método estándar aplicado	Año de publicación	Principio de medición	Comentarios
Alemania	VDI 2066	1993	Filtro en chimenea, discontinuo	Método de calibración
Finlandia	SFS 3866	1990	Método manual	
Holanda	ISO/NEN 9096		Aspiración isocinética seguida de determinación gravimétrica	
Irlanda	BS 6069/ISO 9096	1992	Gravimétrico	
Italia	UNI-UNICIM 10 623			
Noruega	NS 4863	1985	Óptico Gravimétrico	Continuo Discontinuo
Suecia			Óptico continuo o gravimétrico discontinuo	

Tabla III.3: Métodos estándar para el análisis de partículas / polvo en la Unión Europea. La tabla incluye sólo los países que han facilitado información.

Compuestos de azufre reducido (TRS)

Los gases malolientes no condensables de la cocción de pasta kraft contienen H_2S y compuestos orgánicos de azufre reducido (principalmente metilmercaptano CH_3SH , sulfuro de dimetilo $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ y disulfuro de dimetilo $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$), cuyos umbrales de olor son muy bajos. Estos compuestos son fácilmente evaporables y están presentes en altas concentraciones en algunos gases y condensados en los departamentos de evaporación y cocción. El sulfuro de hidrógeno gas (H_2S) puede también formarse en la incineración si hay escasez de oxígeno en la zona de combustión o mediante reacción de ácidos con iones bisulfuro en fase líquida. Los gases de alta concentración (bajo volumen) se originan en cocción, evaporación y separación de condensados. Siempre son incinerados. Los gases de gran volumen y baja concentración se emiten por ejemplo en el lavado, tolvas de astillas, tanque de disolución, planta de evaporación, y depósitos de licores concentrados. En fábricas de pasta kraft, las emisiones difusas de azufre pueden ser significativas.

Para monitorizar las emisiones totales de azufre y determinar las fuentes de emisión más importantes o los compuestos que dominan las emisiones totales, es necesario realizar mediciones que cubran toda la planta. Estos resultados son la base para decidir donde son necesaria mediciones continuas, donde son validas mediciones periódicas, y qué analizador escoger.

Cabe esperar que las distintas prácticas diferentes para la determinación de las emisiones de TRS sin tratar que se liberan de forma difusa de una serie de pequeñas fuentes de emisión den variaciones significativas en los resultados. El grado de recogida y tratamiento de las emisiones difusas que contienen TRS podría conducir a diferencias relevantes entre Estados miembros. Normalmente, las emisiones de TRS se determinan mediante estimaciones utilizando los resultados de las medidas discontinuas de las fuentes de emisión identificadas. Por consiguiente, hay una cierta incertidumbre al comparar el comportamiento ambiental alcanzado de reducción de las emisiones de TRS en países europeos.

3. Residuos sólidos

El productor de residuos debe ser consciente de las diversas fracciones de residuos generadas en la producción. Esto incluye información sobre cantidad, calidad, propiedades y origen de los residuos generados (es decir, requisitos generales para su contabilidad). También debe tenerse conocimiento de los efectos ambientales y para la salud de los residuos, así como de las propiedades que afectan el desecho de residuos. En Europa, el productor normalmente tiene la obligación de desarrollar la producción hacia un proceso que genere menos residuos (ver

ANEXO 4 de la Directiva de IPCC). Los fabricantes deben mantener un registro de los desechos generados, recogidos, almacenados, transportados, utilizados o desechados, así como sobre residuos vendidos o transferidos. También los destinos y fechas de entrega, y los métodos de transporte, utilización y desecho deben ser registrados cuando los residuos sean transferidos a otro lugar. Cada año, las autoridades deben ser informadas sobre cantidades, desecho, utilización, almacenaje o transporte de los residuos generados u obtenidos en otras partes. El informe se prepara en un formulario especial que usa los códigos del EWC (Catálogo Europeo de Residuos, 94/3/CE) para los residuos.

