

# Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para fundiciones

## Introducción

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión<sup>1</sup>. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre MASS se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre MASS para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las guías generales sobre MASS, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las guías sobre MASS contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario

adecuado para alcanzarlas. La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia. En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre MASS, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

## Aplicabilidad

Las guías sobre MASS para fundiciones incluyen información relevante para los proyectos e instalaciones de fundición de aluminio ferroso (hierro y acero) y no ferroso (principalmente aluminio, cobre, cinc, plomo, estaño, níquel, magnesio y titanio). Los metales no ferrosos se funden en combinación con otros metales no ferrosos o con más de cuarenta elementos para producir una amplia gama de aleaciones no ferrosas. Estas guías se refieren al fundido en arena, incluida la preparación y regeneración de la arena de moldeo y el moldeo por inyección a

<sup>1</sup> Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

presión (alta y baja) de aluminio, cinc y magnesio. Además de estos procesos, el presente documento también describe la tecnología Disamatic (DISA). No hace referencia al procesamiento adicional de los productos semiacabados. Este documento está dividido en las siguientes secciones:

Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria  
Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño  
Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales  
Anexo A: Descripción general de actividades de la industria

## 1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas a las fundiciones que tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Por otra parte, en las guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de los grandes establecimientos industriales durante las etapas de construcción y de desmantelamiento.

### 1.1 Medio ambiente

Las cuestiones ambientales relacionadas con este sector incluyen principalmente:

- Emisiones a la atmósfera
- Residuos sólidos
- Aguas residuales
- Ruido

#### Emisiones a la atmósfera

##### *Polvo y materia particulada*

Las distintas fases de proceso generan polvo y materia particulada con distintos niveles de óxidos minerales, metales (principalmente manganeso y plomo) y óxidos metálicos. Las emisiones de polvo proceden de los procesos térmicos (p. ej. hornos de fundición) y químicos/físicos (p. ej. moldeo y producción de machos) y de acciones mecánicas (p. ej. el manejo de materias primas, principalmente arena, y los procesos de desmolde y acabado).

Las medidas de prevención y control recomendadas para reducir las emisiones fugitivas incluyen:

- Utilizar sistemas de transporte neumático, especialmente para las actividades de transporte y abastecimiento de aditivos en la zona de proceso;
- Usar transportadores con puntos de transferencia con control de polvo, especialmente durante el traslado de arena hasta el taller de fundido;
- Limpiar las cintas de retorno en los sistemas de cintas transportadoras para eliminar el polvo suelto;
- Recurrir a los montones bajo techado o cubiertos o, en caso de ser inevitable el empleo de montones al descubierto, emplear sistemas de pulverización de agua, supresores de polvo, cortavientos y otras técnicas de manejo de montones;
- Utilizar silos cerrados para almacenar grandes cantidades de materiales en polvo;
- Llevar a cabo un mantenimiento rutinario de la planta y buenos servicios para reducir al mínimo las pequeñas fugas y vertidos.

Durante el proceso de fundido, la emisión de materia particulada (MP) en forma de polvo, materiales metálicos y humos de óxido metálico, varía en función del tipo de horno, combustible, metal a fundir y propiedades de fusión. Los hornos de cubilote son los que generan un mayor volumen de materia particulada (p. ej. coque, cenizas volátiles, sílice, óxido y caliza). Los hornos de arco eléctrico (HAE) constituyen otra fuente considerable de MP durante la carga, al iniciarse la fusión, durante la inyección de oxígeno y en la fase de descarburación. Los índices más bajos de emisiones se asocian con otros tipos de hornos de fusión, especialmente los hornos de inducción. Las emisiones de carga durante la fundición de metales oscilan entre valores insignificantes para metales no ferrosos hasta

más de 10 kilogramos por tonelada (kg/ton) para el fundido de hierro en hornos de cubilote<sup>2</sup>.

Las técnicas recomendadas para prevenir la contaminación incluyen:

- Siempre que sea posible, utilizar los hornos de inducción;
- El uso de hornos Martin ha dejado de considerarse una buena práctica para el fundido del acero y por tanto deberá evitarse;
- Evitar el uso de la tecnología tradicional de hornos de cubilote. En caso de emplearse hornos de cubilote, se adoptarán tecnologías avanzadas para incrementar la eficiencia de los hornos en términos energía y reducir la carga de coque, incluidas:
  - Emplear inyecciones de oxígeno o enriquecer el aire forzado
  - Sobrecalentar el aire forzado en cubilotes de tiro caliente
  - Emplear cubilotes sin coque cuando la carga de metal se caliente mediante la combustión de gas natural
- Implementar tecnologías en hornos de fusión que permitan reducir el consumo de energía (p. ej. la instalación de quemadores de gasolina oxigenada, la práctica del soplado de escoria en los HAE o la inyección de oxígeno cuando sea necesario);
- Instalar campanas de extracción de gas en los cubilotes y hornos de arco eléctrico (HAE) y cubrir los extractores en los hornos de inducción para reducir las emisiones fugitivas. Instalar un sistema de extracción en los hornos que faciliten la captura de hasta el 98 por ciento del polvo procedente de los hornos<sup>3</sup>;

- Emplear tecnologías de control del polvo, que suelen consistir en la instalación de bolsas filtrantes y colectores centrífugos para controlar las emisiones generadas durante los procesos de fusión. Pueden utilizarse lavadores húmedos para capturar los componentes hidrosolubles (como son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los cloruros). La adopción de colectores centrífugos como pretratamiento y el uso de bolsas filtrantes suele resultar en niveles de emisiones de 10 mg/Nm<sup>3</sup> o menos<sup>4</sup>.

La gran cantidad de arena empleada en el fundido en moldes no recuperables genera emisiones de polvo durante las distintas fases de moldeo y produce partículas no metálicas, partículas de óxido metálico y hierro metálico. Las partículas no metálicas resultan de los procesos de fundición, desmolde y acabado.

Las técnicas recomendadas para la prevención y el control del material particulado procedente de la fundición y el moldeo incluyen:

- El uso de tecnologías de recogida de polvo en seco (p. ej. bolsas filtrantes y colectores centrífugos) en vez de lavadores húmedos, especialmente en las plantas de preparación de arena verde. Las técnicas en seco facilitan la recogida, transporte y recirculación de polvo en el proceso de mezcla de arena, evitando así la creación de efluentes procedentes de los lavadores húmedos;
- El uso de filtros en los conductos de salida, especialmente en los talleres de fundición y acabado;
- El uso de sistemas de limpieza por aspiración en los talleres de moldeo y fundición;
- Instalar unidades cerradas de extracción de polvo en las áreas de trabajo.

<sup>2</sup> Comisión Europea. 2005. Prevención y control integrados de la contaminación (PCIC). Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (BREF) para Forjas y Fundiciones.

<sup>3</sup> CE BREF (2005).

<sup>4</sup> Ibid.

### *Óxido de nitrógeno*

Las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se producen debido a la alta temperatura de los hornos y la oxidación del nitrógeno. Las guías generales sobre MASS describen las técnicas para prevenir y controlar la generación de NO<sub>x</sub>. La reducción de las emisiones puede llevarse a cabo con medidas primarias de modificación del proceso y técnicas secundarias de reducción de final de proceso. Algunas de las medidas de prevención y control de la contaminación recomendadas consisten en:

- Minimizar el coeficiente de aire / combustible en el proceso de combustión;
- Recurrir a la sobreoxigenación en el proceso de combustión;
- Utilizar quemadores bajos de NO<sub>x</sub> en los hornos de combustión siempre que sea posible;
- Instalar controles secundarios (principalmente en los hornos de cubilote, HAE y hornos rotatorios), como incineradores catalíticos, siempre que sea necesario<sup>5</sup>.

### *Óxido de azufre*

La presencia de óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) en los gases residuales procedentes de los hornos de fusión depende del contenido en azufre del combustible y el coque de proceso. Las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) proceden de los gases residuales de los hornos de cubilote y rotatorios. Otras fuentes de emisiones son los procesos de templado de gas en la fabricación de moldes y en la fabricación de machos con arena aglomerada químicamente y en la fusión del magnesio (Mg).

Los métodos recomendados para prevenir y controlar las emisiones de SO<sub>2</sub> incluyen:

- Elegir materias primas y detritos con bajo contenido en azufre;

- Emplear combustible con bajo contenido en azufre, como el gas natural;
- Instalar sistemas de depuración húmeda de gas antes que sistemas de decapado en seco como parte de los equipos dedicados a la recolección y extracción de polvo.

### *Monóxido de carbono*

Las fuentes más significativas de monóxido de carbono son (CO) los gases procedentes de hornos de cubilote y HAE. La presencia de CO en los gases residuales procedentes de los hornos de cubilote se debe al propio proceso del cubilote. En los HAE, el CO resulta de la oxidación de electrodos de grafito y del carbón procedente del baño de metal durante las fases de fusión y refinado. Asimismo, puede producirse monóxido de carbono al entrar los moldes y machos de arena en contacto con el metal fundido durante las actividades de colada del metal.

