
RESUMEN GENERAL

El presente documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el sector metalúrgico no férreo refleja el intercambio de información que se ha llevado a cabo con arreglo al apartado 2 del artículo 16 de la Directiva 96/61/CE del Consejo y ha de contemplarse a la luz del prefacio, en el que se describen sus objetivos y forma de uso.

Para tratar un sector productivo tan complejo como la metalurgia no férrea, se ha adoptado el criterio de analizar conjuntamente la producción de metales primarios y secundarios y dividirlos en diez grupos:

- Cobre (incluido Sn y Be) y sus aleaciones.
- Aluminio.
- Zinc, plomo y cadmio (+ Sb, Bi, In, Ge, Ga, As, Se, Te).
- Metales preciosos.
- Mercurio.
- Metales refractarios.
- Ferroaleaciones.
- Metales alcalinos y alcalinotérreos.
- Níquel y cobalto.
- Carbono y grafito.

La producción de carbono y grafito también ha merecido grupo propio, ya que muchos de estos procesos están asociados a las fundiciones de aluminio primario. Los procesos de tostación y sinterización de minerales y concentrados y los procesos de producción de alúmina también se han incluido dentro de estos grupos, según el caso. La actividad minera y el tratamiento de los minerales en las propias minas no son objeto del presente documento.

La información que contiene el documento está organizada en doce capítulos: el capítulo 1 está dedicado a información de tipo general, en el capítulo 2 se explican los procesos comunes, y en los capítulos 3 a 12 se describen los procesos metalúrgicos que intervienen en la producción de cada grupo de metales. El capítulo 13 presenta las conclusiones y recomendaciones finales y en los anexos se tratan cuestiones relacionadas con los costes y con las normas internacionales. El capítulo 2 se divide de la forma siguiente:

- Uso del capítulo: instalaciones complejas.
- Uso y notificación de los datos de emisiones.
- Gestión, diseño y formación.
- Recepción, almacenamiento y manipulación de materias primas.
- Preprocesado, pretratamiento y transferencia de las materias primas a los procesos productivos.
- Procesos metalúrgicos: tipos de hornos y técnicas de control de proceso.
- Técnicas de recogida de gases y de eliminación de aire.
- Tratamiento de los efluentes y reutilización de las aguas.
- Minimización, reciclado y tratamiento de los residuos y subproductos del proceso.
- Recuperación de energía y de calor residual.
- Efectos cruzados.
- Ruido y vibración.
- Olor.
- Aspectos de seguridad.
- Desmantelamiento.

Los capítulos 2 a 12 incluyen sendos apartados sobre los procesos y técnicas aplicados, niveles actuales de emisión y consumo, técnicas a considerar en la determinación de las MTD y conclusiones. En el capítulo 2, las conclusiones sólo se refieren a las MTD para las operaciones

de manipulación y almacenamiento de los materiales, control del proceso, recogida y eliminación de gases, eliminación de dioxinas, recuperación de dióxido de azufre, eliminación del mercurio y tratamiento de los efluentes o reutilización de las aguas. Para hacerse una idea global sobre la materia es preciso consultar las conclusiones de todos los capítulos.

1. La industria metalúrgica no férrea

En la Unión Europea se producen al menos cuarenta y dos metales no ferreos, además de carbono y grafito y ferroaleaciones, que tienen diversos usos en los sectores metalúrgico, químico, eléctrico, de la construcción y del transporte. Por ejemplo, el cobre de gran pureza es un componente esencial en la producción y distribución de electricidad, y utilizando níquel o metales refractarios en pequeñas cantidades pueden mejorarse ciertas propiedades del acero, como la resistencia a la corrosión. Estos metales también se emplean en muchas aplicaciones de alta tecnología, en particular en los sectores de defensa, informática, electrónica y telecomunicaciones.

En la producción de metales no ferreos se utilizan diversas materias primas, que pueden ser primarias o secundarias. Las primarias son las que se obtienen a partir de los minerales extraídos de la mina y sometidos después a un tratamiento previo al proceso metalúrgico de producción del metal bruto. Este tratamiento suele realizarse en las proximidades de las minas. Las materias primas secundarias son chatarra y residuos de producción propia, que también pueden someterse a algún tipo de tratamiento previo para eliminar revestimientos.

En Europa, los yacimientos metalíferos viables se han ido agotando progresivamente y quedan ya muy pocos. Por lo tanto, la mayoría de los concentrados se importan de diversas fuentes de todo el mundo.

El reciclado es una importante fuente de suministro de materias primas en la producción de varios metales. El cobre, el aluminio, el plomo, el zinc, los metales preciosos y los refractarios, entre otros, pueden ser recuperados de productos o residuos y devueltos al proceso productivo sin pérdida de calidad. Las materias primas secundarias representan una parte importante de la producción total y permiten reducir el consumo de energía y materiales primarios.

El producto de esta industria es metal refinado o lo que se conoce por semimanufacturados o "semis", es decir, lingotes o forjados metálicos y de aleación, extrusionados, láminas, chapas, flejes, barras, etc.

La estructura del sector varía según los metales. Ninguna empresa produce todos los metales no ferreos, aunque hay algunas empresas paneuropeas que producen varios, como el cobre, el plomo, el zinc, el cadmio, etc.

Las empresas que producen metales y aleaciones en Europa son de dimensión variable. Algunas superan los 5.000 empleados, pero la mayoría emplean de 50 a 200 personas. Su propiedad corresponde a grupos metalúrgicos nacionales y paneuropeos, consorcios industriales o empresas públicas y privadas independientes.

Algunos metales son esenciales como microelementos, pero en concentraciones superiores se caracterizan por su toxicidad, ya sea en forma de metal, ión o compuesto, y muchos están incluidos en varias listas de materiales tóxicos. El plomo, el cadmio y el mercurio son los más peligrosos.

2. Problemas medioambientales del sector

Los principales problemas ambientales relacionados con la producción de la mayoría de metales no ferreos primarios son las emisiones atmosféricas de polvo y metales o compuestos metálicos y también de dióxido de azufre si en los procesos de tostación y fundición se utilizan concentrados sulfurosos, combustibles sulfúreos u otros materiales similares. Por lo tanto, un

factor importante en estas industrias es la captación del azufre y su transformación o eliminación. Los hornos, reactores y vehículos de transferencia de metal fundido que forman parte de los procesos pirometalúrgicos son fuentes potenciales de emisión de polvo y metales.

El consumo de energía y su recuperación son factores importantes en la producción metalúrgica no férrea. Dependen del aprovechamiento eficiente del contenido energético de los minerales sulfurosos, de la demanda energética de las fases del proceso, del tipo y método de suministro de la energía utilizada y de la aplicación de métodos eficaces de recuperación del calor. El capítulo 2 contiene algunos ejemplos prácticos.

Los principales problemas medioambientales asociados a la producción de metales no ferreos secundarios también están relacionados con los gases de escape que generan los diversos hornos y vehículos de transferencia, que contienen polvo, metales y, en algunas fases del proceso, gases ácidos. También existe la posibilidad de que se formen dioxinas debido a la presencia de pequeñas cantidades de cloro en las materias primas secundarias. La destrucción o captación de dioxinas y componentes orgánicos volátiles (COV) sigue siendo objeto de investigación.