En la mayoría países hay requisitos generales para vertederos, que incluyen una evaluación de la idoneidad de los residuos para desecho. El principio general para la aprobación del desecho en vertedero es conocer la composición, lixiviabilidad y comportamiento a largo plazo de los residuos. La evaluación de las propiedades de los residuos está basada en investigaciones sobre residuos mediante una serie de pruebas fisicoquímicas. Estas pruebas incluyen un análisis de:

- la composición del residuo
- el contenido orgánico y las propiedades de degradación del residuo
- los compuestos que contiene y su lixiviabilidad
- los efectos ecotoxicológicos del residuo y de las aguas de escorrentía del residuo.

La idoneidad de un residuo para desecho en vertedero es determinada generalmente por laboratorios expertos especializados en lixiviados y otras pruebas para la determinación de las propiedades de residuos. Hay variaciones en los métodos usados para ensayar distintos residuos.

4. Ruido

El ruido se define en general como sonido no deseado. El sonido es un movimiento ondulatorio, que ocurre cuando una fuente de sonido pone en movimiento las partículas de aire circundantes, causando variaciones en la densidad y la presión. Cualquier fuente de ruido tiene una potencia sonora característica, pero la presión acústica a la que da lugar depende de muchos factores externos, como la distancia, la dirección, la temperatura, la humedad, el viento y el entorno.

Los parámetros acústicos se expresan como una relación logarítmica de un valor medido. La unidad de esta relación se denomina decibelio (dB). El oído humano es menos sensible a los sonidos de baja frecuencia. En los medidores de nivel sonoro, se utiliza un filtro que "corrige" los espectros de sonido de acuerdo con la sensibilidad del oído. Se denomina nivel de presión acústica ponderado A, y se expresa en dB(A).

Los niveles de ruido se determinan por lo general según los métodos siguientes:

- mediciones de campo: DIN 45 635 parte 47: Medida de ruido aerotransportado emitido por máquinas
- medidas en laboratorio de acústica: ISO 3741 Acústica - Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido - Métodos de precisión para fuentes de banda ancha en salas reverberantes.

En permisos ambientales se requiere que los niveles de ruido no excedan ciertos niveles de inmisión de ruido que se determinan caso por caso. Estos niveles de inmisión de ruido se suelen establecer separadamente para áreas residenciales y recreativas durante el día (7:00 – 22:00) y la noche (22:00 – 7:00). El operador de una planta normalmente debe dar información sobre la propagación del ruido y tomar medidas para la reducción del ruido.

ANEXO IV EJEMPLOS DE VARIACIONES DE EMISIONES

Los datos presentados en este documento se consideran típicos para el sector en su conjunto. La mayor parte de los datos presentados en el BREF representan promedios a lo largo de un año. Cuando se indican rangos, representan la variabilidad a través del sector y su dependencia de las materias primas, tipo de proceso, distintos productos y medidas aplicadas para la prevención y control de la contaminación.

No obstante, la diferencia entre los datos de emisiones basados en promedios mensuales o anuales y por ejemplo un promedio diario puede ser grande, del orden del 100% o más. La variabilidad de las emisiones individuales con el tiempo dependerá del tipo de instalación, la fuente de emisión, el diseño y la operación del proceso, el control del proceso, el mantenimiento, la sustancia en cuestión y otros factores. Debe tenerse precaución en la comparación de datos.

A continuación se presentan y discuten brevemente ejemplos de datos medidos de distintas fuentes de emisión y para distintos parámetros. Los ejemplos no pretenden ser completos o cubrir todos los casos diferentes, sino más bien tratar de elevar la conciencia sobre la influencia de los distintos periodos de promedio sobre el comportamiento medioambiental reportado de las fábricas de pasta y papel.

