

Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para las acerías integradas

Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, 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 medio ambiente, salud y seguridad 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 medio ambiente, salud y seguridad, 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 medio ambiente, salud y seguridad para acerías integradas contienen información relevante para la fabricación de lingotes de hierro y acero bruto o de baja aleación a partir del mineral de hierro y aleaciones de hierro. Las guías son aplicables a la fabricación de coque metalúrgico;

¹ 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.

a la producción de hierro y acero primario en altos hornos y hornos básicos de oxígeno (BF y BOF); al reciclaje de los desechos de metal en hornos de arco eléctrico (HAE); a la producción de productos semiacabados; y a las actividades de laminado en frío y en caliente. No abarcan la extracción de materias primas y el procesamiento adicional de los productos semiacabados en productos acabados. Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de cemento y cal contienen recomendaciones aplicables a los hornos de cal, que pueden estar presentes en las acerías integradas. 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

Anexo A: Descripción general de las 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 la fabricación de acero 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 ambiental

Las cuestiones ambientales relacionadas con la fabricación del acero incluyen principalmente:

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

Emisiones a la atmósfera

Además de las emisiones a la atmósfera relacionadas con el proceso y descritas a continuación, las plantas eléctricas de galvanización alimentadas con gases de subproducto (por ejemplo, gas de horno de coque [COG], gas de altos hornos [BF] y gas de hornos básicos de oxígeno [BOF]) también generan emisiones a la atmósfera. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de pequeñas emisiones de fuentes de combustión con una capacidad de hasta 50 megavatios térmicos (MWt), incluidas normas de emisión a la atmósfera de emisiones de escape. Las **Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las centrales térmicas** contienen orientaciones para las instalaciones con una

capacidad de generación de electricidad superior a los 50 MWt.

Material particulado

Cada una de las fases del proceso puede generar material particulado (MP), que puede contener a su vez distintas concentraciones de óxidos minerales, metales (por ejemplo, arsénico, cadmio, mercurio, plomo, níquel, cromo, cinc, manganeso) y óxidos de metal. El origen de este material son las actividades de fusión y refinado (BF, BOF, HAE) y los hornos de calor (dependiendo del tipo de combustible empleado); las acciones mecánicas (por ejemplo, escarpado y desbarbado); y el manejo de materiales (por ejemplo, materias primas, aditivos, materiales reciclados y residuales y subproductos). Otras fuentes de emisiones de material particulado (MP) son el almacenamiento, transporte, carga, coquización, deshornado y enfriamiento del carbón.

Procesos térmicos: Los procesos térmicos pueden generar emisiones de material particulado, incluidas la fabricación de coque, sinterización, peletización y la reducción directa.

Las plantas de hornos de coque constituyen otra fuente significativa de emisiones de polvo. Las emisiones continuas de material particulado pueden proceder del proceso de caldeo en la chimenea de combustión. Las emisiones intermitentes y fugitivas pueden proceder de muy distintas fuentes, incluidas las puertas de horno y nivelación, las válvulas y los orificios de carga. Otras emisiones proceden del deshornado, enfriamiento y cribado (emisiones discontinuas) y del tratamiento del gas de los hornos de coque (COG). Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de los hornos de coque incluyen²:

- Instalar campanas recolectoras para las pilas de los hornos de coque

² BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

- Mantener y limpiar todas las emisiones fugitivas asociadas a los hornos de coque (por ejemplo, la cámara del horno, puertas del horno, puertas de nivelación, válvulas y orificios de carga, juntas de marco y tubos de subida) para garantizar un funcionamiento limpio y seguro de los mismos
- Llevar a cabo una buena gestión operativa para alcanzar una operación constante y evitar, por ejemplo, el empuje verde
- Adoptar medidas de carga “sin humo”
- Adoptar sistemas de enfriamiento de coque en seco (CDQ)
- Emplear una batería de coque no recuperable
- Reducir la carga de coque en los altos hornos, incluyendo el uso de inyecciones de carbón pulverizado.

Las plantas de sinter pueden generar las cantidades más significativas de emisiones de material particulado en las acerías integradas. Las emisiones en la planta de sinter proceden principalmente de las operaciones de manejo de materiales, que generan material particulado aéreo, y de la reacción de combustión en el hilo de base³.

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de las plantas de sinter incluyen:

- Recircular parcial o totalmente el gas residual en la planta de sinter, de acuerdo con la calidad y productividad del sinter
- Utilizar sistemas de pulso de precipitadores electrostáticos (ESP), ESP y filtros textiles o adoptar métodos de extracción previa de polvo (ESP o ciclones) y sistemas de

lavado húmedo a alta presión para extraer el polvo de los gases residuales. La presencia de polvo fino, compuesto principalmente de cloruros de álcali y plomo, puede limitar la eficiencia de los ESP.

La peletización del mineral de hierro (una alternativa a la sinterización) puede generar emisiones de polvo y material particulado procedentes de la trituración de las materias primas, la zona de caldeo en la banda de induración y de las actividades de cribado y manejo. Las medidas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de la peletización son similares a las que se aplican a las operaciones de sinter, descritas anteriormente.