En el caso del aluminio primario, los principales problemas medioambientales son los fluoruros y los hidrocarburos polifluorados que genera la electrólisis y los residuos sólidos que generan las cubas y la producción de alúmina.

La producción de zinc y otros metales también genera residuos sólidos durante las fases de eliminación del hierro.

Otros procesos utilizan reactivos peligrosos como HCl, HNO₃, Cl₂ y disolventes orgánicos en las fases de lixiviación y purificación. Las técnicas de fabricación avanzadas permiten contener, recuperar y reutilizar estos materiales. Los sistemas de estanquización de reactores son una buena opción en este caso.

En la mayoría de los casos, estos gases de proceso se depuran a través de filtros textiles, que reducen las emisiones de polvo y compuestos metálicos como el plomo. Los depuradores y precipitadores electrostáticos de proceso húmedo son particularmente eficaces con los gases de proceso que pasan por un sistema de recuperación de azufre en una planta de ácido sulfúrico. También pueden utilizarse depuradores de proceso húmedo si el polvo es abrasivo o difícil de filtrar. Los sistemas de estanquización de hornos y los vehículos de transferencia cerrados son una buena opción para prevenir las emisiones fugitivas.

En resumen, los principales problemas que causan los procesos productivos de cada grupo de metales se deben a los siguientes componentes:

- Producción de cobre: SO₂, polvo, compuestos metálicos, compuestos orgánicos, aguas residuales (compuestos metálicos), y residuos tales como revestimientos de hornos, lodos, polvo filtrado y escoria. También existe el problema de la formación de dioxinas durante el tratamiento de materiales de cobre secundarios.
- Producción de aluminio: fluoruros (HF incluidos), polvo, compuestos metálicos, SO₂, COS, PAH, COV, gases con efecto invernadero (PFC y CO₂), dioxinas (producción secundaria), cloruros y HCl. También residuos de bauxita, revestimientos de crisoles gastados, polvo filtrado y escoria salina y aguas residuales (aceite y amoníaco).
- Producción de plomo, zinc y cadmio: polvo, compuestos metálicos, COV (dioxinas incluidas), olores, SO₂, otros gases ácidos, aguas residuales (compuestos metálicos). También residuos como los lodos, residuos ricos en hierro, polvo filtrado y escoria.
- Producción de metales preciosos: COV, polvo, compuestos metálicos, dioxinas, olores, NO_x y otros gases ácidos como el cloro y el SO₂. Residuos como lodos, polvo filtrado y escoria y aguas residuales (compuestos metálicos y orgánicos).
- Producción de mercurio: vapor de mercurio, polvo, compuestos metálicos, olores, SO₂, otros gases ácidos, aguas residuales (compuestos metálicos), residuos como lodos, polvo filtrado y escoria.

- Producción de metales refractarios, pulvimetales duros y carburos metálicos: polvo, compuestos metálicos y de metales duros sólidos, aguas residuales (compuestos metálicos) y residuos como polvo filtrado, lodos y escoria. En el tratamiento del tantalio y el niobio se utilizan productos químicos como el fluoruro de hidrógeno (HF), que son altamente tóxicos. Hay que tener esto en cuenta en las operaciones de manipulación y almacenamiento de estos materiales.
- Producción de ferroaleaciones: polvo, compuestos metálicos, CO, CO₂, SO₂, recuperación de energía, aguas residuales (compuestos metálicos), y residuos como polvo filtrado, lodos y escoria.
- Producción de metales alcalinos y alcalinotérreos: cloro, HCl, dioxinas, SF₆, polvo, compuestos metálicos, CO₂, SO₂, aguas residuales (compuestos metálicos), y residuos como lodos, aluminato, polvo filtrado y escoria.
- Producción de níquel y cobalto: COV, CO, polvo, compuestos metálicos, olores, SO₂, cloro y otros gases ácidos, aguas residuales (compuestos metálicos y orgánicos), y residuos como lodos, polvo filtrado y escoria.
- Producción de carbono y grafito: PAH, hidrocarburos, polvo, olores, SO₂, aguas residuales y residuos como el polvo filtrado.

3. Procesos utilizados

Las materias primas que pueden utilizar las distintas instalaciones son de muy diversos tipos, lo que significa que existen una gran variedad de procesos metalúrgicos de producción. En muchos casos, la elección del proceso depende de las materias primas. En las tablas siguientes se enumeran los hornos utilizados en la producción de metales no férreos.

| Horno | Metales a que se aplica | Material utilizado | Comentario |
|---|---|--|---|
| Horno de serpentín. Horno de lecho fluidizado. Horno flash. | Cobre y otros. | Concentrados. | Hornos de secado. |
| Horno rotativo. | Secado de casi todos los metales. Extracción de los vapores del ZnO. Calcinación de alúmina, níquel y ferroaleaciones. Incineración de película fotográfica para obtener metales preciosos. Desaceitar la chatarra de cobre y aluminio. | Minerales, concentrados, chatarra y diversos residuos. | Aplicaciones de secado, calcinación y extracción de vapores. Uso como incinerador. |
| Lecho fluidizado. | Cobre y zinc. Al ₂ O ₃ . | Concentrados. Al(OH) ₃ . | Calcinación y tostación. |
| Máquina de sinterización de tiro ascendente. | Zinc y plomo. | Concentrados y materias primas secundarias. | Sinterización. |
| Máquina de sinterización de tiro descendente. | Zinc y plomo. | Concentrados y materias primas secundarias. | Sinterización. |
| Máquina de sinterización con cinta de acero. | Ferroaleaciones, manganeso, niobio. | Minerales. | Posibles aplicaciones adicionales. |
| Herreshoff | Mercurio. Molibdeno (con recuperación de renio). | Minerales y concentrados. | Tostación, calcinación. |

Hornos de secado, tostación, sinterización y calcinación.

| Horno | Metales a que se aplica | Material utilizado | Comentario |
|--|---|--|--|
| Crisoles cerrados con revestimiento refractario. | Metales refractarios, ferroaleaciones especiales. | Óxidos metálicos. | |
| Horno de solera abierta. | Metales refractarios, ferroaleaciones especiales. | Óxidos metálicos. | |
| Baiyin. | Cobre. | Concentrados. | |
| Horno eléctrico de arco. | Ferroaleaciones. | Concentrados, mineral. | |
| Horno continuo de conversión (CONTOP)/ ciclón. | Cobre. | Concentrados. | |
| Horno eléctrico de arco sumergido. | Metales preciosos, cobre, ferroaleaciones. | Escoria, materias primas secundarias, concentrados. | En la producción de ferroaleaciones se utilizan modelos abiertos, cerrados y semicerrados. |
| Horno rotativo. | Aluminio, plomo, cobre, metales preciosos. | Chatarra y otros materiales secundarios, cobre negro. | Oxidación y reacción con el sustrato. |
| Horno rotativo basculante. | Aluminio. | Chatarra y otros materiales secundarios. | Minimiza el uso de sales fundentes. |
| Horno de reverbero. | Aluminio, cobre y otros. | Chatarra y otros materiales secundarios, cobre negro. | Fundición de concentrados de cobre en todo el mundo. |
| Vanyucov. | Cobre. | Concentrados. | |
| Horno de fusión de ISA/Ausmelt. | Cobre, plomo. | Intermedios, concentrados y materiales secundarios. | |
| QSL. | Plomo. | Concentrados y materiales secundarios. | |
| Kivcet. | Plomo, cobre. | Concentrados y materiales secundarios. | |
| Noranda. | Cobre. | Concentrados. | |
| El Teniente. | Cobre. | Concentrados. | |
| TBRC TROF | Cobre (TBRC), metales preciosos. | Casi todo el material secundario, incluidas las colas mineras finas. | |
| Minihorno de fusión. | Cobre/plomo/estaño. | Chatarra. | |
| Alto horno y horno de fusión imperial (ISF). | Plomo, plomo/zinc, cobre, metales preciosos, ferromanganeseo alto en carbono. | Concentrados, casi todos los materiales secundarios. | En la producción de ferromanganeseo, sólo se utiliza con recuperación de energía. |
| Horno flash de Inco. | Cobre, níquel. | Concentrados. | |
| Horno de fusión flash de Outokumpu. | Cobre, níquel. | Concentrados. | |
| Proceso Mitsubishi. | Cobre. | Concentrados y chatarra anódica. | |
| Peirce Smith. | Cobre (convertidor), ferroaleaciones, producción de óxidos metálicos. | Matas y chatarra anódica. | |
| Hoboken. | Cobre (convertidor). | Matas y chatarra anódica. | |
| Convertidor flash de Outokumpu. | Cobre (convertidor). | Matas. | |
| Convertidor Noranda. | Cobre (convertidor). | Matas. | |
| Convertidor Mitsubishi. | Cobre (convertidor). | Matas. | |