Ejemplo 1: Emisiones de aire de una caldera de recuperación de una fábrica de pasta kraft

Como ejemplo, los gráficos siguientes muestran la variabilidad de las emisiones de una caldera de recuperación kraft en primer lugar durante un período de 3 días, y luego durante un período más largo de 5 meses.



Figura IV.1: Datos de medias diarias de emisiones de NOx de una caldera de recuperación kraft a lo largo de un periodo de 3 días

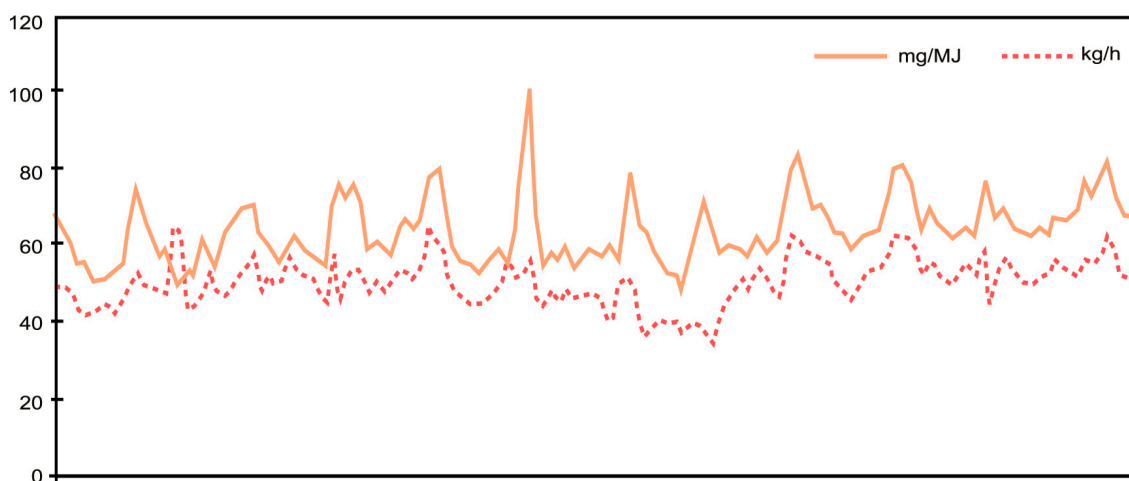


Figura IV.2: Datos de medias diarias de emisiones de NO_x de una caldera de recuperación a lo largo de un periodo de 5 meses

Los datos presentados en la Figura IV.1 y la Figura IV.2 pueden resumirse del modo siguiente:

Periodo	Media [mg/MJ]	Máximo [mg/MJ]	Media [kg/h]	Máximo [kg/h]
Día - 1	79	84	61	65
Día - 2	71	79	57	64
Día - 3	64	70	52	57
3 días	71	84	57	65
5 meses	64	101	50	65

Aunque los períodos de muestreo más largos tienden a incluir picos más extremos de valores, el examen de estos datos demuestra que los períodos de muestreo más largos producen valores medios más bajos. Esto es debido al hecho que los picos de valores son compensados por un número más grande de valores que están cerca del nivel medio (funcionamiento normal) o por debajo del mismo. Sin embargo, es difícil derivar factores aritméticos que relacionen los valores medios y el período de tiempo de medición.

Además, las expresiones diferentes, como emisiones específicas por unidad de energía o emisiones por unidad de tiempo pueden dar las impresiones ligeramente diferentes de comportamiento durante estos periodos, aunque la comparación de cifras medias llegue al mismo resultado. En este ejemplo, los picos de valores extremos son menos significativos cuando las emisiones se expresan como emisiones por unidad de tiempo.

Ejemplo 2: Descarga de aguas residuales de una fábrica de pasta kraft con tratamiento primario únicamente

Este ejemplo muestra la variabilidad de las emisiones al agua de una fábrica de pasta kraft blanqueada durante un período de 1 mes y durante un periodo más largo. La fábrica no tiene ningún tratamiento biológico de aguas residuales.