Los métodos recomendados para prevenir y controlar las emisiones de CO incluyen:

- Utilizar hornos de inducción;
- Aumentar la eficiencia térmica del proceso (p. ej. la adopción de inyecciones de oxígeno o quemadores de gasolina oxigenada en los hornos de cubilote);
- Adoptar prácticas de soplado de escoria en el proceso de HAE;
- Instalar cámaras de combustión posterior en las unidades de extracción de polvo de cubilote y gases residuales de los HAE;
- Encapsular los conductos de colada de metal con extractores calibrados.

### *Cloruros y fluoruros*

Los cloruros y los fluoruros se dan en pequeñas cantidades en los gases residuales procedentes de los hornos de fusión y

<sup>5</sup> Ibid.

generados a partir de los fundentes. La prevención y el control de las emisiones de cloruros y fluoruros deberían llevarse a cabo como parte de la extracción de polvo en seco y técnicas de depuración en húmeda diseñadas para controlar el material particulado y las emisiones de óxido de azufre.

### *Los compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes peligrosos del aire*

Las emisiones de COV consisten principalmente en disolventes (p. ej. BTEX – benceno, tolueno, benceno de etilo y xilenos) y otras sustancias orgánicas (p. ej. fenoles y formaldehído) y tienen su origen principalmente en el uso de resinas, disolventes orgánicos y revestimientos de base orgánica en el moldeo y la fabricación de machos. Las emisiones de contaminantes peligrosos del aire (HAP) orgánicos pueden producirse también durante la colada, refrigeración y desmoldeo de arena verde y moldeos autofraguantes a partir de la descomposición térmica de compuestos orgánicos (los aditivos carbonosos presentes en los moldes de arena verde y distintos aglutinantes de machos) durante la colada de metal<sup>6</sup>.

Los sistemas de caja fría emplean disolventes orgánicos que pueden generar emisiones de COV durante la producción y el almacenamiento de machos. Las aminas son las principales emisiones y plantean un riesgo potencial dados los bajos umbrales de detección de olor y el valor límite de exposición relativamente bajo. Los sistemas de enlace químico emiten contaminantes potencialmente peligrosos del aire durante el endurecimiento, revestimiento y secado. Entre ellos se cuentan el formaldehído, el metileno difenil diisocianato (MDI), alcohol isopropilo, fenol, aminas (p. ej. trietilamina), metanol, benceno, tolueno, cresol / ácido cresílico, naftaleno y otros compuestos orgánicos policíclicos y compuestos de cianuro.

Las técnicas recomendadas para la prevención y el control de la contaminación para los COV y otras emisiones de contaminantes peligrosos del aire incluyen<sup>7</sup>:

- Minimizar el uso de aglutinantes y resinas mediante la optimización del control de proceso y el manejo de materiales durante las operaciones del mezclador y el control de la temperatura;
- Optimizar el control de la temperatura durante la fabricación de machos;
- Sustituir los revestimientos alcohólicos (p. ej. alcohol isopropilo) por otros acuosos;
- Usar disolventes no aromáticos (p. ej. ésteres de metilo de aceite vegetal o de silicato) en la producción de caja de machos;
- Minimizar el gas de curado empleado para los 'aglutinantes de caja fría'.
- Confinar las máquinas de moldeo o cerrado de moldes, así como las zonas de almacenamiento temporal de machos;
- Emplear sistemas de caja fría (p. ej. adsorción de carbón activado, incineración, lavado químico o biofiltración) para tratar las aminas usadas;
- Utilizar sistemas de recogida (p. ej. campanas extractoras) para capturar los COV generados durante la preparación de la arena aglomerada químicamente, además de la colada, refrigeración y desmoldeo. Emplear la adsorción de carbón activado, la oxidación catalítica o el tratamiento de biofiltración cuando sea necesario.

### *Dioxinas y furanos*<sup>8</sup>

- Las emisiones de dibenzofurano policlorado y dibenzofurano (dioxinas y furanos o PCDD/F) pueden darse durante los procesos de fusión. En las fundiciones de metales ferrosos, las dioxinas pueden proceder de los

<sup>6</sup> CE BREF (2005).

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> CE BREF (2005).

hornos de cubilato, HAE y hornos rotatorios. Pueden generarse PCDD/F cuando los iones de cloruro, compuestos clorados, carbono orgánico, catalizadores, oxígeno y ciertos niveles de temperatura se dan simultáneamente durante el proceso metalúrgico. El riesgo de formación de dioxinas en las fundiciones de metales no ferrosos es muy bajo.

Las principales técnicas para prevenir las emisiones de dioxinas durante la fase de fusión es la combustión *a posteriori* de los gases residuales del horno a temperaturas superiores a los 1200°C y la maximización del tiempo de permanencia a estas temperaturas. El proceso se completa mediante un rápido enfriamiento para minimizar el tiempo en la ventana de temperatura de reformation de las dioxinas. Otras medidas recomendadas incluyen:

- Utilizar desechos limpios para la fusión;
- Inyectar polvos aditivos (p. ej. carbones activados) en la corriente de gas para adsorber las dioxinas y eliminar el polvo mediante la filtración por medio de filtros textiles;
- Instalar filtros de tela con un sistema de oxidación catalítica incorporado.

### Metales

Durante los procesos de fusión y fundido deben controlarse las emisiones de metales. Estas emisiones pueden producirse por la volatilización y condensación de los metales durante la colada de los metales fundidos en los moldes. Las partículas en las fundiciones de metales ferrosos pueden contener metales pesados como el cinc (principalmente cuando se utilizan desechos de acero galvanizado), cadmio, plomo (p. ej. de los desechos pintados), níquel y cromo (estos últimos dos se dan en la producción de aleaciones de acero) dependiendo de la calidad del acero producido y de los desechos empleados.

Las partículas asociadas con la producción de metales no ferrosos pueden contener cobre, aluminio, plomo, estaño y cinc. La presencia de metales en las emisiones de partículas puede ser especialmente significativa durante las actividades de aleación y durante la introducción de aditivos. Por ejemplo, la adición de magnesio al metal fundido para producir hierro dúctil puede causar una reacción que libere óxidos de magnesio y humos metálicos.

Se utilizarán técnicas de reducción de polvo de alta eficacia (descritas en la sección sobre 'Polvo y material particulado' de la presente guía) para controlar las emisiones de partículas de metal. Las emisiones gaseosas de metal se controlarán mediante la instalación de lavadores en seco y semisecos en combinación con técnicas de reducción de polvo.

### *Gases de efecto invernadero (GEI)*

El proceso de fundición es intensivo en términos de energía y constituye una fuente significativa de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principalmente ligadas a la combustión de carburante. La mayor parte de la energía se usa durante el proceso de fusión (40-60 por ciento del insumo total de energía). El insumo de energía durante la fusión oscila entre los 500 y los 1200 kilovatios hora por tonelada (kWh/t) de carga metálica para los metales ferrosos y de 400 a 1200 kWh/t para el aluminio.

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) incluyen<sup>9</sup>:

- Sustituir los hornos de cubilato convencionales por hornos de inducción, de cubilato sin coque o de cubilato con inyección de oxígeno. Emplear una frecuencia media de potencia en los hornos de inducción;

<sup>9</sup> Ibid.

- Limitar el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética mediante medidas básicas que incluyan, entre otras:
  - Aislar adecuadamente las superficies para limitar la dispersión del calor;
  - Controlar un coeficiente adecuado de aire/combustible para reducir el exceso de O<sub>2</sub>;
  - Implementar sistemas de recuperación de calor;
  - Aprovechar las propiedades térmicas del gas residual mediante un intercambiador de calor para producir agua, aire y /o vapor calientes.
- Implementar las mejores técnicas de combustible disponibles (p. ej. la sobreoxigenación del aire forzado, el precalentamiento de la carga y el control automático de los parámetros de combustión);
- Implementar prácticas operativas y de mantenimiento de los equipos y evitar la carga parcial de los mismos;
- Precalentar los desechos antes de usarlos;
- Reducir el consumo de combustible durante el calentamiento de las cucharas y el tratamiento térmico de los metales fundidos mediante la recuperación de gas y / o los controles de combustión;
- Seleccionar combustibles con un menor coeficiente de contenido en carbono y valor calorífico (p. ej. gas natural [CH<sub>4</sub>]). Las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de CH<sub>4</sub> son aproximadamente un 60 por ciento menores que las emisiones procedentes del carbón o coque de petróleo.
- Las guías generales sobre MASS contienen información adicional sobre el manejo de los gases de efecto invernadero.

## Residuos sólidos

Las corrientes de residuos sólidos incluyen arenas residuales, escoria procedente de la desulfuración y la fusión, polvo

recogido dentro de los sistemas de control de emisiones, residuos refractarios, y licores y lodos de lavadores (ver la sección sobre 'Aguas residuales' de la presente guía).

