

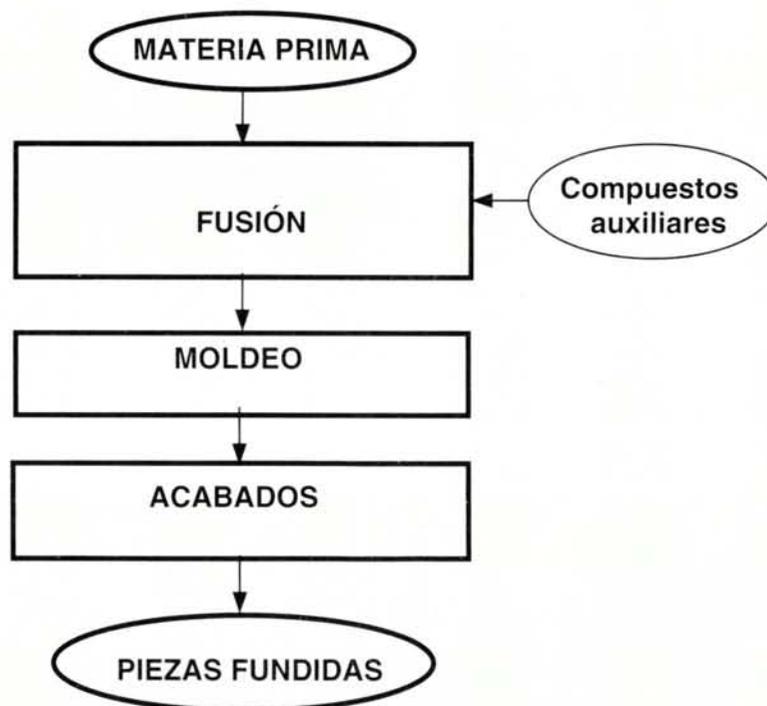
5. FUNDICIÓN DE METALES

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En términos generales, la operación consiste en fundir el metal en forma de lingotes, chatarra, etc. junto con otros compuestos auxiliares (normalmente ferroaleaciones diversas, cal, coque, grafito, escoriantes desgasificantes, etc.), en hornos de crisol, reverbero, etc.

Según el tipo de fundición y de piezas a fabricar, se realizarán diversas operaciones auxiliares, como puede ser la elaboración de moldes de arena (fundición en molde) o de coquillas (fundición en colada continua). Las piezas también se pueden someter a diversas operaciones de acabado.

Un esquema del proceso sería el siguiente:



5.2 FLUJOS CONTAMINANTES GENERADOS

En las siguientes tablas se exponen los principales flujos contaminantes generados:

AGUAS RESIDUALES	
PROCEDENCIA	PARÁMETROS CONTAMINANTES
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de las instalaciones • Lavado de humos de las chimeneas de los hornos de fundición • Refrigeración de máquinas y moldes 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Conductividad • Temperatura • Aceites y Grasas • Tensoactivos aniónicos • Metales • Cianuros • Aniones • Compuestos orgánicos diversos

RESIDUOS	
PROCEDENCIA	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Arenas y varillas metálicas, procedentes de los moldes • Derrames y brisacas de moldeo • Escorias de la fundición 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser clasificables como residuos tóxicos y peligrosos
<ul style="list-style-type: none"> • Aceites usados 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos tóxicos y peligrosos

EMISIONES ATMOSFÉRICAS	
PROCEDENCIA	NATURALEZA
<ul style="list-style-type: none"> • Moldeo y desmoldeo 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas • Aceites
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustibles fósiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases de combustión

En estos centros la principal problemática medioambiental procede de las emisiones de los hornos de fundición y de las aguas de lavado de dichos gases (en caso de darse este tipo de tratamiento) así como de las escorias que pueden ser clasificables como RTP.