De las figuras abajo indicadas puede observarse que hay variaciones significativas con el tiempo. La Figura IV.3 muestra que en este ejemplo la carga de DQO media diaria más baja es de 23 kg/Adt y la media diaria más alta de 71 kg/Adt. La media mensual es de 36 kg DQO/Adt. Hay tres picos de valores. La carga de DQO por día muestra menos variación. En este ejemplo, esto es debido a que la carga específica siempre aumenta cuando la producción diaria disminuye.

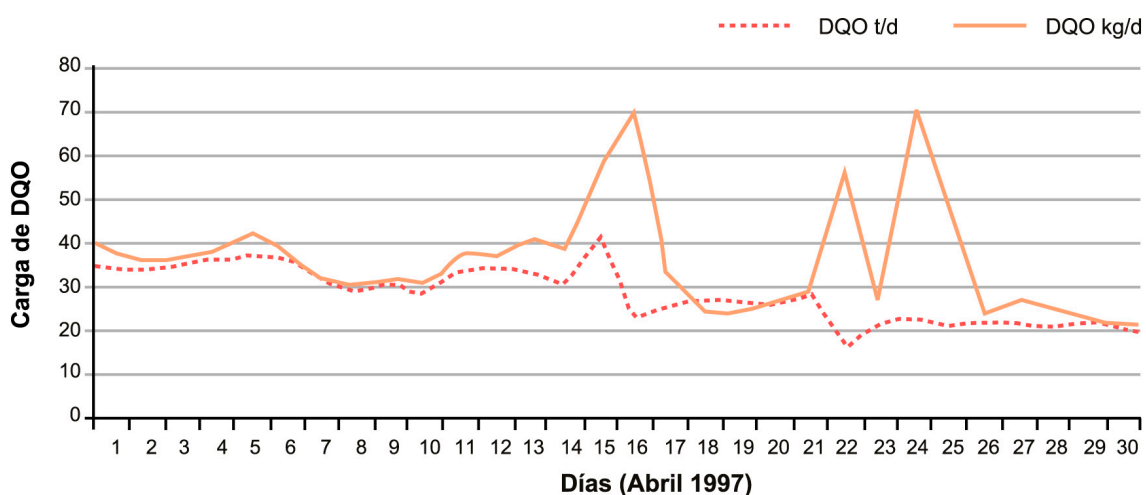
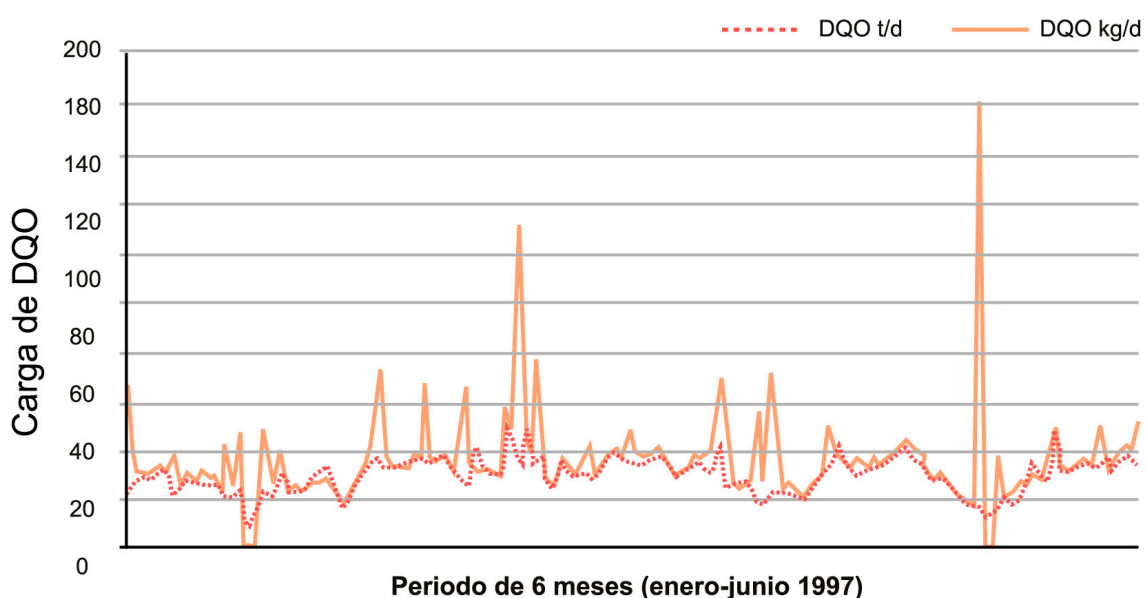