Las técnicas generales empleadas para manejar los residuos generados por las fundiciones incluyen la selección, diseño y construcción de zonas de almacenamiento de metales, polvo residual procedente de los filtros, residuos refractarios, escoria y arena residual teniendo en cuenta las condiciones geológicas e hidrogeológicas del emplazamiento con objeto de prevenir la posible contaminación resultante de las filtraciones de metales pesados. Se diseñarán los puntos de traslado y las zonas de almacenamiento químico (p. ej. de resinas y aglutinantes) para minimizar el riesgo de vertidos. Las guías generales sobre MASS recogen recomendaciones adicionales sobre la gestión de residuos y materiales sólidos peligrosos.

### *Arena residual*

La arena residual procedente de las fundiciones que emplean moldes de arena constituye una fuente significativa de residuos por volumen. La arena de moldeo y de los machos representa entre un 65 y un 80 por ciento de los residuos totales generados por las fundiciones de metales ferrosos<sup>10</sup>. La arena aglomerada químicamente para fabricar machos o moldes de coquillas es más difícil de reutilizar eficazmente y sus residuos pueden eliminarse una vez utilizada una sola vez. La arena residual procedente de las fundiciones de latón y bronce es a menudo peligrosa y se eliminará como corresponde.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la arena residual incluyen<sup>11</sup>:

- Maximizar el reaprovechamiento de la arena dentro de las instalaciones;

<sup>10</sup> Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry.

<sup>11</sup> Ibid.



- Estudiar la posibilidad de reutilizar externamente la arena residual (p. ej. como material para la fabricación de hormigón y pavimentos, o para fabricar ladrillos o relleno de hormigón y de construcción)
- La arena verde de fundición se reutilizará una vez eliminada de la pieza de metal y regenerada. Los métodos de recuperación de arena consisten en la regeneración primaria (p. ej. vibración, tambor giratorio o granallado) y secundaria (p. ej. el procesamiento de la arena para eliminar los aglutinantes residuales, así como los tratamientos fríos mecánicos y térmicos o el lavado húmedo, empleándose unidades de tratamiento térmico para recuperar la arena aglomerada químicamente).

#### *Polvo generado por los equipos de purificación*

El polvo procedente de los equipos de control de emisiones puede contener cinc, plomo, níquel, cadmio, cobre, aluminio, estaño, cromo y otros metales y clasificarse como residuos peligrosos. El polvo procedente de los equipos de control de las emisiones en las fundiciones de metales no ferrosos a menudo contiene niveles de metales suficientes para justificar económicamente la recuperación de los mismos. El polvo de los filtros debe recircularse en los hornos en la medida de lo posible. Esto permite la recuperación de metales mediante el reprocesamiento de polvo y minimizar por consiguiente los residuos enviados al vertedero.

#### *Escoria*

La escoria presenta a menudo una compleja composición química y contiene distintos contaminantes procedentes de los desechos de metal. Puede constituir hasta un 25 por ciento de la corriente de residuos sólidos generados por las fundiciones. Los componentes más comunes de la escoria son los óxidos metálicos, refractarios fundidos, arena y ceniza de coque (en caso de emplearse coque). Asimismo, pueden añadirse

fundentes para facilitar la eliminación de los desechos del horno. La escoria puede resultar peligrosa siempre que contenga plomo, cadmio o cromo procedente de la fusión del acero o de metales no ferrosos<sup>12</sup>.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la escoria incluyen:

- La producción de escoria se minimizará con medidas de optimización de proceso que incluyan:
  - Cribar los desechos para mejorar la calidad del metal y reducir las emisiones y la generación de escoria contaminada. Los desechos de productos electrónicos, desechos pintados y desechos de vehículos usados constituyen posibles fuentes de contaminación que deberán filtrarse y cribarse cuidadosamente
  - Reducir las temperaturas de fusión de los metales
  - Optimizar el uso de fundentes y revestimientos refractarios
- Se reutilizará la escoria y se extraerán los metales valiosos. En función de las características de la escoria, las opciones de reutilización pueden incluir la fabricación de bloques, la construcción de bases para carreteras y su uso como árido grueso.

#### *Tratamiento de lodos*

Los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales pueden contener metales pesados (p. ej. cromo, plomo, cinc y níquel), aceite y grasa. Una pequeña parte de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales puede reciclarse en la propia planta, aunque la mayor parte de los mismos se eliminará en vertederos. Las probabilidades de que se produzca la filtración de metales son considerables y

<sup>12</sup> Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry.

deberán evaluarse en relación con su posible reutilización y uso en los revestimientos y controles de vertederos. La reutilización de los lodos puede requerir una fase de tratamiento previo que suele consistir en actividades de prensado, secado y granulación. Las guías generales sobre MASS describen las medidas recomendadas para el manejo de los lodos peligrosos.

### *Residuos de desmantelamiento*

Las cuestiones ambientales específicas del sector provocadas por el desmantelamiento de las fundiciones incluyen el manejo y la eliminación de los materiales de aislamiento que contienen amianto y la contaminación del suelo / aguas subterráneas en zonas como los montones de almacenamiento de carbón y materias primas. Se evitarán los impactos de estos residuos mediante la aplicación de buenas prácticas ambientales descritas en la presente guía. Las guías generales sobre MASS contienen recomendaciones para la gestión de problemas legados que pueden haber dado lugar a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

## **Aguas residuales**

### *Aguas residuales de procesos industriales*

El uso más significativo del agua en las fundiciones va destinado a los sistemas de refrigeración de los hornos eléctricos (de inducción o de arco), hornos de cubilote y sistemas de extracción húmeda de polvo. En la mayoría de las fundiciones, el manejo del agua implica la recirculación interna de la misma, lo que da lugar a un volumen mínimo de efluente. El uso de técnicas de extracción húmeda de polvo puede incrementar el uso del agua y el manejo relacionado con su eliminación. Durante la fabricación de machos, que implica el uso de lavadores, las soluciones empleadas en la fabricación de machos en cajas frías y calientes contienen aminas y fenoles biodegradables. En el moldeo por inyección a altas presiones se forma una corriente de aguas residuales que debe ser tratada para eliminar los compuestos orgánicos (p. ej. fenol,

aceite) antes de su descarga. Pueden generarse aguas residuales que contengan metales y sólidos en suspensión cuando el molde se enfríe con agua. Pueden generarse asimismo aguas residuales con sólidos en suspensión y disueltos y un reducido pH cuando se emplean machos de sal solubles. Pueden generarse aguas residuales con elevados índices de aceite y sólidos en suspensión durante ciertas operaciones de acabado como el enfriamiento y el desbarbado<sup>13</sup>.

Las técnicas recomendadas para prevenir las corrientes de efluentes de las fundiciones incluyen:

- Instalar circuitos cerrados para el agua de refrigeración y así reducir el consumo y la descarga de agua;
- Reciclar el agua empleada para el desarenado mediante la sedimentación o el centrifugado seguidos de la filtración;
- Almacenar los desechos y otros materiales (p. ej. carbón y coque) bajo techado y / o en una zona aislada para limitar la contaminación de las aguas pluviales y facilitar la recogida de las aguas de drenaje.

### *Tratamiento de aguas residuales de procesos*

Las técnicas empleadas para el tratamiento de las aguas residuales de proceso en este sector incluyen la segregación en origen y el pretratamiento de las corrientes de aguas residuales para reducir el volumen de metales pesados utilizando la precipitación química, la coagulación y la floculación, etc. Los pasos convencionales en el tratamiento de las aguas residuales incluyen: filtros de grasa, espumadores o separadores agua-aceite para separar el aceite y los sólidos flotantes; la filtración para separar los sólidos filtrables; la compensación de flujo y carga; la sedimentación dirigida a reducir los sólidos en suspensión mediante el uso de clarificadores; el drenaje y la

<sup>13</sup> Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry.

eliminación de residuos en vertederos designados para residuos peligrosos. Podrían requerirse controles de ingeniería adicionales para i) la eliminación avanzada de metales empleando filtros de membrana y otras tecnologías de tratamiento físico/químico, ii) la eliminación de orgánicos recalcitrantes empleando carbón activado y oxidación química avanzada, iii) la eliminación química o biológica de nutrientes para reducir el nitrógeno; y iv) la reducción de la toxicidad del efluente mediante las tecnologías adecuadas (como por ejemplo la ósmosis inversa, el intercambio iónico, el carbón activado, etc.).

Las guías generales sobre MASS explican el manejo de aguas residuales industriales y ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para el manejo de aguas residuales, los establecimientos deberían cumplir con los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento para la industria gráfica.

### *Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales*

En las guías generales sobre MASS se dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas deberían desviarse hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de procesos industriales. Las recomendaciones para reducir el consumo de agua, especialmente en aquellos sitios en que pueda ser un recurso natural escaso, se analizan en las guías generales sobre MASS.