5.3 AHORRO Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS

5.3.1 Utilización del agua

El principal uso que se hace del agua en las operaciones de fundición de metales es la de refrigerante de los hornos de fusión. Para ello se suelen utilizar circuitos cerrados, empleando torres de enfriamiento para el agua de retorno a los hornos. Las pérdidas por evaporación son compensadas mediante aporte de agua fresca.

En las arenerías de aquellas instalaciones que confeccionan moldes de arena (fundiciones de acero), se utiliza agua en los molinos de acondicionamiento de la arena.

Otro importante uso es para el lavado de los gases salientes de los hornos de fusión y de la operación de desbarbado de piezas.

Según esto, siempre que se mantengan unas correctas condiciones de operación, el gasto de agua en las fundiciones no es muy grande. No obstante, siempre es aconsejable estudiar las posibilidades de optimización en su consumo y utilización, al objeto de disminuir los gastos de abastecimiento y saneamiento y de conseguir mayores eficiencias técnicas en los sistemas de depuración que se utilicen.

Sería recomendable que las operaciones de limpieza de las instalaciones no se realizasen por medio de baldeos u otro método que requiera considerables cantidades de agua. Una operación muy interesante es la limpieza por medio de pistolas a presión, y, mejor aún, por medios mecánicos, que además de ahorrar agua son más eficaces.

5.3.2 Utilización de energía eléctrica

Es la principal fuente energética en aquellas fundiciones que utilizan hornos de inducción eléctricos.

En el caso de la fundición con molde de arena, y con el fin de minimizar los costes energéticos, la operación inicial de fusión de la colada se deberá realizar durante las horas **valle**. En las horas **punta** se deberá llevar a cabo el moldeo de piezas a partir del caldo, evitándose la aportación de grandes cantidades de materia prima a fundir.

Es recomendable efectuar un chequeo inicial del estado de los elementos que consumen energía eléctrica. En este chequeo se debe realizar un estudio de los suministros eléctricos en base a históricos de facturaciones y lectura de contadores.

Se deben adoptar dispositivos que permitan corregir la **energía reactiva**, como pueden ser baterías de condensadores u otros elementos. Este tipo de actuaciones son correspondidas con bonificaciones en los recibos de las compañías eléctricas suministradoras.

Otros focos de consumo de energía eléctrica que deben ser vigilados son:

- Molinos de arenaría.
- Sistemas de cadenas mecánicas para el transporte de moldes.
- Equipos compresores.
- Sistema de iluminación.
- etc.

Los **aparatos de alumbrado** dan lugar a un gasto energético considerable, por lo que deben ser escogidos y utilizados de forma racional. Desde el punto de vista del ahorro, debe darse preferencia a las lámparas de descarga (las fluorescentes) y a las dotadas de ópticas de alto rendimiento.

Por último, como ya se ha especificado en las operaciones anteriores (apartado 3.3.2), instalación de reguladores de velocidad en los motores rotativos para limitar su velocidad de giro.

5.3.3 Utilización de combustibles

La energía necesaria para la fusión de metales se extrae de la combustión de carbón, fuel-oil, gasoil o propano. Estos combustibles se utilizan tanto para el encendido de los hornos de fusión como para el mantenimiento de la carga térmica necesaria para el correcto transcurrir de la operación.

Se debe estudiar la posibilidad de canalizar adecuadamente los gases de combustión para aprovechar su elevada carga térmica, por ejemplo, para calefacción de naves.

Todo aquel elemento que pueda ceder parte de la carga térmica que posea (considerar tuberías, chimeneas, intercambiadores, etc.), deberá ser eficientemente calorifugado. Esto llevará a un importante ahorro, siempre que el aislamiento sea el correcto.

Por último, pueden adaptarse los *sistemas centralizados de control y gestión de la energía* y los *sistemas de cogeneración*, reseñados ya anteriormente (apartado 3.3.3). Dentro de las distintas operaciones que se dan en la industria del sector de tratamiento y transformación de metales, las operaciones de fundición permiten una mayor integración de los sistemas de cogeneración.