Figura IV.3 Media diaria de emisiones de DQO al agua de una fábrica de pasta de kraft a lo largo de un periodo de 30 días.

Los resultados del muestreo medio diario de la misma fábrica durante un periodo de 6 meses se muestran en la figura IV.4.



Media aritmética: 36,5 kg DQO por tonelada

Figura IV.4: Media diaria de emisiones de DQO al agua de una fábrica de pasta kraft a lo largo de un periodo de 5 meses

Los datos presentados en la figura IV.4 pueden resumirse como sigue:

Periodo	Producción [toneladas diarias]	DQO media [kg/t]	DQO Mínima [kg/t]	DQO Máxima [kg/t]
Enero	804	33	23	66
Febrero	935	35	25	74
Marzo	921	31	25	131
Abril	846	36	21	71
Mayo	920	33	20	50
Junio	859	40	20	181
6 meses	881	36.5	20	181

Los efluentes de fábricas de pasta kraft blanqueada sin tratamiento biológico tienden a presentar gran número de picos de valores extremos. No hay ningún equipo para el almacenaje intermedio de las cargas más altas que se descargan directamente al medio receptor. Por contra, este efecto no se observa cuando sólo se consideran periodos de promedio más largos, como medias mensuales o anuales.

Ejemplo 3: Flujo de salida de una planta de tratamiento de aguas residuales de una fábrica integrada de pasta al sulfito y papel

El sistema de tratamiento de aguas residuales de este ejemplo se describe en la Sección 3.3.7.

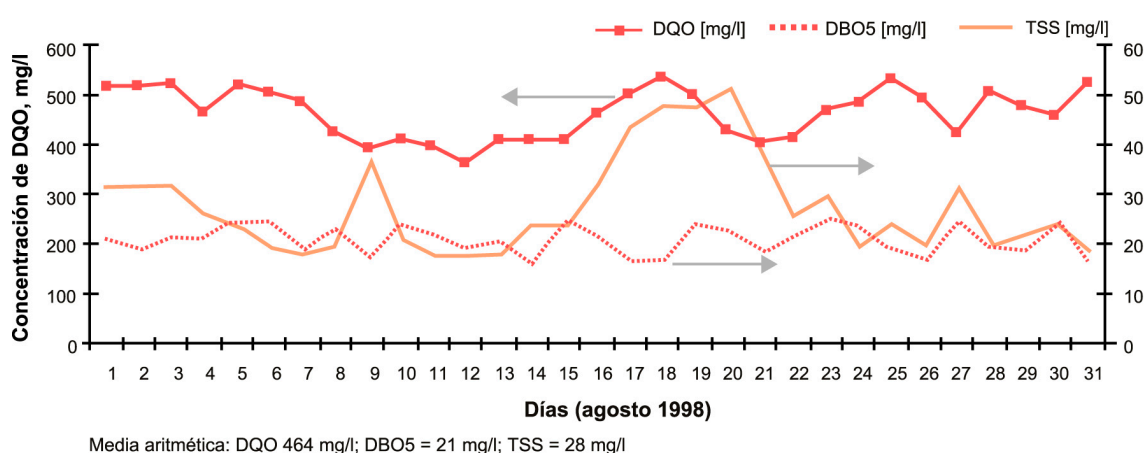


Figura IV.5: Emisiones medias diarias al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito y papel a lo largo de un periodo de un mes

Los resultados del muestreo diario medio de la misma fábrica a lo largo de un periodo de 6 meses de muestra en la Figura IV.6.