Hornos de fusión y refino.

| Horno | Metales a que se aplica | Material utilizado | Comentario |
|--|-----------------------------------|--|--|
| De inducción. | La mayoría. | Metal limpio y chatarra. | La agitación inducida favorece la aleación. Con algunos metales puede aplicarse vacío. |
| De haz electrónico. | Metales refractarios. | Metal limpio y chatarra. | |
| Rotativo. | Aluminio, plomo. | Varias clases de chatarra. | Fundentes y sales utilizados para matrices complejas. |
| De reverbero. | Aluminio (primario y secundario). | Varias clases de chatarra. | La configuración del baño o de la solera puede variar. Fundición o retención. |
| Contimelt. | Cobre. | Ánodo de cobre, chatarra limpia y cobre negro. | Sistema de horno integrado. |
| De cuba. | Cobre. | Cátodo de cobre y chatarra limpia. | Condiciones de reducción. |
| De tambor (Thomas). | Cobre. | Chatarra de cobre. | Fundición, refinado a fuego. |
| Crisoles calentados (calderas indirectas). | Plomo, zinc. | Chatarra limpia. | Fundición, refinado, aleación. |
| Crisoles directos. | Metales preciosos. | Metal limpio. | Fundición, aleación. |

Hornos de fundición.

También se utilizan procesos hidrometalúrgicos. Para disolver el contenido metálico de diversos minerales y concentrados antes del proceso de refinado y electroextracción, se utilizan ácidos y álcalis (NaOH , a veces también Na_2CO_3). El material que se lixivia suele ser un óxido, ya sea mineral o producido por tostación. La lixiviación directa de algunos concentrados o matas también se realiza a presión elevada y a presión atmosférica. Algunas menas de sulfuros de cobre pueden lixiviararse con ácido sulfúrico o por otros medios, utilizándose a veces bacterias naturales para favorecer su oxidación y disolución, aunque con tiempos de residencia muy prolongados.

Para crear las condiciones apropiadas para la disolución, puede añadirse aire, oxígeno, cloro o soluciones de cloruro férreo a los sistemas de lixiviación. Las soluciones que se obtienen se someten a diversos tratamientos para refinar y extraer los metales. Es práctica común devolver las soluciones agotadas a la fase de lixiviación, según corresponda, para conservar los ácidos y las soluciones alcalinas.

4. Emisiones y consumos

Las materias primas también influyen en el consumo de energía, en la cantidad de residuos que se producen y en las cantidades que se utilizan de otros materiales. Un ejemplo es la eliminación de impurezas, como el hierro, en forma de escoria. La producción de escoria y el consumo de energía van en función de la cantidad de impurezas presentes.

Las emisiones al medio ambiente dependen de los sistemas de recogida o eliminación que se aplican. En la tabla siguiente se resumen las gamas de valores registradas en varios procesos de eliminación:

| Técnica de eliminación | Emisiones registradas | | | Emisión específica (cantidad por Tm de metal producida) |
|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| | Componente | Mínima | Máxima | |
| Filtro textil, precipitador electrostático de alta temperatura, y ciclón. | Polvo (metales según composición) | < 1 mg/Nm ³ | 100 mg/Nm ³ | 100-6.000 g/Tm |
| Filtro de carbono. | C total | < 20 mg/Nm ³ | | |
| Posquemador (con enfriamiento súbito para las dioxinas). | C total | < 2 mg/Nm ³ | 100 mg/Nm ³ | 10-80 g/Tm |
| | Dioxinas (TEQ) | < 0,1 ng/Nm ³ | 5 ng/Nm ³ | 5-10 µg/Tm |
| | PAH (EPA) | < 1 µg/Nm ³ | 2500 µg/Nm ³ | |
| | HCN | < 0,1 mg/Nm ³ | 10 mg/Nm ³ | |
| Depurador de proceso húmedo o semiseco. | SO ₂ | < 50 mg/Nm ³ | 250 mg/Nm ³ | 500-3.000 g/Tm |
| | Hidrocarburos | <10 mgC/Nm ³ | 200 mgC/Nm ³ | |
| | Cloro | < 2 mg/Nm ³ | | |
| Depurador de alúmina. | Polvo | < 1 mg/Nm ³ | 20 mg/Nm ³ | |
| | Hidrocarburos | < 1 mgC/Nm ³ | 50 mgC/Nm ³ | |
| | PAH (EPA) | < 20 µg/Nm ³ | 2000 µg/Nm ³ | |
| Recuperación de cloro. | Cloro | < 5 mg/Nm ³ | | |
| Combustión optimizada, quemador bajo en emisiones de NO _x . | NO _x | 10 mg/Nm ³ | 500 mg/Nm ³ | |
| Depurador oxidante. | NO _x | < 100 mg/Nm ³ | | |
| Planta de ácido sulfúrico como transformación de SO ₂ . | Contacto doble | 99,3% | 99,7% | 1-16 kg/Tm |
| | Contacto único | 95 | 99,1% | |
| Enfriador, precipitador electrostático, adsorción de cal o carbono y filtro textil. | PAH (EPA) | 0,1 mg/Nm ³ | 6 mg/Nm ³ | |
| | Hidrocarburos | 20 mgC/Nm ³ | 200 mgC/Nm ³ | |

Gama de emisiones registradas.

Los gases de proceso se capturan y se depuran por medio de filtros textiles para reducir las emisiones de polvo y compuestos metálicos, como los del plomo. Los modernos tejidos que se emplean en estos filtros ofrecen notables mejoras de rendimiento, fiabilidad y duración. Para eliminar las dioxinas y los COV, se utilizan posquemadores y sistemas de absorción de carbono.

Sin embargo, hay emisiones fugitivas o gases que no se capturan y que no pasan por ningún tratamiento. Las operaciones de almacenamiento, manipulación y pretratamiento de las materias primas, tanto en la producción primaria como en la secundaria, son fuentes de emisiones de polvo fugitivas que pueden ser más importantes que las emisiones que se capturan y se eliminan. La prevención de estas emisiones pasa por el adecuado diseño de las instalaciones y la existencia de sistemas específicos de captura y tratamiento.