5.4 REDUCCIÓN EN ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN

Para evitar el impacto sobre la atmósfera que se produce al utilizar combustibles fósiles sólidos (carbón) o líquidos (fuel-oil, gasoil) es recomendable sustituirlos por gas natural y el propano (ya usados ampliamente en varias instalaciones de fundición). Además de dar lugar a un impacto medioambiental menor, exigen unas labores de mantenimiento más sencillas y limpias.

En cuanto a las **materias primas y auxiliares**, deben establecerse determinadas exigencias de composición teniendo en cuenta aspectos medioambientales. Es interesante la utilización de arenas de alta calidad, en cuanto que permiten ser utilizadas en un mayor número de ciclos.

En las operaciones de **granallado**, se debe intentar alargar la vida de la granalla, realizando un estudio de las posibilidades que ofrece el mercado, buscando alternativas a las que se utilizan, y ajustando el caudal y la velocidad.

En las operaciones de **mecanizado** de piezas (sobre todo en el caso de la colada continua) se deben utilizar aceites de corte de buena calidad y de larga vida, de forma que los períodos durante los cuales conservan sus propiedades sean los más largos posibles.

No proceder nunca a la incineración de residuos, sean de la naturaleza que sean, pues el impacto derivado de las emisiones a la atmósfera es muy considerable.

5.5 RECICLADO, APROVECHAMIENTO Y VALORIZACIÓN

Las principales recomendaciones aplicables a las operaciones de fundición de metales son las siguientes:

- El agua utilizada en el lavado de gases debe funcionar en circuito cerrado, de forma que se elimine el vertido de la misma y sólo se añada agua para compensar las pérdidas por evaporación.

- Las escorias pueden ser valorizadas: su alto contenido en metales puede ser aprovechado por otro centro. En caso de no conseguirse esto último, deben caracterizarse al objeto de conocer si constituyen residuos tóxicos y peligrosos y, en caso afirmativo, gestionarlos adecuadamente como tales.
- Las piezas modelo pueden ser recicladas (en caso de haber sido elaboradas en una empresa externa se enviarán a ésta).
- Se intentará que las arenas se reutilicen el mayor número de veces que sea posible.
- Devolver los envases que hayan contenido materias primas o auxiliares a los proveedores, o bien reutilizarlos en la instalación.
- Intentar reciclar las virutas procedentes de operaciones de mecanizado (en caso de desarrollarse esta actividad), previa eliminación de las taladrinas o aceites de corte en que están impregnadas. Si esto no es posible, intentar buscar otro centro que las aproveche.
- Los restos de coquillas pueden ser vendidas y utilizadas por otras empresa.
- Todo resto de fundición y las piezas rechazadas deberán recircularse, retornar al horno.
- Las arenas que se utilicen deberán poder recuperarse, para su reutilización.
- En las operaciones de mecanizado, si se utilizan taladrinas, se procurará reciclar éstas y alargar su vida todo lo que se pueda. Para ello se pueden utilizar sistemas de filtración en continuo, mediante membranas cerámicas, con el fin de librar a la taladrina de las impurezas que haya podido adquirir durante el proceso de mecanizado.

5.6 TECNOLOGÍAS LIMPIAS DISPONIBLES

En el caso de las instalaciones de fundición de metales, se pueden considerar los siguientes puntos:

- Instalación de sistemas de aspiración, para evitar que los gases y partículas se dispersen de forma incontrolada en toda aquella operación que da lugar a este tipo de impacto.

- En caso de ser necesario, se debe instalar un sistema de lavado de los gases y las partículas emitidas por los hornos de fundición. Para ello existen numerosas alternativas ingenieriles, de las cuales se recogen las siguientes observaciones:

Los **lavadores o absorbedores húmedos** son equipos en los que se produce una transferencia de ciertos gases y partículas sólidas desde la corriente gaseosa a depurar hasta un líquido que los retiene (normalmente agua).