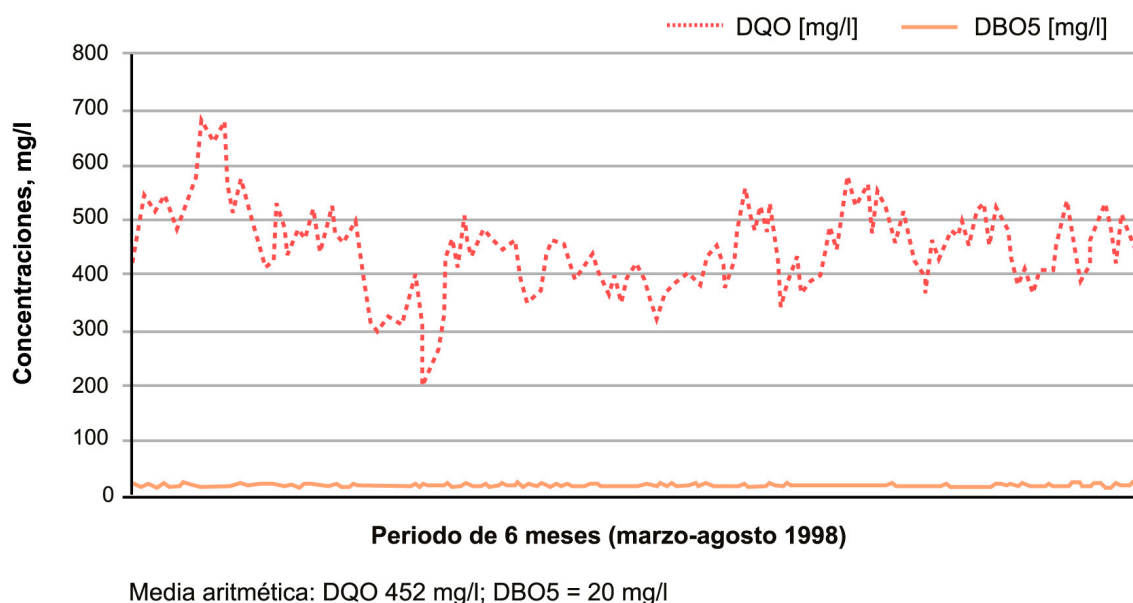


Figura IV.6: Emisiones diarias medias al agua de una fábrica integrada de pasta al sulfito y papel a lo largo de un periodo de 6 meses

Los datos presentados en la Figura IV.5 y la Figura IV.6 pueden resumirse como sigue:

Periodo en 1998	DQO [mg/l]			DBO ₅ [mg/l]			SST [mg/l]		
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Marzo	533	414	687	21	15	26	39	28	54
Abril	396	204	533	21	15	26	21	12	40
Mayo	423	347	487	21	16	26	24	16	36
Junio	426	329	560	21	15	25	27	10	40
Julio	472	371	581	20	15	24	25	12	38
Agosto	464	364	537	21	16	25	28	18	52
6 meses	452	204	687	21	15	26	27	12	54

Los efluentes de fábricas de pasta al sulfito con tratamiento biológico presentan pequeñas variaciones de los valores de DBO independientemente del periodo de promedio. Asimismo, los valores de TSS fluctúan en un rango relativamente estrecha, que sin embargo es ligeramente más característica que para los valores de DBO.