La siguiente tabla demuestra la importancia de las emisiones fugitivas o no capturadas:

| | Emisión de polvo en kg/año | |
|--|--|--|
| | Antes del proceso secundario adicional de recogida de gases (1992) | Después del proceso secundario adicional de recogida de gases (1996) |
| | | |

| | | |
|---|---------|---------|
| Producción anódica en toneladas anuales | 220.000 | 325.000 |
| Emisiones fugitivas | | |
| En todo el horno | 66.490 | 32.200 |
| Techo del horno | 56.160 | 17.020 |
| Emisiones de la chimenea del horno | | |
| Horno/planta de ácido | 7.990 | 7.600 |
| Chimenea: campanas secundarias | 2.547 | 2.116 |

Comparación entre cargas de polvo eliminado y fugitivo en un horno de fusión de cobre primario.

Los sistemas de agua de proceso y refrigeración son estancos en muchos procesos, pero con ello no se eliminan totalmente los vertidos de metales pesados al medio acuático. En el capítulo 2 se describen métodos para reducir el consumo de agua y la producción de aguas residuales y para tratar las aguas del proceso.

Otro factor importante en este sector es la producción de residuos, pero la práctica habitual es utilizarlos en la propia fábrica o en otras instalaciones con el fin de recuperar los metales que contienen. Gran parte de la escoria que se produce es inerte, no lixivable, y se utiliza en muchas obras de ingeniería civil. Otras escorias, como las salinas, pueden tratarse para recuperar otros componentes que pueden tener aplicación en otras industrias, pero es necesario asegurarse de que estos procesos de recuperación sean respetuosos al máximo con el medio ambiente.

5. Principales conclusiones relativas a las MTD

Gracias al intercambio de información que ha servido de base a la preparación del documento de referencia ha sido posible extraer algunas conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles para la producción de metales no ferreos y los procesos conexos. Cada capítulo comprende una sección dedicada a la descripción de estas técnicas, cuyas principales conclusiones se resumen a continuación.

• Procesos anteriores

La gestión y supervisión del proceso y el control de los sistemas de fabricación y reducción de emisiones son factores muy importantes para evitar la contaminación del medio ambiente, así como las buenas prácticas de formación y la instrucción y motivación de los operarios. Para prevenir las emisiones fugitivas es necesario utilizar técnicas adecuadas en la manipulación de las materias primas. Otras técnicas importantes son:

- Considerar las implicaciones medioambientales de un nuevo proceso o materia prima en las primeras fases del proyecto, con revisiones periódicas posteriores.
- Diseñar el proceso de la forma adecuada para las materias primas que se pretende utilizar. Por ejemplo, pueden surgir graves problemas si los materiales generan volúmenes de gas demasiado grandes o requieren un consumo de energía mayor del inicialmente previsto. La fase de diseño es el momento más adecuado para introducir mejoras de carácter medioambiental con el mínimo coste y la máxima eficacia.
- Llevar un registro de control del proceso de diseño y decisión que refleje cómo se han valorado los diversos procesos y opciones de reducción de emisiones.
- Planificación de los procedimientos de puesta en marcha de una planta nueva o modificada.

En la tabla siguiente se resumen las técnicas de almacenamiento y manipulación de materias primas en función del tipo y características del material..

| Materia prima | Grupo de metales | Sistema de manipulación | Sistema de almacenamiento | Comentarios |
|---------------|---------------------------|---|---------------------------|--|
| Concentrados: | Todos: si se forma polvo. | Transportadores cerrados o sistema neumático. | Edificio cerrado. | Prevención de la contaminación de las aguas. |

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| | Todos: si no se forma polvo. | Transportadores cubiertos. | Almacén a cubierto. | |
| Material de grano fino (p. ej., pulvimetral): | Metales refractarios. | Transportadores cerrados o sistema neumático. Transportadores cubiertos. | Tolvas y tambores cerrados. | Prevención de la contaminación de las aguas y de las emisiones atmosféricas fugitivas. |
| Materias primas secundarias: | Todos: gran tamaño. | Pala mecánica. | Al aire libre. | Prevención de la contaminación de las aguas o de las reacciones con el agua. Drenaje del aceite del barro de amolado. |
| | Todos: pequeño tamaño. | Cangilones de carga. | Dársenas a cubierto. | |
| | Todos: material fino. | Cerrado o aglomerado. | Cerrado si se forma polvo. | |
| Fundentes: | Todos: si se forma polvo. | Transportadores cerrados o sistema neumático. | Edificio cerrado. | Prevención de la contaminación de las aguas. |
| | Todos: si no se forma polvo. | Transportadores cubiertos. | Almacén a cubierto. | |
| Combustible sólido y coque: | Todos | Transportadores cubiertos, si no se forma polvo. | Almacén a cubierto, si no se forma polvo. | |
| Combustibles líquidos y GPL: | Todos | Tubería elevada. | Almacén certificado. | Antisifonaje de las tuberías de distribución. |
| Gases de proceso: | Todos | Tubería elevada. Tubería de presión reducida (cloro, CO). | Almacén certificado. | Control de pérdidas de presión. Alarmas de gases tóxicos. |
| Disolventes. | Cu, Ni, Zn, metales preciosos, carbono. | Tubería elevada. Manual. | Tambores, tanques. | Antisifonaje de las tuberías de distribución. |
| Productos: cátodos, redondos, palanquillas, lingotes, tortas, etc. | Todos | Según las condiciones. | Solar de hormigón al aire libre o almacén a cubierto. | Sistema de drenaje adecuado. |
| Residuos del proceso para recuperar. | Todos | Según las condiciones. | Al aire libre, a cubierto o cerrado, según la formación de polvo y la reacción con el agua. | Sistema de drenaje adecuado. |
| Residuos para eliminar. (p.ej. revestimientos de hornos). | Todos | Según las condiciones. | Dársenas al aire libre, a cubierto o cerradas, o tambores estancos, según el material. | Sistema de drenaje adecuado. |

Resumen de materias primas y técnicas de manipulación.

Se ha establecido que el diseño del horno, la aplicación de métodos de pretratamiento adecuados y el control del proceso son características importantes de las MTD.

El proceso se optimiza mezclando las materias primas, ya que se evita el uso de material inadecuado y se consigue la máxima eficiencia. Elementos importantes de esta técnica son el muestreo y análisis de los materiales de alimentación y la segregación de algunos de ellos.

El buen diseño, mantenimiento y supervisión de la instalación es importante para el proceso en todas sus fases, incluida la reducción de emisiones. En el muestreo y vigilancia de las emisiones al medio ambiente deben cumplirse los procedimientos estándar nacionales e internacionales. También hay que controlar los parámetros que puedan ser importantes para controlar el proceso o reducir emisiones, y ello de forma permanente siempre que resulte práctico.

- **Control del proceso**

Se consideran MTD las técnicas de control del proceso que tienen por objeto medir y mantener óptimos parámetros cruciales como la temperatura, la presión, los componentes de los gases, etc.

Para controlar las condiciones de la planta es preciso realizar muestreos y análisis de las materias primas. Mezclando correctamente distintos materiales de alimentación se consigue la máxima eficiencia de conversión y se reducen las emisiones y los rechazos.