El contacto del gas con el agua se puede hacer de diversas formas, según el equipo que se utilice. A la salida de la operación se obtiene un gas limpio de partículas que puede ser emitido a la atmósfera.

Los gases y partículas que han pasado al agua deben ser eliminados posteriormente. Para ello, se puede recurrir a una instalación de depuración en la que se separarán los contaminantes en forma de lodos. La gestión de estos lodos dependerá de sus características aunque, al tratarse de RTP en la mayor parte de los casos, deben ser retirados por gestores autorizados.

Los lavadores de gases son equipos versátiles, baratos y de buenos rendimientos. Sin embargo, el impacto medioambiental derivado de los lodos puede llegar a ser considerable.

- Las partículas emitidas pueden recogerse con **filtros de mangas**. Estos filtros son aparatos resistentes a las condiciones de trabajo, de gran versatilidad y eficacia. Mantienen rendimientos superiores al 99%, independientemente de las características del gas, siendo eficaces para tamaños de partículas de hasta 0,01 mm.

Los filtros de mangas se pueden utilizar, además de en la propia fundición, en las operaciones de granallado y desbarbado. Cada operación requerirá, no obstante, materiales de diferente naturaleza.

- Para la limpieza de equipos e instalaciones se procurará tender hacia procesos de limpieza mecánica (que no originan vertidos) en lugar de las prácticas comunes, con agua y agentes químicos, ya que estas aguas, debido a las sustancias que contienen, pueden llegar a ser catalogadas como RTP y gestionadas como tales. Si no es así, requerirán un tratamiento previo al vertido, que incluirá como mínimo, la reducción de los contenidos en sólidos, grasas y aceites.

En relación a los **vertidos de aguas residuales**, cuando la composición de las distintas corrientes sea diversa, es conveniente llevar a cabo un tratamiento segregado de las mismas.

Para el tratamiento de las aguas residuales se pueden utilizar diversos métodos. De forma esquemática:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
• Eliminación de aceites y grasas	• Flotación
	• Ultrafiltración
• Separación de sólidos en suspensión	• Sedimentación
• Ajuste del pH	• Tanques de neutralización
• Eliminación de metales	• Precipitación química seguida de sedimentación y/o filtración

Los fangos que se obtienen de los tratamientos anteriores deben deshidratarse hasta un grado de sequedad adecuado (recirculando el clarificado) y ser gestionados como RTP.

En el caso de las **acerías**, en los gases de salida de la operación de fusión se encuentran presentes cantidades considerables de partículas de composición diversa (polvos de acería), en la cual destacan metales tóxicos como el plomo y el cinc.

Es pues imprescindible evitar que estas partículas puedan pasar a la atmósfera, lo que se puede conseguir con filtros de mangas. El tratamiento que debe darse a los polvos de acería para minimizar su impacto medioambiental depende de la cantidad de cinc y plomo que presenten estas partículas.

Si los polvos de acería presentan un alto contenido en estos metales es viable su recuperación, con fines no sólo medioambientales sino también económicos. Si el contenido en plomo y cinc no es elevado, se puede pensar en una deposición final en tierra, previa solidificación con el objeto de evitar lixiviados contaminantes y arrastre de polvos.

Los dos tipos de procesos utilizados para la recuperación de cinc y plomo son los procesos pirometalúrgicos y los hidrometalúrgicos:

- Los **tratamientos pirometalúrgicos** consisten en operar en condiciones reductoras en el horno de fusión. El cinc y el plomo se volatilizan y se recogen como óxidos para su posterior valoración directa o retirado.

Los métodos pirometalúrgicos más utilizados son los basados en el horno *Waelz*, donde se utiliza arena y coque pulverizado. Éstos se mezclan con el polvo procedente del horno de fusión y se introducen en el horno rotativo de *Waelz*. La función de la arena es la de actuar como fundente escorificador; la del coque, como combustible y reductor.

El contacto de la mezcla con los humos producidos en el horno se lleva a cabo a contracorriente. Se produce entonces, en primer lugar, una volatilización del cinc, y posteriormente, el plomo escapa en forma de óxido.