La concentración de DQO puede variar un poco más. Sin embargo, un diseño y mantenimiento apropiado de la planta de tratamiento de efluentes aseguran que picos de valores extremos sean raros. La Figura IV.5 muestra que en agosto de 1998 los promedios diarios fluctuaron entre 364 y 537 mg/l con una media diaria de 452 mg/l. La mayoría de las medias mensuales individuales no difieren más de un 10% (en sentido positivo o negativo) del promedio semestral.

Ejemplo 4: Flujo de salida de una planta de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de papel

En este ejemplo, las aguas residuales son generadas en una fábrica de papel que fabrica papel para impresión con pasta mecánica, con un contenido de un 25 % de fibra reciclada. Los datos medidos indicados a continuación hacen referencia a la salida de la planta de tratamiento biológico en dos etapas (lodo activado + biofiltración). Los valores cubren los valores diarios durante un año entero. La planta de tratamiento está dimensionada relativamente grande. En 1998 no hubo prácticamente perturbaciones. Los valores medidos como muestra compuesta de 24 horas se muestran en la Figura IV.7. Se agrupan en clases con los mismos rangos de DQO.

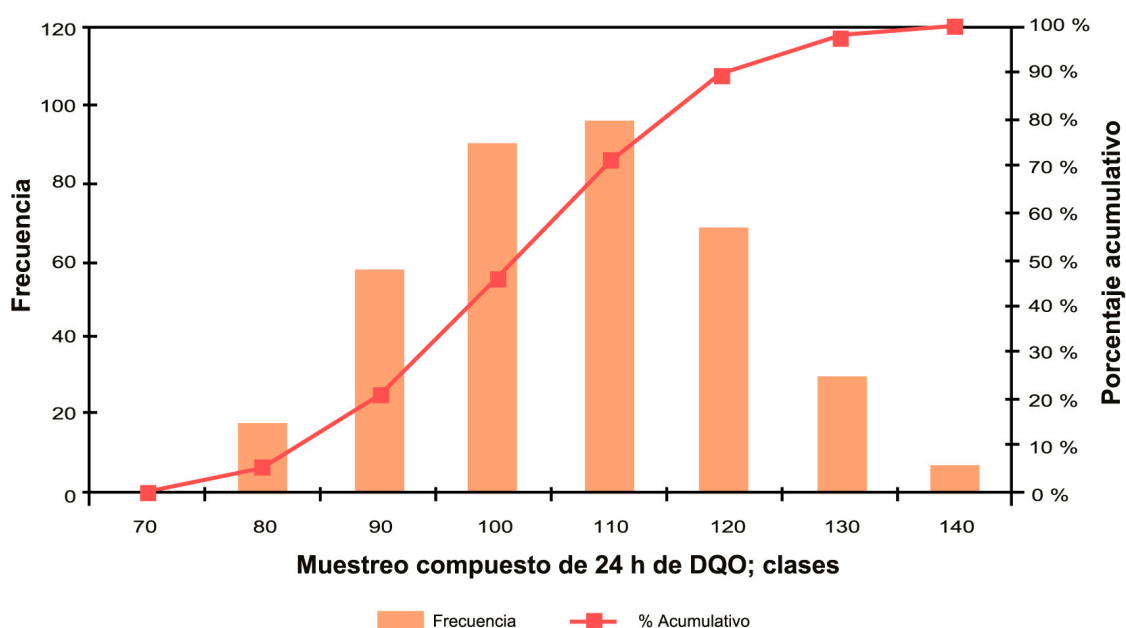


Figura IV.7: Histograma de flujo de salida de DQO de una fábrica de papel

El valor medio anual para la DQO es de 103 mg/l. La mayor parte de valores de DQO varían en un rango de 90 - 120 mg/l. El valor medio diario más alto es 139 mg/l, y el más bajo 68 mg/l.

Si hay más perturbaciones en la operación del tratamiento de aguas residuales, la diferencia entre la media aritmética y el valor máximo puede ser mucho más alta. Desde el punto de vista ambiental, es preferible un sistema de tratamiento con menos perturbaciones.