El uso de sistemas de pesaje y dosificación de materias primas, así como la incorporación de microprocesadores para controlar la velocidad de alimentación, las condiciones críticas de proceso y combustión y las adiciones de gas permiten optimizar el proceso. Para ello pueden medirse varios parámetros e instalar alarmas para los más críticos, entre los que cabe citar los siguientes:

- Observación en línea de la temperatura, la presión (o falta de presión) del horno y el volumen o caudal de gases.
- Observación de los componentes gaseosos (O_2 , SO_2 , CO, polvo, NO_x , etc.).
- Observación en línea de las vibraciones, para detectar bloqueos y posibles averías de los equipos.
- Observación en línea de la tensión e intensidad de los procesos electrolíticos.
- Observación en línea de las emisiones para controlar parámetros críticos del proceso.
- Observación y control de la temperatura de los hornos de fundición para evitar la producción de vapores metálicos y vapores de óxidos metálicos por sobrecalentamiento.

Debe existir un programa de formación y evaluación continua para operarios, ingenieros y demás personal en relación con la puesta en práctica de las instrucciones de uso, la aplicación de las modernas técnicas de control y la importancia de las alarmas y el procedimiento a seguir en caso de alarma.

Los niveles de supervisión deben optimizarse para aprovechar todo lo anterior y mantener la responsabilidad del operario.

- **Recogida y eliminación de gases**

Los sistemas de recogida de humos deben sacar partido de los sistemas de estanquización de los hornos o reactores y estar diseñados para mantener una presión reducida que evite fugas y emisiones fugitivas. Deben utilizarse sistemas que mantengan la estanquedad de los hornos o el despliegue de las campanas. Algunos ejemplos son la adición de materiales por medio de electrodos o por medio de toberas o lanzas y la incorporación de sólidas válvulas rotativas en los sistemas de alimentación. Los sistemas secundarios de recogida de humos son caros y consumen gran cantidad de energía, pero son necesarios en algunos hornos. El sistema utilizado debe ser inteligente, capaz de guiar la extracción en función del origen y duración de los humos.

En general, los filtros textiles (situados después de los sistemas de recuperación de calor o refrigeración de gases) son los mejores para eliminar el polvo y los metales que forman parte del mismo, a condición de que se utilicen los modernos tejidos resistentes al desgaste, que las partículas sean adecuadas y que se disponga de un sistema de vigilancia permanente para detectar posibles fallos. Los tejidos avanzados que se utilizan para fabricar los filtros modernos (por ejemplo, los filtros de membrana) ofrecen mejoras notables de rendimiento, fiabilidad y duración y, por lo tanto, permiten reducir costes a medio plazo. Se pueden instalar en las fábricas ya existentes durante el programa de mantenimiento normal. Disponen de sistemas de detección de rotura de las mangas y de limpieza en línea.

Si el polvo es adherente o abrasivo, los depuradores o precipitadores electrostáticos de proceso húmedo pueden ser eficaces, siempre que estén correctamente diseñados para la aplicación.

El tratamiento de los gases en el proceso de fundición o incineración debe incluir una fase de eliminación de dióxido de azufre o poscombustión, si se considera necesario para evitar la pérdida de calidad del aire local o regional o a larga distancia, o si hay presencia de dioxinas.

Puede haber variaciones en las materias primas que influyan en la gama de componentes o en las características físicas de algunos de ellos, como pueden ser el tamaño y las propiedades del polvo generado. En este sentido, la valoración debe ser local.

- **Prevención y destrucción de las dioxinas**

En muchos de los procesos pirometalúrgicos que se utilizan para producir metales no férreos, es necesario tener en cuenta la presencia o formación de dioxinas. En los capítulos dedicados a los distintos metales, se describen casos particulares en los que se aplican las siguientes técnicas de prevención y destrucción de dioxinas, que deben considerarse MTD y que pueden aplicarse de forma combinada. Algunos metales no férreos catalizan la síntesis “de novo”, por lo que a veces es necesario depurar el gas antes de proceder a su eliminación.

- Control de calidad del material de alimentación en función del horno o proceso que se utilice. Selección y clasificación de los materiales para evitar la presencia de materia orgánica o precursores y reducir así las posibilidades de que se formen dioxinas.
- Posquemadores de diseño y funcionamiento adecuados y enfriamiento rápido de los gases calientes a menos de 250°C.
- Condiciones óptimas de combustión, inyectando oxígeno por la parte superior del horno si es necesario para asegurar la combustión completa de los gases.
- Absorción con carbono activado en un reactor de lecho fijo o móvil o por inyección en el flujo de gas, y eliminación en forma de polvo filtrado.
- Sistema eficiente de eliminación del polvo, por ejemplo a través de filtros cerámicos, filtros textiles o del tren de depuración de gases previo a la planta de ácido sulfúrico.
- Fase de oxidación catalítica o filtros textiles con revestimiento catalítico.
- Tratamiento del polvo recogido en hornos de alta temperatura para destruir las dioxinas y recuperar metales.

Las concentraciones de las emisiones asociadas a la aplicación de las técnicas anteriores oscilan entre menos de 0,1 y 0,5 ng/Nm³ de TEQ, en función del material de alimentación, del proceso de fusión o fundición y de las técnicas utilizadas para eliminar las dioxinas.

- **Procesos metalúrgicos**

Las materias primas disponibles para las distintas instalaciones son muy diversas, lo que significa que en los apartados dedicados a las MTD para la producción de la mayoría de los grupos de metales hay que considerar una gran variedad de procesos metalúrgicos. En muchos casos, la elección del proceso depende de las materias primas, por lo que el tipo de horno afecta escasamente a las MTD, siempre que haya sido diseñado para las materias primas utilizadas y que disponga de un sistema de recuperación de energía.

Hay excepciones. Por ejemplo, la técnica de alimentación de alúmina por varios puntos a cubas de precocción centralizada fue una de las señaladas como MTD en la producción de aluminio primario, al igual que el uso de hornos estancos en la producción de algunas ferroaleaciones para recoger gases de alto valor calorífico. El horno de reverbero no se considera MTD en la fabricación de cobre primario. Otros factores importantes son la mezcla de las materias primas, el control del proceso, la gestión y la recogida de humos. A la hora de elegir un proceso nuevo o modificado, se ha establecido la siguiente jerarquía:

- Aplicar un pretratamiento térmico o mecánico a los materiales secundarios para minimizar la contaminación orgánica del material de alimentación.
- Utilizar hornos estancos u otras unidades de proceso para prevenir las emisiones fugitivas, recuperar calor y recoger los gases de proceso para otros usos (por ejemplo, el CO como combustible y el SO₂ como ácido sulfúrico) o para eliminarlos.
- Utilizar hornos semiestancos si no se dispone de hornos estancos.
- Evitar al máximo las transferencias de materiales entre procesos.
- Si es inevitable realizar tales transferencias, es preferible utilizar regueras en lugar de cucharas.
- En algunos casos, limitarse a utilizar técnicas que eviten las transferencias de material fundido puede impedir la recuperación de algunos materiales secundarios que entrarían en el flujo de residuos. En estos casos, conviene utilizar sistemas secundarios o terciarios de recogida de humos que permitan recuperar estos materiales.
- Diseñar campanas y canalizaciones para captar los humos que producen las operaciones de transferencia y sangrado del caldo, las matas o la escoria.
- Puede ser necesario encerrar los hornos o reactores para evitar la emisión de humos a la atmósfera.
- Si se considera que las técnicas de extracción primaria o cerramiento no van a ser eficaces, entonces se puede cerrar el horno por completo y utilizar ventiladores para extraer el aire a un sistema adecuado de tratamiento y descarga.
- Aprovechar al máximo el contenido de energía de los concentrados sulfurosos.