Finalmente se produce una oxidación y formación de un óxido complejo de cinc y plomo, que puede ser vendido. La escoria producida contiene cantidades insignificantes de los anteriores metales.

- Los **tratamientos hidrometalúrgicos** se basan en una lixiviación del polvo, a partir de la cual se obtiene un líquido rico en cinc.

Es necesaria una disolución selectiva del cinc (que se encuentra como un óxido) frente al hierro, ya que estos dos metales suelen estar unidos. Para ello, se recurre a una lixiviación con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico.

Los tratamientos hidrometalúrgicos sólo permiten recuperar el cinc contenido como óxido, dejando un residuo que, en caso de no gestionarse adecuadamente, puede dar lugar a un importante impacto medioambiental.

Si el contenido en cinc y plomo en los polvos de acería, es escaso, o bien no se aplica ninguno de los tratamientos anteriores, se pueden someter estos polvos a **solidificación**. De esta forma se conseguirá eliminar su carácter tóxico, ante una posible deposición posterior.

En las **taladrinas inservibles** que se generan en las operaciones de mecanizado, al tratarse de emulsiones de aceites y agua, conviene separar ambas sustancias, operación muy interesante desde el punto de vista medioambiental. Las taladrinas son tipos genéricos de RTP. Si se logra separar el aceite del agua, sólo debe ser considerado como RTP el primero (volumen muy inferior al de la taladrina de la que procede), mientras que el agua tendrá unas características que permitirán que sea recirculada o, según la eficacia de la separación, vertida.

Las **arenas** se deberán someter a procesos de limpieza adecuados, con el fin de alargar su vida útil y favorecer su reutilización. Deberán ser constantemente recirculadas. Cuando se conviertan en residuo (no puedan seguir siendo utilizadas por los óxidos y las impurezas que contengan) deben ser caracterizadas y gestionadas en consecuencia.

Los **derrames y briscas** de moldeo deben ser limpiados y posteriormente refundidos, junto con otras chatarras, como pueden ser restos de forja, virutas, etc.

Los **aceites de maquinaria** (que presentan carácter de RTP) serán recogidos y gestionados por empresas especializadas en ello, y, por supuesto, autorizadas.

Los **baños agotados de decapado**¹ pueden ser catalogados como RTP. La gestión podría entonces encomendarse a empresas externas, o bien tratarse en la propia instalación, mediante métodos físico-químicos, gestionándose en el exterior a la instalación el residuo que se obtuviese.

Los **residuos acuosos con aceites** también pueden ser considerados como RTP, según los casos,. El tratamiento de esos residuos deberá basarse en una separación del agua y los aceites. Se deberán reutilizar los aceites lubricantes que se hayan recuperado, y en caso de no poder hacerlo, deberán ser gestionados por una empresa especializada.

Los **lodos** que procedan del tratamiento de las aguas residuales deberán ser deshidratados antes de darle un destino final (como RTP).

5.7 ADOPCIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS

Las buenas prácticas específicas que pueden llevarse a cabo en las operaciones de fundición de metales se refieren fundamentalmente, a un correcto mantenimiento de los siguientes elementos:

- Circuitos de refrigeración, con el fin de que las purgas se realicen con la menor frecuencia posible y que su impacto sea asumible desde el punto de vista medioambiental.
- Sistemas de aspiración de gases de las chimeneas de los hornos de fundición. Intentar evitar las emisiones fugitivas.
- Sistema de lavado de gases o de recogida de los polvos de acería.

Otras prácticas de interés son las siguientes:

- Recogida y reciclado de los derrames de arena que se ocasionan durante la configuración de los moldes.
- Vigilancia del correcto funcionamiento de las instalaciones de granallado. Ajustar convenientemente sus parámetros, con el fin de evitar posibles fugas de granallas.

¹ Esta operación se describe con más detalle en la parte dedicada a recubrimientos metálicos