Las aguas pluviales procedentes de las zonas de almacenamiento externo del carbón pueden contaminarse debido a los lixiviados extremadamente ácidos que contienen

hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y metales pesados. Las recomendaciones específicas para el sector incluyen:

- Pavimentar las zonas dedicadas al proceso, segregar las aguas pluviales contaminadas de las no contaminadas e implementar planes de control de vertidos. Canalizar las aguas pluviales desde las zonas de proceso hasta la unidad de tratamiento de aguas residuales;
- Diseñar y ubicar las instalaciones de almacenamiento del carbón y sistemas asociados para la recogida de lixiviados para evitar su impacto en los recursos del suelo y el agua. Las zonas donde se sitúen los montones de carbón se pavimentarán para segregar las aguas pluviales potencialmente contaminadas para su pretratamiento y tratamiento en las unidades de tratamiento de las aguas residuales.

### **Ruido**

El proceso de fundición genera ruido a partir de distintas fuentes, incluido el manejo de desechos, la carga de hornos y la fusión en HAE, quemadores de combustible, el desmoldeo y expulsión de moldes / machos y los sistemas de transporte y ventilación. Se recomiendan las siguientes técnicas de manejo del ruido:

- Cerrar y/o aislar los edificios donde se lleve a cabo el proceso;
- Cubrir y cerrar las zonas de almacenamiento y manipulación de desechos, así como los procesos de desmoldeo y rebarbado;
- Cerrar los ventiladores, aislar los conductos de ventilación y emplear reguladores de tiro;
- Implementar controles de manejo, limitando por ejemplo la manipulación y transporte de desechos al horario de noche.

Las medidas de reducción de ruido deben lograr los niveles de ruido ambiente descritos en las guías generales sobre MASS.

## 1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Los riesgos que la construcción y el desmantelamiento de las fundiciones entrañan para la higiene y la seguridad en el trabajo son similares a los que se producen en la mayoría de las instalaciones industriales; su prevención y control se analizan en las guías generales sobre MASS.

Además, pueden darse los siguientes problemas relacionados con la higiene y la seguridad en el trabajo durante las actividades de las fundiciones:

- Riesgos físicos
- Radiación
- Riesgos para el aparato respiratorio
- Riesgos de electrocución
- Ruido
- Riesgos de enterramiento
- Incendios y explosiones

### Riesgos físicos

En las guías generales sobre MASS se incluyen orientaciones sobre la prevención y el control de los riesgos físicos. Los riesgos físicos específicos de la industria se presentan a continuación.

Los riesgos físicos asociados con las operaciones de las fundiciones pueden deberse a la manipulación de materias primas y productos calientes de gran tamaño y peso (p. ej. la carga de hornos); los accidentes pueden estar relacionados con el transporte mecánico pesado (p. ej. trenes, camiones y montacargas); lesiones provocadas por las actividades de trituración y corte (p. ej. el contacto con materiales de desecho expulsados por máquinas y herramientas); y lesiones causadas

por las caídas desde cierta altura (p. ej. plataformas elevadas, escalerillas y escaleras).

### *Levantamiento / traslado de cargas pesadas*

El levantamiento y traslado de cargas pesadas a alturas elevadas empleando plataformas hidráulicas y grúas representa un peligro considerable para la seguridad ocupacional en las fundiciones. Las medidas recomendadas para prevenir y controlar las lesiones entre los trabajadores incluyen:

- Instalar señales claras en todos los corredores de transporte y zonas de trabajo;
- Diseñar y distribuir las instalaciones de forma que se evite el cruce de distintas actividades y flujo de procesos;
- Implementar procedimientos específicos de manipulación y levantamiento de cargas, incluidos:
  - La descripción de la carga que debe levantarse (dimensiones, peso, posición del centro de gravedad);
  - Transporte con eslinga y parámetros de fuerza;
  - La capacitación del personal en el manejo de los equipos de levantamiento y la conducción de los dispositivos mecánicos de transporte.
- La zona de operación de los equipos fijos de manipulación (p. ej. grúas, plataformas elevadas) no debería interferir con las zonas de trabajo y ensamblaje previo;
- Manipular y proteger adecuadamente los líquidos calientes en movimiento y los elementos sólidos de metal;
- Limitar el manejo de materiales y productos a las zonas restringidas bajo supervisión, prestando especial atención a la proximidad de cables / equipos eléctricos;
- Llevar a cabo el mantenimiento y reparación periódicas de los equipos de levantamiento, eléctricos y de transporte.

### *Manejo de productos*

Las medidas para prevenir y controlar las lesiones relacionadas con las actividades de manipulación, trituración y corte y el uso de desechos incluyen:

- La ubicación de máquinas herramienta a una distancia segura de otras zonas de trabajo y espacios de tránsito. Se establecerán lugares cerrados individuales de trabajo para evitar los accidentes que puedan producirse durante el rebarbado o debido al uso de aparatos de desbaste;
- Llevar a cabo la inspección y reparación periódicas de máquinas herramientas, en particular de las protecciones y dispositivos/equipos de seguridad;
- Proporcionar barandillas a lo largo de la placa de transferencia con barreras acopladas que se abran sólo cuando la máquina no esté en uso;
- Capacitar al personal en el uso adecuado de máquinas herramientas y equipos de protección personal (EPP).

### *Calor y salpicaduras de líquidos calientes*

Las altas temperaturas y la radiación directa de infrarrojos (IR) son peligros frecuentes en las fundiciones. Las altas temperaturas pueden provocar fatiga y deshidratación. La radiación directa de IR también supone un riesgo para la vista. El contacto con metales o agua calientes puede ocasionar quemaduras graves. Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la exposición al calor y a los líquidos / materiales calientes incluyen:

- Proteger aquellas superficies donde se prevea el contacto con equipos calientes o salpicaduras de materiales calientes (p. ej. en hornos de cubilote, HAE, calderas de fusión por inducción y fundición);
- Implementar zonas de protección de seguridad para separar las áreas donde se manipulen o almacenen temporalmente los materiales y artículos calientes. Se

establecerán barandillas de seguridad alrededor de dichas zonas con barreras acopladas para controlar el acceso a estas zonas durante las operaciones;

- Utilizar EPP adecuados (p. ej. guantes y calzado aislados, gafas de protección frente a IR y radiación ultravioleta e indumentaria de protección frente a la radiación de calor);
- Implementar turnos de menor duración para el trabajo en entornos de alta temperatura del aire. Proporcionar frecuentes descansos durante el trabajo y acceso a agua potable para los trabajadores en las zonas caldeadas;
- Instalar sistemas de ventilación / refrigeración para controlar las temperaturas extremas.

### **Exposición a la radiación**

Los trabajadores podrían estar expuestos a los rayos gamma y a los riesgos asociados de exposición a la radiación ionizante. Para limitar los riesgos de exposición de los trabajadores pueden emplearse las siguientes técnicas:

- Las pruebas de rayos gamma se llevarán a cabo en zonas controladas y restringidas empleando un colimador bien protegido. No se realizarán otras actividades en la zona de pruebas;
- Se comprobará la radioactividad de los desechos entrantes antes de emplearse como materia prima;
- Cuando la zona de pruebas se encuentre cerca de los límites de la planta, se estudiará la posibilidad de recurrir a la inspección ultrasónica (UT) como alternativa a las técnicas de rayos gamma;
- Se llevará a cabo el mantenimiento y la reparación periódicos de los equipos de pruebas, incluida las pantallas protectoras.

## Exposición a riesgos respiratorios

### *Materiales aislantes*

El uso de materiales aislantes está generalizado en las fundiciones y el manejo de estos materiales durante las fases de construcción y mantenimiento puede provocar la presencia de fibras y plantear un riesgo para la higiene en el trabajo. El amianto y otras fibras minerales de uso generalizado en las plantas de mayor antigüedad pueden exponer al personal a los riesgos de inhalación de sustancias cancerígenas. Se aplicarán prácticas adecuadas y específicas de trabajo con materiales para limitar dichos riesgos.

### *Polvo y gases*

El polvo generado en las fundiciones incluye el polvo de hierro y polvo metálico, presentes en los talleres de fusión, fundición y acabado; y los polvos de madera y arena presentes en los talleres de moldeo. En los primeros, los trabajadores están expuestos al óxido de hierro y el polvo de sílice que podría estar contaminado con metales pesados como el cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb) y manganeso (Mn). El polvo presente en los talleres de fusión y fundición se genera durante las operaciones a altas temperaturas, y el tamaño de las partículas de fino y de posibles humos metalúrgicos plantea graves riesgos ocupacionales de inhalación. En el taller de moldeo, los trabajadores están expuestos al polvo de arena, que puede contener metales pesados, y al polvo de madera, que puede tener propiedades cancerígenas, especialmente cuando se utiliza madera sólida.