- **Emisiones atmosféricas**

Las emisiones atmosféricas se originan en las fases de almacenamiento, manipulación, pretratamiento y pirometalurgia e hidrometalurgia. La transferencia de materiales tiene especial importancia. Los datos obtenidos confirman que las emisiones fugitivas son de gran magnitud en muchos procesos y que pueden ser mucho mayores que las emisiones que se capturan y se eliminan. En estos casos, es posible reducir el impacto ambiental ateniéndose a la jerarquía de las técnicas de recogida de gases en las fases de almacenamiento y manipulación, en los hornos o reactores y en los puntos de transferencia de materiales. Hay que tener en cuenta las emisiones fugitivas potenciales en todas las fases de diseño y desarrollo del proceso. La jerarquía que debe aplicarse es la siguiente:

- Optimización del proceso y minimización de las emisiones.
- Hornos y reactores estancos.
- Recogida de humos selectiva.

Las técnicas de recogida de humos desde el techo consumen mucha energía y deben utilizarse como último recurso.

En la tabla siguiente se resumen las fuentes potenciales de emisiones atmosféricas y se indican métodos de prevención y tratamiento. Los datos de las emisiones atmosféricas están basados en emisiones recogidas. Los datos de las emisiones asociadas están expresados en promedios diarios y se han obtenido por observación permanente durante el período de explotación. Si no es posible mantener una observación permanente, el valor será el promedio del período de muestreo. Se aplican condiciones estándar: 273 °K, 101,3 kPa, contenido de oxígeno medido y gases secos sin dilución.

La captura del azufre es un requisito importante en los procesos de tostación o fundición de minerales o concentrados sulfurosos. El dióxido de azufre que producen estos procesos se recoge y puede recuperarse tal cual o bien en forma de azufre o yeso (si no causa efectos cruzados), o puede transformarse en ácido sulfúrico. A la hora de elegir el proceso, es necesario saber si existen mercados locales para el dióxido de azufre. Se considera MTD la producción de ácido sulfúrico en una planta de doble contacto con un mínimo de cuatro pasadas o en una planta de contacto único con producción de yeso a partir de los gases de cola y disponiendo de

un catalizador moderno. La configuración de la planta dependerá de la concentración del dióxido de azufre que produzca el proceso de tostación o fundición.

| Fase del proceso | Componente de los gases de escape | Método de tratamiento |
|---|--|--|
| Manipulación y almacenamiento de los materiales. | Polvo y metales. | Correcta realización de las operaciones de almacenamiento, manipulación y transferencia. Si es necesario, utilización de sistemas de recogida de polvo y filtros textiles. |
| Trituración, secado. | Polvo y metales. | Funcionamiento del proceso. Recogida de gases y filtro textil. |
| Sinterización/tostación. Fusión. Conversión. Refinado a fuego. | COV, dioxinas. | Posquemador, adsorbente o adición de carbono activado. |
| | Polvo y compuestos metálicos. | Recogida de gases y filtro textil, recuperación de calor. |
| | Monóxido de carbono. | Posquemador, si es necesario. |
| | Dióxido de azufre. | Planta de ácido sulfúrico (para mineral sulfuroso) o depurador. |
| Tratamiento de escoria. | Polvo y metales. | Recogida de gases, enfriamiento y filtro textil. |
| | Dióxido de azufre. | Depurador. |
| | Monóxido de carbono. | Posquemador. |
| Lixiviación y refinado químico. | Cloro. | Recogida y reutilización de gases, depurador químico de proceso húmedo. |
| Refinado de carbonilo. | Monóxido de carbono. Hidrógeno. | Proceso estanco, recuperación y reutilización. Posquemador y filtro textil para eliminar el polvo del gas de cola. |
| Extracción por disolventes. | COV (depende del disolvente utilizado, que debe determinarse localmente para evaluar su posible riesgo). | Contención, recogida de gases, recuperación del disolvente. Adsorción por carbono si es necesario. |
| Refinado térmico. | Polvo y metales. | Recogida de gases y filtro textil. |
| | Dióxido de azufre. | Depurador, si es necesario. |
| Electrólisis de las sales fundidas. | Fluoruro, cloro, PFC. | Funcionamiento del proceso. Recogida de gases, depurador (alúmina) y filtro textil. |
| Cocción electródica, grafitización. | Polvo, metales, SO ₂ , fluoruro, PAH, alquitranes. | Recogida de gases, condensador y precipitador electrostático, posquemador o depurador de alúmina y filtro textil. Depurador para SO ₂ si es necesario. |
| Producción de pulvimetales. | Polvo y metales. | Recogida de gases y filtro textil. |
| Producción de pulverizados. | Polvo, amoníaco. | Recogida y recuperación de gases. Depurador con medio ácido. |
| Reducción a altas temperaturas. | Hidrógeno. | Proceso estanco, reutilización. |
| Electroextracción. | Cloro. Niebla ácida. | Recogida y reutilización de gases. Depurador de proceso húmedo. Antiniebla. |
| Fundición y moldeo. | Polvo y metales. | Recogida de gases y filtro textil. |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| | COV, dioxinas (material de alimentación orgánico). | Posquemador (inyección de carbono). |
| Nota. La supresión del polvo por medio de un filtro textil puede hacer necesaria la eliminación de las partículas calientes para evitar incendios. Los precipitadores electrostáticos de alta temperatura se utilizarían en un sistema purificador previo a una planta de ácido sulfúrico o como sistema de depuración de gases húmedos. | | |

Resumen de fuentes de emisión y opciones de tratamiento o reducción.

En la tabla siguiente se resumen los niveles de emisión asociados a los sistemas de eliminación que se consideran MTD en los procesos de metalurgia no férrea. Más información en las conclusiones de los capítulos específicos de cada grupo de metales.