No hay ninguna "regla básica" para convertir medias anuales en medias mensuales o muestras compuestas diarias. Dentro de un rango determinado, puede afirmarse que cuanto más corto sea el periodo de promedio mayores serán las variaciones de las emisiones. Los valores mensuales medios varían normalmente de un mes a otro en cierta medida (según la producción, la calidad de la madera, las condiciones climáticas, etc.). Normalmente sólo el análisis estadístico de cada caso da una respuesta fiable sobre el verdadero rango de variaciones.

Factores de variabilidad

El factor de variabilidad se define como la relación entre el máximo diario y el límite medio mensual. No hay ningún método aritmético disponible que permita una comparación directa de los valores a corto y a largo plazo o una derivación de uno a partir del otro. Sin embargo, hay algunos enfoques pragmáticos basados en experiencias prácticas en distintos países, que pueden dar una idea aproximada sobre el orden de magnitud dentro del que pueden variar los resultados de medidas para distintos periodos de promedio.

- En Alemania, para las descargas de agua de fábricas de pasta química *después del tratamiento biológico* se supone que el valor de monitorización basado en un muestreo mixto diario es aproximadamente un 60% más alto que el valor anual medio. Por ejemplo, un valor de monitorización basado en un muestreo de 24 horas de 40 kg DQO/t de pasta equivale a una media anual de 25 kg/t de pasta. El valor de monitorización diario se considera que se cumple si cuatro de cinco muestreos están por debajo del límite y ningún valor excede el límite en más del 100%.
- La reglamentación francesa sobre aguas residuales de fábricas de pasta y papel hace la suposición siguiente: El límite mensual medio es un 100% mayor que el valor diario máximo para cumplir los requisitos mínimos establecidos en la normativa.
- En Suecia, por regla general, se supone que cabe esperar que las medias mensuales aumenten un 20 % con respecto a la media anual para ese año.
- En Canadá hay una discrepancia bastante amplia en los factores de variabilidad usados por cada provincia. Para el límite de DBO, por ejemplo, el factor de variabilidad va desde 1,6 en la normativa de Quebec hasta 2,0 en los permisos de Alberta y la normativa de Ontario. Un factor de variabilidad medio de 2 significa que un máximo diario de 3 kg DBO/t equivale a una media mensual de 1,5 kg DBO/t. El gobierno federal tiene un factor de variabilidad de 1,66.
- En el marco del conglomerado de normas de EE.UU., para límites de descarga de agua se supone que la máxima carga específica diaria (ej: kg DBO/t de pasta, kg TSS/t de pasta) equivale aproximadamente al doble del valor de la carga media de un periodo de 30 días.

Los factores de variabilidad son una consideración importante a la hora de establecer límites, ya que son reflejo del grado de severidad de la normativa. Dado que la variabilidad es una característica inherente de los efluentes de las fábricas de pasta y papel, las fábricas que afrontan factores de variabilidad bajos o inexistentes (es decir, exclusivamente límites diarios medios) en sus límites de descarga tendrán que funcionar a un menor nivel de descarga mensual media para mantenerse dentro de límites diarios que las fábricas que afrontan altos factores de variabilidad, pero tienen límites de descargas mensuales medios similares. Por lo tanto, al comparar la severidad de los límites de descargas entre países, es más importante comparar el límite diario máximo que el límite mensual medio. El límite diario es el que exceden con mayor probabilidad las fábricas.

En este documento, para la descripción del comportamiento ambiental de las fábricas de pasta y papel a menudo se indican valores anuales medios. A la hora de transformar estos niveles de comportamiento en límites, es necesario tener en consideración las variaciones de las emisiones con el tiempo.



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

ISBN: 978-84-8320-357-X



9 788483 203576

P.V.P: 23,00 €
(I.V.A. Incluido)