Las medidas recomendadas para prevenir la exposición a gases y polvo incluyen:

- Separar y confinar las fuentes de polvo y gases;
- Diseñar los sistemas de ventilación en las instalaciones para maximizar la circulación del aire. El aire de salida se filtrará antes de su descarga a la atmósfera;

- Instalar sistemas de ventilación de escape en las fuentes puntuales significativas de polvo y emisiones de gas, especialmente en los talleres de fusión;
- Emplear equipos automatizados, especialmente durante el proceso de rebarbado;
- Proporcionar una cabina sellada con aire acondicionado filtrado en caso de ser necesario un operador;
- Proporcionar instalaciones separadas de comedor que permitan el lavado antes de las comidas;
- Proporcionar instalaciones que permitan separar la indumentaria de trabajo de la ropa personal y las duchas / el lavado después del trabajo y antes de las comidas;
- Implementar una política de revisiones médicas periódicas del personal.
- Emplear tecnologías de control de riesgos respiratorios cuando la exposición no pueda evitarse de otro modo, como por ejemplo las operaciones de formación de moldes de arena; operaciones manuales como son el amolado y el uso de máquinas herramientas no confinadas; y durante las operaciones específicas de mantenimiento y reparación.
- Las medidas recomendadas de protección respiratoria incluyen:
- El uso de aparatos respiratorios filtrantes para aquellas labores expuestas a polvo pesado (p. ej. labores de desbarbado);
- En el caso de los gases y polvos ligeros y metálicos, utilizar respiradores con suministro de aire fresco. También podrá utilizarse como alternativa una máscara completa facial de gas (o un casco de “sobrepresión”) equipada con ventilación eléctrica;
- En el caso de la exposición al monóxido de carbono (CO), se instalarán equipos de detección para alertar a las salas de control y al personal local. En el evento de producirse intervenciones de emergencia en zonas donde se den elevados niveles de CO, se equipará a los trabajadores

con detectores portátiles de CO y respiradores con suministro de aire fresco.

## Ruido

La manipulación de materias primas y productos (p. ej. metales residuales, placas, barras), la compactación de arena, la fabricación de modelos en madera, el desbarbado y acabado pueden generar ruido. En las guías generales sobre MASS se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar las emisiones de ruido.

## Riesgos de electrocución

Los trabajadores pueden estar expuestos a riesgos de electrocución debido a la presencia de equipos eléctricos pesados en toda la planta de fundición. En las guías generales sobre MASS se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar la exposición a los riesgos de electrocución.

## Atrapamiento

Los trabajadores dedicados a la preparación de moldes de arena están expuestos al riesgo de atrapamiento debido al derrumbamiento de arena en las áreas de almacenamiento y durante las operaciones de mantenimiento. Las medidas para prevenir el enterramiento en arena incluyen la aplicación de criterios para el almacenamiento de materiales descritas en las guías generales sobre MASS.

## Riesgos de incendio y explosión

El manejo de metales líquidos puede plantear un riesgo de explosión, escapes de metales fundidos y quemaduras, especialmente cuando la humedad queda atrapada en los espacios cerrados y expuesta a metales fundidos. Otros riesgos son los incendios provocados por los metales fundidos y la presencia de combustible líquido y otras sustancias químicas inflamables. Asimismo, la escoria procedente de las fundiciones de hierro puede ser altamente reactiva cuando se utiliza carburo de calcio para desulfurizar el hierro.

Entre las recomendaciones para prevenir y controlar el riesgo de incendios y explosiones se incluyen:

- El diseño de las instalaciones garantizará una adecuada separación de los conductos y depósitos de almacenamiento de gas inflamable y oxígeno de las fuentes de calor;
- Separar los materiales y líquidos combustibles de las zonas calientes y las fuentes de ignición (p. ej. paneles eléctricos);
- Proteger los conductos y tanques de gas inflamable y oxígeno durante las actividades de mantenimiento “de riesgo”;
- En las guías generales sobre MASS se proporciona información sobre la preparación y respuesta en caso de emergencia.

## 1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Los impactos en la higiene y seguridad de la comunidad durante la construcción, puesta en funcionamiento y desmantelamiento de las fundiciones son comunes a los de la mayoría de las demás instalaciones industriales y se analizan en las guías generales sobre MASS.

## 2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

### 2.1 Medio ambiente

#### Guías sobre emisiones y efluentes

En los Cuadros 1 y 2 se presentan las guías sobre emisiones y efluentes para la industria gráfica. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en

las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento. Las guías sobre emisiones son aplicables a las emisiones procedentes de la combustión. Las guías generales sobre MASS contienen orientaciones sobre las emisiones asociadas con actividades de producción de energía eléctrica y vapor generadas por una fuente de combustión con capacidad igual o inferior a 50 megavatios térmicos, mientras que las guías sobre MASS para energía térmica contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande. En las guías generales sobre MASS se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recogida de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las guías generales sobre MASS. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95% del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

**Cuadro 1 – Niveles de efluentes para las fundiciones**

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
pH	-	6-9
Total de sólidos en suspensión	mg/L	35
Aceite y grasa	mg/L	10
Aumento de temperatura	°C	3 <sup>a</sup>
DQO	mg/L	125
Fenol	mg/L	1
Cadmio	mg/L	0.01
Cromo (total)	mg/L	0.5
Cobre	mg/L	0.5
Plomo	mg/L	0.2
Níquel	mg/L	0.5
Cinc	mg/L	0.5
Estaño	mg/L	2
Amoniaco	mg/L (as N)	5
Fluoruro	mg/L (as F)	5
Hierro	mg/L	5
Aluminio	kg/t	0.02 <sup>b</sup>
NOTAS: a Al borde de una zona de mezcla científicamente establecida que toma en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los receptores potenciales y la capacidad de asimilación. b Fusión y moldeado de aluminio		

**Cuadro 2. Niveles de emisiones a la atmósfera para las fundiciones<sup>(1)</sup>**

Contaminante	Unidades	Valor indicativo
Material particulado	mg/Nm <sup>3</sup>	20 <sup>(2)</sup>
		50 <sup>(3)</sup>
Aerosol/niebla de aceite	mg/Nm <sup>3</sup>	5
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400 <sup>(4)</sup>
		120 <sup>(5)</sup>
		150 <sup>(6)</sup>
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400 <sup>(8)</sup>
		50 <sup>(9)</sup>
		120 <sup>(7)</sup>
COV	mg/Nm <sup>3</sup>	20 <sup>(10)</sup>
		30
		150 <sup>(11)</sup>
PCDD/F	ng TEQ/ Nm <sup>3</sup>	0,1
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	200 <sup>(12)</sup>
		150 <sup>(13)</sup>
Aminas	mg/Nm <sup>3</sup>	5 <sup>(14)</sup>
Cloro	mg/Nm <sup>3</sup>	5 <sup>(15)</sup>
Pb, Cd y sus compuestos	mg/Nm <sup>3</sup>	1-2 <sup>(16)</sup>
Ni, Co, Cr, Sn y sus compuestos	mg/Nm <sup>3</sup>	5
Cu y sus compuestos	mg/Nm <sup>3</sup>	5-20 <sup>(17)</sup>
Cloruro	mg/Nm <sup>3</sup>	5 <sup>(18)</sup>
Fluoruro	mg/Nm <sup>3</sup>	5 <sup>(19)</sup>
H <sub>2</sub> S	ppm v/v	5



**NOTAS:**

1. Condiciones indicativas de los límites. Para los gases de combustión: secos, temperatura 273K (0°C), presión 101,3 kPa (1 atmósfera), contenido en oxígeno 3% seco para combustibles líquidos y gaseosos, 6% seco para combustibles sólidos. Para los gases no combustibles: no corrección para el vapor de agua ni el contenido en oxígeno, temperatura de 273K (0°C), presión de 101,3 kPa (1 atmósfera).
2. Emisiones de materia particulada en presencia de metales tóxicos.
3. Emisiones de materia particulada en ausencia de metales tóxicos.
4. Fusión de metales ferrosos. Nivel máximo de emisiones para las mejores tecnologías disponibles (BAT) y para hornos de cubilote sin coque.
5. Fusión de metales no ferrosos (hornos de cubilote).
6. En base a los sistemas de recuperación/unidades de regeneración térmica de arena.
7. Nivel máximo de emisiones para las mejores técnicas disponibles (MTD) y para hornos de cubilote de tiro frío.
8. Fusión de metales no ferrosos (hornos de cubilote).
9. Fusión de metales ferrosos (hornos de cubilote).
10. Fusión de metales no ferrosos (hornos de cubilote).
11. Fusión de metales ferrosos (HAE). Los hornos de cubilote pueden registrar mayores niveles de emisiones (de hasta 1.000 mg/N<sub>2</sub>).
12. Fusión de metales no ferrosos (hornos de cubilote).
13. Taller de moldeo en caja fría y de fabricación de machos.
14. Fusión de metales no ferrosos (aluminio).
15. Sistemas térmicos de recuperación de arena y operaciones de producción de cáscaras, revestimiento y endurecimiento de fundición con base de solvente.
16. Valores superiores aplicables a la fundición de metales no ferrosos a partir de desechos.
17. Valores superiores aplicables a los procesos de producción del cobre y sus aleaciones.
18. Las emisiones de los hornos cuando se utilicen fundentes de cloruro.
19. Las emisiones de los hornos cuando se utilicen fundentes de fluoruro.

## Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las guías generales sobre

MASS contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

## 2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

### Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)<sup>14</sup>, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)<sup>15</sup>, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)<sup>16</sup>, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea<sup>17</sup> u otras fuentes similares.

### Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas

<sup>14</sup> Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>

<sup>15</sup> Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

<sup>16</sup> Disponibles en:  
[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992)

<sup>17</sup> Disponibles en: [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)

Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)<sup>18</sup>.

## **Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo**

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados<sup>19</sup> como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las guías generales sobre MASS contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

---

<sup>18</sup> Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

<sup>19</sup> Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

### 3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1995. Profile of the Nonferrous Metals Industry. Proyecto de Agenda de Sectores de la Oficina de Conformidad de la EPA. EPA/310-R-95-010. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notes/nonferrous.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2004. Código de Regulaciones Federales (CFR) Título 40: Protección del Ambiente. Parte 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Iron and Steel Foundries. Washington, DC: Office of the Federal Register. Disponible en: [http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr\\_notices/8287founddirfin.pdf](http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr_notices/8287founddirfin.pdf)

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2002. Beneficial Reuse of Foundry Sand: A Review of State Practices and Regulations. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation in partnership with the American Foundry Society and the Association of State and Territorial Solid Waste Management Officials. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/ispd/metalcasting/reuse.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1998. Profile of the Metal Casting Industry. Proyecto de Agenda de Sectores de la Oficina de Conformidad de la EPA. EPA/310-R-97-004. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notes/casting.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1998. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories and Emissions Factors. AP 42, 5ª ed., Vol. 1, cap. 12: Metallurgical Industry. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2004. Sistemas de Administración Ambiental (EMS) Implementation Guide for the Foundry Industry. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation, in partnership with the American Foundry Society and Indiana Cast Metals Association. Washington, DC: US EPA. Disponible en: [http://www.epa.gov/sectors/metalcasting/foundry\\_complete.pdf](http://www.epa.gov/sectors/metalcasting/foundry_complete.pdf)

Agencia de Protección Ambiental de Irlanda (Irish EPA). 1996. BATNEEC Guidance Note Class 3.3 Ferrous Metals Foundries (Draft 3). Dublin: EPA Ireland. Disponible en: <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

Agencia de Protección Ambiental de Irlanda. 1996. BATNEEC Guidance Note Class 3.4 Recovery or Processing of Non-Ferrous Metals (Draft 3). Dublin: EPA Ireland. Disponible en: <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

Agencia Ambiental del Reino Unido (UK Environmental Agency). 2001. Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) Interim Guidance for the Ferrous Foundries Sector. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency.

Agencia Ambiental del Reino Unido. 2002. Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) Technical Guidance for Non-Ferrous Metals and the Production of Carbon and Graphite. Versión 1: Enero de 2002. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/444369/673298/nfm/?version=1&lang=e>

Comisión Europea. Oficina para la Prevención y el Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). 2005. Prevención y el Control Integrados de la

Contaminación (IPPC). Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (BREF) Documento sobre Forjas y Fundiciones. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Departamento de Industria y Comercio (DTI) y Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido. Environmental Technology Best Practice Programme. Environmental Management Systems in Foundries. Londres: UK Government.

Departamento de Industria y Comercio (DTI) y Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido. Environmental Technology Best Practice Programme. 1998. Optimising Sand Use in Foundries. Londres: UK Government.

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Copper and Copper Alloy Processes. Process Guidance Note 2/8 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Electrical, Crucible and Reverberatory Furnaces. Process Guidance Note 2/3 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Hot and Cold Blast Cupolas and Rotary Furnaces. Process Guidance Note 2/5 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Furnaces for the Extraction of Non-Ferrous Metal from Scrap. Process Guidance Note 2/1 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Iron, Steel and Non-Ferrous Metal Process. Process Guidance Note 2/4 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Metal Decontamination Processes. Process Guidance Note 2/9 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Processes Melting and Producing Aluminium and its Alloys. Process Guidance Note 2/6a (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (UK DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Zinc and Zinc Alloy Processes. Process Guidance Note 2/7 (04). Londres: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Carolina del Norte (DPPEA). Primary Metals Ferrous and Non-Ferrous Foundry. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/01/text/00778/chapter3.htm>

Gobierno de Australia, Departamento de Medio Ambiente y Patrimonio. 2004. National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual for Ferrous Foundries, Version 1.2. 3 Septiembre de 2004. Canberra: Commonwealth of Australia. Disponible en: [http://www.npi.gov.au/handbooks/approved\\_handbooks/f2ferr.html](http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/f2ferr.html)

Gobierno de la India, Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, Central Pollution Control Board (CPCB). 2005. Informe anual 2004 - 2005. Delhi: CPCB. Disponible en: <http://www.cpcb.nic.in/annualreport04-05/ar2004-ch10.htm>

Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlín: BMU. Disponible en inglés en: [http://www.bmu.de/english/air\\_pollution\\_control/ta\\_luft/doc/36958.php](http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php)

## Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Las fundiciones fabrican piezas de fundición de metales ferrosos y no ferrosos. Las piezas de fundición ferrosas consisten en hierro y acero, mientras que las no ferrosas incluyen principalmente aluminio, cobre, cinc, plomo, estaño, níquel, magnesio y titanio. Las piezas se obtienen mediante la fusión, colada y moldeo de metales ferrosos y no ferrosos. Muchas fundiciones se dedican a fundir ambas clases de metales.

Las piezas ferrosas consisten normalmente en:

- Hierro fundido gris por sus buenas propiedades de amortiguación y mecanibilidad, aunque duración inferior;
- Hierro fundido maleable, que contiene pequeñas cantidades de carbono, silicio, manganeso, fósforo, azufre y aleaciones de metal;
- Hierro fundido esferoidal (SG), obtenido al eliminar el azufre del flujo de fusión del hierro fundido;
- Acero no aleado (bajo-medio-alto), de mayor fuerza, ductilidad, resistencia al calor y soldabilidad en comparación con el hierro fundido.

Los metales no ferrosos se producen ajustándose a especificaciones de producto como son las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión, mecanibilidad, ligereza y conductividad térmica y eléctrica.

La fundición de metales no ferrosos supone el uso de muchos compuestos no ferrosos, como por ejemplo: el aluminio y las aleaciones de aluminio; el cobre y las aleaciones de cobre; el cinc y las aleaciones de cinc; el magnesio y las aleaciones de magnesio; las aleaciones de cobalto; el níquel y las aleaciones de níquel; el titanio y las aleaciones de titanio; el circonio y las aleaciones de circonio; y compuestos fundidos de matriz metálica.

Las aleaciones más frecuentes de metales no ferrosos incluyen: la aleación de cobre – cinc (latón); la aleación de cobre – estaño (bronce); la aleación de níquel –cobre (metal monel / cuproníquel); la aleación de níquel-cromo-hierro (acero inoxidable); la aleación de aluminio-cobre; la aleación de aluminio-silicio; la aleación de aluminio-magnesio; y la aleación de titanio.

### El proceso de fundición

Existen numerosas y distintas técnicas de fundición. Todas ellas implican la construcción de un contenedor (molde) donde se vierte el metal fundido.

Los dos subprocesos básicos en el proceso de fundición se basan en la fundición en moldes recuperables y no recuperables. La fundición en moldes no recuperables se emplea normalmente en las fundiciones de metales ferrosos, aunque también en las de metales no ferrosos, y utiliza moldes perdidos (p. ej. moldes de arena). La fundición en moldes recuperables, típica sobre todo de las fundiciones de metales no ferrosos, utiliza moldes permanentes (p. ej. moldeo por inyección a presión). Los moldes perdidos se separan de la fundición y se destruyen durante la fase de desmoldeo, mientras que los moldes permanentes vuelven a utilizarse. Pueden emplearse distintas técnicas en estos dos procesos de fundición en molde dependiendo de los sistemas de fusión, moldeo y fabricación de machos, el sistema de fundición y las técnicas de acabado aplicadas.

El típico proceso de fundición, ilustrado en el Gráfico A.1, incluye las siguientes actividades principales: la fusión y tratamiento de los metales en la acería; la preparación de moldes y machos en el taller de moldeo, la refrigeración para la solidificación y la separación del fundido y el molde en el taller

de fundición; y el acabado del fundido en bruto en el taller de acabado.

### *La acería*

Se utilizan distintas clases de hornos de fusión y tratamientos de metales para producir materiales ferrosos y no ferrosos dependiendo del tipo de metal empleado.

*El hierro fundido* suele fundirse en hornos de cubilato, hornos de inducción (HI), hornos de arco eléctrico (HAE) u hornos rotatorios. Dado su mayor desempeño ambiental, es preferible usar hornos de inducción (hornos de inducción sin macho para la fusión y hornos de inducción de canal para el mantenimiento) en lugar de hornos de cubilato. Los HAE se utilizan con menos frecuencia.