| Técnica de eliminación | Gama asociada | Comentario |
|--|--|---|
| Filtro textil. | Polvo: 1-5 mg/Nm ³ . Metales: depende de la composición del polvo. | Depende de las características del polvo. |
| Carbono o biofiltro. | C orgánico total < 20 mg/Nm ³ | Fenol < 0,1 mg/Nm ³ |
| Posquemador (con enfriamiento súbito para eliminar las dioxinas). | C orgánico total < 5-15 mg/Nm ³ . Dioxinas < 0,1-0,5 ng/Nm ³ TEQ. PAH (OSPAR 11) < 200 µgC/Nm ³ . HCN < 2 mg/Nm ³ . | Diseñado para volumen de gas. Otras técnicas disponibles para reducir dioxinas mediante inyección de carbono o cal, o reactores o filtros catalíticos. |
| Condiciones de combustión optimizadas. | C orgánico total < 5-50 mg/Nm ³ | |
| Precipitador electrostático de proceso húmedo. Filtro cerámico. | Polvo < 5 mg/Nm ³ . | Depende de las características, como el polvo, la humedad o la alta temperatura. |
| Depurador alcalino de proceso húmedo o semiseco. | SO ₂ < 50-200 mg/Nm ³ . Alquitrán < 10 mg/Nm ³ . Cloro < 2 mg/Nm ³ . | |
| Depurador de alúmina. | Polvo: 1-5 mg/Nm ³ . Hidrocarburos < 2 mg/Nm ³ . PAH (OSPAR 11) < 200 µgC/Nm ³ . | |
| Recuperación de cloro. | Cloro < 5 mg/Nm ³ . | El cloro se reutiliza. Posibles emisiones fugitivas accidentales. |
| Depurador oxidante. | NO _x < 100 mg/Nm ³ . | Por el uso de ácido nítrico: recuperación seguida por eliminación de los rastros. |
| Quemador bajo en emisiones de NO _x . | < 100 mg/Nm ³ . | Los valores más altos se asocian al enriquecimiento con oxígeno para reducir el consumo de energía. En estos casos se reduce el volumen de gas y las emisiones masivas. |
| Quemador de oxicombustible. | < 100-300 mg/Nm ³ | |
| Planta de ácido sulfúrico. | > 99,7% de conversión (doble contacto) > 99,1% de conversión (contacto único) | Con depurador mercúrico de proceso Boliden/Norzink o depurador tiosulfáttico, Hg < 1 ppm en el ácido producido. |
| Enfriador, precipitador electrostático, adsorción por cal o carbono y filtro textil. | PAH (OSPAR 11) < 200 µgC/Nm ³ Hidrocarburos (volátiles) < 20 mgC/Nm ³ . Hidrocarburos (condensados) < 2 mgC/Nm ³ . | |

Nota. Sólo emisiones recogidas. Las emisiones asociadas están expresadas en promedios diarios y se han obtenido por observación permanente durante el período de explotación, en condiciones estándar de 273 °K, 101,3 kPa, contenido de oxígeno medido y gas seco sin dilución de gases con aire. En los casos en que la observación permanente no resulte viable, el valor será el promedio del período de muestreo. Con respecto al sistema de reducción de emisiones, se tendrán en cuenta las características del gas y del polvo en el diseño del sistema y se utilizará la temperatura de trabajo correcta. Las variaciones de concentración de algunos componentes en el gas bruto durante los procesos por lotes pueden afectar al rendimiento del sistema.

Emisiones atmosféricas asociadas a la aplicación de las MTD.

En el tratamiento químico de las soluciones de metales o en los diversos procesos metalúrgicos se utilizan varios reactivos específicos. A continuación se indican algunos de los compuestos, fuentes y métodos de tratamiento de gases que se derivan del uso de dichos reactivos.

| Proceso / reactivo utilizado | Componente en los gases de escape | Método de tratamiento |
|---|---|---|
| Óxido de arsénico o antimonio (refino de Zn/Pb). | Arsina/estibina. | Depuración con permanganato. |
| Brea, etc. | Alquitranes y PAH. | Posquemador, condensador y precipitador electrostático o sistema de absorción por vía seca. |
| Disolventes, COV. | COV, olor. | Contención, condensación. Carbono activado, biofiltro. |
| Ácido sulfúrico (+ azufre en el combustible o materia prima). | Dióxido de azufre. | Depurador de proceso húmedo o semiseco. Planta de ácido sulfúrico. |
| Agua regia. | NOCl, NO _x . | Depurador cáustico. |
| Cloro, HCl. | Cl ₂ . | Depurador cáustico. |
| Ácido nítrico. | NO _x | Oxidación y absorción, reciclado, sistema depurador. |
| Na o KCN. | HCN. | Oxidación con hipoclorito o peróxido de hidrógeno. |
| Amoniaco. | NH ₃ . | Recuperación, sistema depurador. |
| Cloruro de amonio. | Aerosol. | Recuperación por sublimación, sistema depurador. |
| Hidracina. | N ₂ H ₄ (posible cancerígeno). | Depurador o carbono activado. |
| Borohidruro de sodio. | Hidrógeno (peligro de explosión). | Evitar en lo posible en la fabricación de PGM (especialmente Os, Ru). |
| Ácido fórmico. | Formaldehído. | Depurador cáustico. |
| Clorato sódico / HCl. | Óxidos de Cl ₂ (peligro de explosión). | Control del final del proceso. |

Resumen de los métodos de tratamiento químico para algunos componentes gaseosos.

- **Emisiones a las aguas**

Existen varias opciones de reducción y tratamiento de este tipo de emisiones en función de la fuente de la que proceden y de sus componentes. En general, las aguas residuales pueden llevar compuestos metálicos solubles e insolubles, aceite y materia orgánica. En la tabla siguiente se resumen los posibles tipos de aguas residuales, el proceso metalúrgico que las causa y los métodos disponibles para su reducción y tratamiento.

| Tipo de aguas residuales | Proceso asociado | Métodos de reducción | Métodos de tratamiento |
|--------------------------|---|--|---|
| Aguas de proceso. | Producción de alúmina, Descomposición de acumuladores de plomo. Decapado. | Retorno al proceso en la medida de lo posible. | Neutralización y precipitación. Electrólisis. |

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|--|
| Aguas de refrigeración indirecta. | Refrigeración del horno con la mayoría de los metales. Refrigeración del electrólito en el caso del zinc. | Sistema de refrigeración de aire o estanco. Vigilancia del sistema para detectar fugas. | Sedimentación. |
| Aguas de refrigeración directa. | Moldeados de aluminio, cobre o zinc. Electrodos de carbono. | Sedimentación. Sistema de refrigeración cerrado. | Sedimentación. Si es necesario, precipitación. |
| Granulado de escoria. | Cobre, níquel, plomo, zinc, metales preciosos, ferroaleaciones. | | Sedimentación. Si es necesario, precipitación. |
| Electrólisis. | Cobre, níquel, zinc. | Sistema estanco. Electroextracción del electrólito sangrado. | Neutralización y precipitación. |
| Hidrometallurgia (purga) | Zinc, cadmio. | Sistema estanco. | Sedimentación. Si es necesario, precipitación. |
| Sistema de reducción (purga). | Depuradores de proceso húmedo. Precipitadores y depuradores de proceso húmedo para plantas de ácido. | Reutilización de los flujos de ácido diluido si es posible.. | Sedimentación. Si es necesario, precipitación. |
| Aguas superficiales. | Todos. | Buen almacenamiento de las materias primas y prevención de las emisiones fugitivas. | Sedimentación. Si es necesario, precipitación. Filtración. |

Resumen de las MTD para reducir los flujos de aguas residuales.

Los sistemas de tratamiento de las aguas residuales pueden eliminar el máximo de metales por sedimentación y posiblemente filtración. Los reactivos utilizados en la precipitación pueden ser hidróxidos, sulfuros o ambos, en función de los metales presentes. También es viable en muchos casos para reutilizar las aguas tratadas.

| | Principales componentes [mg/l] | | | | | |
|---|--------------------------------|-------|---------|--------|--------|-------|
| | Cobre | Plomo | Arsenio | Níquel | Cadmio | Zinc |
| Aguas de proceso | <0,1 | <0,05 | <0,01 | <0,1 | <0,05 | <0,15 |
| Nota: Las emisiones asociadas están basadas en una muestra aleatoria cualificada o en una muestra compuesta de 24 horas. El tipo de tratamiento de las aguas residuales dependerá de su origen y de los metales que contengan. | | | | | | |

Ejemplo de emisiones a las aguas asociadas a la aplicación de las MTD.

• Residuos de proceso

El proceso produce residuos en varias de sus fases, básicamente en función de la composición de las materias primas. Los minerales y concentrados contienen otros metales además del principal. Los procesos están diseñados para obtener el metal principal en estado puro y recuperar también otros metales valiosos.

Estos otros metales tienden a concentrarse en los residuos del proceso, los cuales forman a su vez la materia prima que se utiliza en otros procesos de recuperación de metales. En la tabla siguiente se resumen algunos residuos y posibles opciones de uso.

| Origen de los residuos | Metales asociados | Residuo | Opciones de uso |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|---|
| Materias primas (manipulación, etc.) | Todos los metales. | Polvo, barreduras. | Material de alimentación para el proceso principal. |

| | | | |
|--|---|--|--|
| Horno de fusión. | Todos los metales. | Escoria. | Material de construcción una vez tratada la escoria. Industria de abrasivos. Parte de la escoria puede utilizarse como material refractario, por ejemplo, la procedente de la producción de cromo. |
| | Ferroaleaciones. | Escoria rica. | Materia prima para otros procesos de fabricación de ferroaleaciones. |
| Horno convertidor. | Cobre. | Escoria. | Reciclado en el fundidor. |
| Hornos de refino. | Cobre. | Escoria. | Reciclado en el fundidor. |
| | Plomo. | Espuma. | Recuperación de otros metales valiosos. |
| | Metales preciosos. | Espuma y escoria. | Reciclado interno. |
| Tratamiento de escoria. | Cobre y níquel. | Escoria limpia. | Material de construcción. Matas. |
| Horno de fundición. | Todos los metales. | Espuma. Escoria y escoria salina. | Retorno al proceso después del tratamiento. Recuperación de metales, sales y otros materiales. |
| Electrorrefinado. | Cobre. | Electrólito sangrado. Restos de ánodo. Finos de ánodo. | Recuperación de níquel. Retorno al convertidor. Recuperación de metales preciosos. |
| Electroextracción. | Zinc, níquel, cobalto, metales preciosos. | Electrólito agotado. | Reutilización en el proceso de lixiviación. |
| Electrólisis de sales fundida. | Aluminio. | Revestimiento de crisol agotado. Exceso de caldo. Restos de ánodo. | Carburante o eliminación. Venta como electrólito. Valorización. |
| | Sodio y litio. | Material de acumuladores. | Chatarra férrea tras la limpieza. |
| Destilación. | Mercurio. | Residuos (hollines). | Reutilización como material de alimentación para el proceso. |
| | Zinc, cadmio. | Residuos. | Retorno al proceso. |
| Lixiviación. | Zinc. | Residuos de ferrita. | Eliminación de forma segura, reutilización del licor. |
| | Cobre. | Residuos. | Eliminación de forma segura. |
| | Níquel/cobalto. | Residuos de cobre/hierro. | Valorización, eliminación. |
| Planta de ácido sulfúrico. | | Catalizador. | Regeneración. |
| | | Lodos ácidos. | Eliminación de forma segura. |
| | | Ácido diluido. | Lixiviación, eliminación. |
| Revestimientos de los hornos. | Todos los metales. | Refractarios. | Uso como agente escorificador, eliminación. |
| Molturación, trituración. | Carbono. | Polvo de carbono y grafito. | Uso como materia prima en otros procesos. |
| Decapado. | Cobre, titanio. | Ácido agotado. | Valorización. |
| Sistemas de eliminación por vía seca. | La mayoría: con filtros textiles o precipitadores electrostáticos. | Polvo filtrado. | Retorno al proceso. Recuperación de otros metales. |
| Sistemas de eliminación por vía húmeda. | La mayoría: con depuradores o precipitadores electrostáticos de proceso húmedo. | Lodos filtrados. | Retorno al proceso o recuperación de otros metales (por ejemplo, mercurio). Eliminación. |
| Lodos derivados del tratamiento de aguas residuales. | La mayoría. | Lodos de hidróxidos o sulfuros. | Eliminación de forma segura. Reutilización. |

| | | | |
|------------|----------|--------------|---|
| Digestión. | Alúmina. | Lodos rojos. | Eliminación de forma segura, reutilización del licor. |
|------------|----------|--------------|---|

Resumen de residuos y posibles opciones de uso.

El polvo filtrado puede reciclarse en la misma planta o utilizarse para recuperar otros metales en otras instalaciones de producción metalúrgica no ferrea, ya sea por una tercera parte o para otras aplicaciones.

Los residuos y escorias pueden tratarse para recuperar metales valiosos y hacerlos adecuados para otros usos, por ejemplo, como material de construcción. Algunos componentes pueden convertirse en materiales vendibles.

Los residuos generados por el tratamiento de las aguas pueden contener metales valiosos que en algunos casos pueden reciclarse.

Las autoridades competentes y los titulares de las explotaciones deben asegurarse de que la valorización de residuos por una tercera parte se realice de forma respetuosa con el medio ambiente y no produzca efectos cruzados.

- **Compuestos tóxicos**

La toxicidad específica de algunos de los compuestos que pueden emitirse (y su impacto o consecuencias en el medio ambiente) varía de un grupo a otro. Algunos metales pueden emitirse en forma de compuestos tóxicos cuya reducción es obligada.

- **Recuperación de energía**

En la mayoría de los casos es posible recuperar energía antes o después del sistema de reducción de emisiones, pero ello depende en buena medida de las circunstancias concretas de la instalación; por ejemplo, puede ser que no exista una salida para la energía recuperada. Las conclusiones relativas a las MTD para recuperar energía son las siguientes:

- Producir vapor y electricidad con el calor de las calderas de recuperación.
- Aprovechar el calor de reacción para fundir o tostar concentrados o fundir chatarra metálica en un concentrador.
- Aprovechar los gases calientes del proceso para secar los materiales de alimentación.
- Prealentar de la carga de un horno aprovechando la energía de los gases del horno o los gases calientes de otra fuente.
- Utilizar quemadores recuperativos o prealentamiento del aire de combustión.
- Aprovechar el CO producido como combustible gaseoso.
- Calentar los licores del lixiviado con los licores o gases calientes del proceso.
- Utilizar el plástico que contienen algunas materias primas como combustible, siempre que no sea posible recuperar plástico de buena calidad y que no se produzcan emisiones de COV y dioxinas.
- Utilizar materiales refractarios de poca masa cuando sea viable.

6. Grado de consenso y recomendaciones para futuros trabajos

El presente documento de referencia ha obtenido el respaldo mayoritario del grupo de trabajo técnico y de los participantes en la séptima reunión del foro de intercambio de información. Las críticas se han referido principalmente a ciertas carencias de información y a algunos aspectos de presentación (se ha solicitado que se incluyan más datos sobre niveles de emisión y consumo asociados a las MTD en el resumen general).

Se recomienda revisar el presente documento a cuatro años vista. Los principales ámbitos en los que es necesario trabajar con más intensidad para obtener información más sólida son las

emisiones fugitivas y los datos específicos sobre emisiones y consumos, residuos de los procesos, aguas residuales y aspectos relacionados con las pequeñas y medianas empresas. El capítulo 13 contiene recomendaciones adicionales.