*El acero fundido* suele fundirse en hornos de arco eléctrico o de inducción sin macho. El tratamiento de fundido del acero consiste en el refinado (p. ej. la eliminación de carbono, silicio, azufre o fósforo) y la deoxidación en función del metal de carga y la cantidad requerida de producto de fundición.

El metal fundido puede requerir tratamientos como la desulfuración y el desescoriado. Para eliminar las impurezas en el flujo de fusión, se añade fundente de metal a la carga del horno o al metal fundido. El fundente concentra las impurezas para formar residuos o escoria que deben ser eliminados antes de la colada.

### *Hornos de cubilato*

Los hornos de cubilato son los más empleados para el fundido de hierro y el horno empleado desde hace más tiempo en las fundiciones. Se trata de un horno de cuba cilíndrico revestido con material refractario. El horno utiliza coque como combustible y aire de combustión. El hierro fundido circula hacia abajo en los hornos de cubilato mientras que los gases de combustión circulan hacia arriba, abandonando el horno a

través del tiro. A medida que avanza el proceso de fusión, se añaden nuevos materiales en la parte superior del tiro a través de una puerta de carga. Los fundentes añadidos se combinan con las impurezas no metálicas en el hierro para formar la escoria, que es más ligera que el hierro fundido y flota por encima del metal fundido, protegiéndolo así de la oxidación. El metal líquido se extrae a través de un agujero de colada al nivel del lecho de arena y se recoge en una cuchara y /o horno de mantenimiento. La escoria se elimina a través de un orificio situado a un nivel más elevado. El coque representa el 8–16 por ciento de la carga total, empleándose para proporcionar el calor necesario para fundir los metales. La capacidad de fundido de los hornos de cubilote oscila en general entre las 3 y las 25 toneladas métricas a la hora.

Los hornos de cubilote necesitan de una atmósfera reductora para prevenir la oxidación del hierro durante su fundido. La oxidación se minimiza garantizando la presencia de monóxido de carbono (CO) en el gas de combustión (aproximadamente un 11-14 por ciento de contenido en CO). Esto resulta en un uso ineficaz de la energía disponible en el coque y en considerables emisiones de CO en el medio ambiente. Pueden utilizarse tecnologías alternativas para incrementar la eficiencia del horno de cubilote y reducir las emisiones de CO. Estas tecnologías incluyen el precalentamiento del aire de combustión a temperaturas de hasta 600°C, como sucede en los cubilotes con inyección de aire caliente<sup>20</sup>; la sobreoxigenación; o la inyección supersónica directa de oxígeno puro.

El proceso en los hornos de cubilote también genera un volumen considerable de emisiones de partículas. Los sistemas de control de emisiones suelen requerir el uso de sistemas de gran consumo de energía como son lavadores húmedos o filtración en seco (filtros textiles).

<sup>20</sup> CE BREF (2001) para Forjas y Fundiciones.

### *Hornos de arco eléctrico (HAE)*

Los HAE son hornos de dosificación empleados a menudo en las grandes fundiciones de acero. Su utilización en la producción de hierro fundido es menos frecuente. El HAE tiene forma de cuchara. El calor requerido para fundir el metal se produce mediante un arco eléctrico con electrodos que se sitúa inicialmente por encima de la carga. El horno se vacía volcándolo y obligando al metal fundido a salir a través del canal de colada. Al otro lado del canal de colada hay una puerta que facilita las operaciones de desescoriado y la toma de muestras.

### *Hornos de inducción*

Los hornos de inducción (HI) se utilizan para fundir metales ferrosos y no ferrosos. La fusión se logra mediante un fuerte campo magnético creado mediante el paso de una corriente eléctrica alterna a través de una bobina que rodea el horno, generando como resultado una corriente eléctrica a través del metal. La resistencia eléctrica del metal produce calor, que a su vez funde el propio metal. Estos hornos facilitan un excelente control metalúrgico y son relativamente poco contaminantes.

Las emisiones a la atmósfera más significativas procedentes de los HI están relacionadas con el grado de pureza de la carga, que resulta en la emisión de polvo y humos (orgánicos o metálicos). Durante el mantenimiento o el ajuste de la composición de los metales pueden generarse otras emisiones a partir de reacciones químicas que dan lugar a los humos metalúrgicos<sup>21</sup>.

### *Hornos de reverbero o de solera*

Los hornos de reverbero o solera se utilizan para el fundido en lotes de metales no ferrosos. Se trata de hornos estáticos con calor directo consistentes en hornos de baño rectangulares o

circulares con revestimiento refractario que se calientan mediante quemadores de pared o de techo. El aire caliente y los gases de combustión de los quemadores se soplan sobre la carga de metal y se extraen del horno. Además de los quemadores de combustible de aceite o gas, los quemadores de gasolina oxigenada también pueden servir para incrementar el índice de fusión. Estos hornos suelen emplearse en la producción a pequeña escala, dado que el control de emisiones es difícil.

### *Hornos de crisol*

Los hornos de crisol se utilizan principalmente para fundir cantidades más pequeñas de metales no ferrosos. El crisol o el contenedor refractario se calienta con un horno caldeado con gas natural, combustible líquido (p. ej. propano) o electricidad. El crisol se vuelca manualmente con una grúa o automáticamente para verter el metal fundido en el molde<sup>22</sup>.

### *Hornos rotatorios*

El horno rotatorio consiste en un tanque cilíndrico horizontal donde la carga metálica se calienta mediante un quemador situado a un lado del horno. Los gases de combustión abandonan el horno por el lado opuesto. Una vez fundido el metal, y tras comprobar y ajustar la composición, se abre un orificio de salida en el frente del horno y el flujo de fusión en el horno se descarga en cucharas. Los hornos rotatorios se utilizan para volúmenes de fusión de 2 a 20 toneladas, con una capacidad de producción de 1 a 16 toneladas por hora. A menudo resulta difícil controlar las emisiones.

Durante muchos años se utilizaron los hornos rotatorios para el fundido de metales no ferrosos. En esta clase de horno, los quemadores tradicionales de aceite-aire pueden facilitar temperaturas de fusión relativamente bajas. El desarrollo de los quemadores de oxígeno-aire ha permitido su uso en la

<sup>21</sup> CE BREF (2001) para Forjas y Fundiciones y Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

<sup>22</sup> CE BREF (2001) para Forjas y Fundiciones.

producción del hierro fundido, empleando una cantidad más elevada de desechos de acero y aplicando el grafito para la carburación.

### *Hornos de cuba*

Los hornos de cuba se utilizan sólo para la fusión de metales no ferrosos, principalmente el aluminio. Se trata de un horno vertical sencillo con una solera de recolección (dentro o fuera del horno), un sistema de quemador en el extremo inferior y un sistema de carga de material en la parte superior. Los quemadores suelen encenderse con gas. Normalmente se extraen y limpian los gases de combustión. Puede utilizarse un dispositivo de postcombustión para tratar el monóxido de carbono, el aceite, los compuestos orgánicos volátiles (COV) o las dioxinas generados.

### *Hornos de techo radiante*

Los hornos de techo radiante se utilizan principalmente en los talleres de fundido con inyección a presión de metales no ferrosos (aluminio) con instalaciones centralizadas de fundido. El horno de techo radiante es un horno de mantenimiento de energía reducida diseñado como una caja extremadamente aislada con bancos de elementos de resistencia en un techo aislado articulado. Las unidades convencionales tienen una capacidad de 250 – 1000 kilogramos (kg)<sup>23</sup>.

### Taller de moldeo

Antes de realizar el fundido del metal, se prepara un molde donde verter y enfriar el metal fundido. El molde consiste normalmente en una forma superior e inferior que contiene la cavidad donde se vierte el metal fundido para producir la pieza de fundición. Para abrir túneles o agujeros en el molde acabado (o para dar forma al interior de la pieza que no puede ajustarse al patrón), se coloca dentro un inserto de arena o de metal

denominado “macho”. Los moldes pueden dividirse entre dos tipos generales<sup>24</sup>:

- *Moldes perdidos (molde de un solo uso)*: Fabricados a medida para cada pieza de fundición, son destruidos durante el proceso de desmoldeo. Estos moldes suelen estar hechos de arena aglutinada con arcilla, aglutinada químicamente y en ocasiones sin aglutinar. La fundición a cera perdida también puede incluirse en esta familia;
- *Moldes permanentes (molde multiuso)*: Se utilizan para la colada por gravedad y a baja presión, el moldeo a alta presión y la colada centrífuga. Normalmente los moldes permanentes son metálicos.

La arena es el material de moldeo más usado. Los granos de arena se aglutinan entre sí para dar la forma deseada. La elección de la tecnología aglutinante depende de factores como el tamaño de la pieza, el tipo de arena empleada, la tasa de producción, el metal vertido y las propiedades de desmoldeo. En general, los distintos sistemas de fijación pueden clasificarse como arenas aglutinadas con arcilla (arena verde) o arenas aglutinadas químicamente. Las diferencias en los sistemas de fijación pueden influir en la cantidad y la toxicidad de los residuos generados y en las posibles emisiones ambientales<sup>25</sup>. La arena verde, que es una mezcla de arena, arcilla, material carbonoso y agua, se emplea como molde en el 85 por ciento de las fundiciones. La arena proporciona la estructura del molde, la arcilla aglutina la arena y los materiales carbonosos previenen la corrosión. El agua se emplea para activar la arcilla. El molde debe estar seco, o de lo contrario podría plantear un riesgo de explosión. La arena verde no se utiliza para formar machos, que precisan unas características físicas distintas de los moldes. Los machos deben ser lo bastante fuertes para soportar el metal fundido y a la vez colapsable para poder

<sup>23</sup> CE BREF (2001) para Forjas y Fundiciones.

<sup>24</sup> Ibid.

<sup>25</sup> Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry.



retirarse de la pieza de metal una vez enfriados. Los machos suelen obtenerse a partir de la arena de silicio y de fuertes aglutinantes químicos en una caja de machos. El endurecimiento o la curación del sistema de fijación química se logra por medio de reacciones químicas o catalíticas o bien con calor. Los machos de arena y los moldes de arena aglutinada químicamente se tratan a menudo con negro de fundición de base acuosa o alcohólica para mejorar las características de la superficie. Las ventajas de utilizar moldes de arena aglutinada químicamente frente a los moldes de arena verde son entre otras una vida en almacenamiento más prolongada para los moldes; una temperatura de colada del metal en principio inferior; y una mayor estabilidad dimensional y acabado superficial de los moldes. Las desventajas incluyen unos costes más elevados de los aglutinantes químicos y de la energía empleada en el proceso; una complejidad añadida a la hora de recuperar la arena usada; y dudas acerca de la seguridad ambiental y para los trabajadores en relación con las emisiones a la atmósfera asociadas con los químicos aglutinantes empleados durante el endurecimiento y la colada del metal<sup>26</sup>.

El moldeo con arena implica el uso de grandes cantidades de arena con coeficientes de peso de arena a metal líquido de 1:1 a 20:1. Después del proceso de solidificación, el molde se retira de la pieza de metal en un proceso denominado “desmoldeo” en el que el molde de arena se separa de las piezas metálicas. La mayor parte de la arena usada para los moldes de arena verde se reutiliza para fabricar moldes en el futuro. Asimismo, las mezclas de arena reutilizada se emplean para crear machos. No obstante, una parte de la arena se agota después de cierto número de usos y debe eliminarse. Por este motivo, la fabricación de moldes y machos constituye una fuente considerable de residuos en las fundiciones.

El moldeo a cera perdida es uno de los procesos de fabricación más antiguos. Se emplea para fabricar piezas de formas complejas o para las piezas de metal de alta precisión. El molde a cera perdida se logra mediante la colada de un lodo alrededor de un patrón de cera o termoplástico que adopta la forma del patrón elegido y se asienta hasta formar el molde a cera perdida. Una vez se haya secado el molde, el patrón se quema o se funde para extraerlo de la cavidad del molde y así quedar listo para usar de nuevo.

Los moldes permanentes de metal suelen emplearse en las fundiciones para producir grandes cantidades de una misma pieza. Pueden emplearse para la fundición de metales tanto ferrosos como no ferrosos siempre que el punto de fusión del metal del molde sea superior al del metal que pretende fundirse. Los moldes de metal se utilizan para el moldeo por gravedad, el moldeo por inyección a bajas y altas presiones y el moldeo centrífugo. Los machos de los moldes permanentes pueden estar hechos de arena, yeso, metal colapsable o sales solubles.

### El taller de colada

La colada del metal fundido es la actividad más importante del proceso de fundición. Dependiendo del tipo de molde y metal usados durante la fundición, pueden emplearse distintos sistemas de colada. El molde puede llenarse con metal líquido por gravedad (molde perdido) o por inyección a bajas o altas presiones (coquilla) o con fuerzas centrífugas. Las líneas de fundición automática a menudo están dotadas de un horno de colada<sup>27</sup>. Este horno suministra de forma automática los moldes en las líneas de fundición y se rellena con metal líquido a intervalos de tiempo preestablecidos. La correcta introducción y distribución del metal vertido en el molde se realiza empleando una serie de columnas y canales dentro del molde (sistema de “guías” o de “compuestas”). La contracción (la diferencia en

<sup>26</sup> Oficina de Cumplimiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry.

<sup>27</sup> CE BREF (2001) para Forjas y Fundiciones.

volumen entre el metal líquido y el sólido) se compensa mediante la presencia de una reserva de alimentación adecuada (un “elevador”). Después de la colada, la pieza se enfría para facilitar su solidificación (primer enfriamiento) y luego se retira del molde para proceder a un enfriamiento posterior controlado (segundo enfriamiento). En las fundiciones de moldeo con arena, las piezas pasan por el proceso de desmoldeo para retirar el molde después de la solidificación. Durante el desmoldeo, el polvo y el humo se recogen mediante equipos de control de polvo. Los moldes a cera perdida y los moldes de cáscara cerámica se destruyen durante la retirada de las piezas, generando así residuos sólidos. En el caso de la técnica de moldes permanentes, el molde se abre y la pieza se extrae sin destruir el molde después de la solidificación<sup>28</sup>. Algunas fundiciones tratan térmicamente la de moldes y machos para eliminar los aglutinantes y las impurezas orgánicas antes de reciclarlas en las instalaciones de fabricación de moldes.

La utilización de distintos aditivos en la fabricación de moldes y machos para aglutinar la arena durante las actividades de colada del metal dan lugar a productos de reacción y descomposición. Esto incluye compuestos orgánicos e inorgánicos (aminas y COV). La generación de productos de descomposición (principalmente COV) prosigue durante las operaciones de moldeo, enfriamiento y extracción. Dado que estos productos pueden constituir riesgos para la salud y olores, se extraerán y se limpiará el gas antes de su descarga.

### El taller de acabado

Las restantes operaciones necesarias para obtener el producto acabado se realizan en el taller de acabado. Dependiendo del proceso empleado, pueden ser necesarias distintas etapas, como por ejemplo la extracción del sistema de guías y compuertas, la extracción de la arena residual de moldeo en la

superficie y de los restos de machos en las cavidades de los moldes, la extracción de la rebaba de la colada, la reparación de errores de moldeo y la preparación de la pieza para su posterior tratamiento mecánico, ensamblaje, tratamiento térmico y revestimiento<sup>29</sup>.

La pieza de metal se limpia empleando granallas de acero, abrasivos y otros limpiadores mecánicos para eliminar la arena de moldeo sobrante, rebabas de metal y óxido. También pueden emplearse con este fin los dispositivos cortallamas y dispositivos con arco de electrodo de carbón y chorro de aire comprimido. Los artículos de menor tamaño suelen amolarse mediante el desarenado, que se lleva a cabo en un tambor rotatorio o vibrador. Esto implica por lo general agregar agua, que puede contener agentes tensioactivos. Los materiales refractarios residuales y los óxidos suelen eliminarse mediante el granallado de arena o la granalla fina de acero, que también puede emplearse para proporcionar a la pieza de fundición una superficie uniforme y de mejor apariencia. Puede ser necesario recurrir a la soldadura para unir piezas o reparar deficiencias en las mismas. La limpieza química de las piezas de fundición puede realizarse antes de las operaciones de revestimiento para garantizar la adherencia del mismo al metal.

### Tecnología DISA

La tecnología Disamatic (DISA) consiste en un proceso de moldeo de arena verde diseñado para crear moldes e inyectar los metales de forma automática. Los moldes de DISA se producen con la ayuda de una prensa hidráulica, mejorando así la producción y la calidad de la arena compactada. DISA permite definir distintas configuraciones de moldeo, incluido el moldeo vertical, horizontal y la tecnología de moldeo ‘matchplate’. El moldeo vertical es la configuración más popular, dado que proporciona piezas forjadas de gran precisión. Durante este proceso, la cámara de moldeo es móvil y se

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Ibid.

consigue gracias a dos patronos opuestos (un patrón deshormador y un patrón pendular). Esto permite que la arena introducida en la cámara de moldeo se comprima y luego extraiga de la cámara.

La tecnología DISA constituye un método eficaz para crear una serie de moldes sin cajas de moldeo (sin marcos rígidos de metal o madera). Suele ser la tecnología elegida para la producción masiva de piezas de forjado de gran precisión de hierro o aluminio. Los aspectos ambientales relacionados con la tecnología DISA son similares a los experimentados en otras fundiciones dedicadas a fabricar productos ferrosos en moldes de arena, aunque normalmente estos aspectos se contienen y manejan como parte del sistema automatizado.

Gráfico A.1: Diagrama de flujo para las operaciones de fundición