Actividades de fusión: Las emisiones de material particulado generadas por las plantas de altos hornos (BF) incluyen emisiones procedentes de la nave de colada (sobre todo, partículas de óxido de hierro y grafito) y la limpieza del gas de BF que sale de la parte superior del horno. Las medidas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de los altos hornos incluyen en el uso de sistemas de extracción de polvo, que suelen consistir en lavadores y precipitadores electrostáticos (ESP), antes de reutilizar los gases emitidos.

Durante la reducción directa (la reducción directa es una vía alternativa en la producción de acero primario y puede reducir notablemente las emisiones globales de polvo y otros contaminantes), las emisiones de polvo son parecidas, aunque menores en volumen, que las generadas por los altos hornos.

Las emisiones de material particulado procedentes de los hornos básicos de oxígeno (BOF) se dan durante el pretratamiento caliente del metal (incluida la transferencia de metales calientes, la desulfuración y los procesos de desescoriado); las operaciones de carga; el soplado de oxígeno para reducir el nivel de carbono y la oxidación de las impurezas; y las operaciones de sangría.

³ La distribución del tamaño del grano del MP procedente de las bandas de sinter antes de su reducción se divide en dos clases: el MP grueso (cuando el tamaño del grano se sitúa en torno a los 100 µm) y el MP fino (0,1-1 µm). BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de los BOF incluyen:

- Emplear controles primarios para los gases de combustión originados en los BOF, incluidos lavadores Venturi con o sin técnicas de combustión total⁴
- Instalar controles secundarios para capturar los gases emitidos durante el proceso de BOF
- Encapsular los conductos de colada de metal con extractores calibrados.

Los hornos de arco eléctrico (HAE) generan material particulado durante la fusión; las fases de inyección de oxígeno y descalaminado (emisiones primarias de gas); y la carga / sangría (emisiones secundarias de gas).

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado procedentes de los HAE incluyen:

- El rápido enfriamiento del gas, seguido del uso de bolsas filtrantes. Las bolsas filtrantes pueden revestirse con absorbentes (por ejemplo cal o carbono) para capturar más impurezas volátiles
- El uso de la extracción directa de los gases emitidos y de cerramientos y limpieza de la campana extractora.

En la zona de moldeo (lingotes y colada continua), el material particulado y los metales son el resultado de la transferencia del

⁴ Los lavadores Venturi pueden alcanzar concentraciones de material particulado de entre 5 y 10 mg/Nm³, aunque también es posible obtener concentraciones de hasta 50 mg/Nm³. Esto corresponde a las cargas de emisiones de material particulado de 1 gramo por tonelada (g/t) de acero líquido (AL). Cuando se recurre a la combustión plena, las emisiones de material particulado a la atmósfera oscilan entre 25 y 100 mg/Nm³ después del tratamiento, lo que corresponde a unas cargas de emisiones de material particulado de hasta 180 g/t de AL. BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

acero fundido hasta el molde y del recorte de la longitud del producto por medio de antorchas de oxígeno gas durante la colada continua. Los tubos de escape se equiparán con filtros y otros equipos de reducción, especialmente en los talleres de moldeo, laminado y acabado, siempre que sea necesario.

Las bolsas filtrantes y los ESP presentan una mayor eficiencia en términos de recogida de material particulado, mientras que los lavadores húmedos también facilitan la captura de compuestos solubles en agua (por ejemplo el dióxido de azufre [SO₂] y los cloruros). Las bolsas filtrantes suelen instalarse para controlar las emisiones de los talleres de fundido. A menudo son precedidos por ciclones, que se instalan para servir de separadores de chispas⁵.

Acciones mecánicas: Las actividades de escarpado y desbarbado pueden generar emisiones de material particulado. Los conductos de escape se dotarán de filtros escogidos en función de la actividad específica.

Manejo de materias primas: Para reducir las emisiones fugitivas de material particulado durante el manejo de materiales, se recomiendan las siguientes técnicas de prevención y control:

- Recurrir a pilas bajo techo o cubiertas o, en caso de ser inevitable el empleo de pilas al descubierto, emplear sistemas de pulverización de agua (no agua marina, ver la sección de “Cloruros” más adelante), supresores de polvo, cortavientos y otras técnicas de manejo de montones
- Diseñar un esquema sencillo y lineal para las operaciones de manejo de materiales que reduzca la necesidad de puntos múltiples de transferencia
- Maximizar el uso de silos cerrados para almacenar grandes cantidades de materiales en polvo

⁵ La adopción de ESP o/y ciclones como pretratamiento y de bolsas filtrantes pueden llegar a alcanzar niveles de emisiones que oscilan entre los 10 y 20 mg/Nm³.

- Cerrar los puntos de transferencia de los transportadores con controles de polvo
- Limpiar las cintas de retorno en los sistemas de cintas transportadoras para eliminar el polvo suelto
- Llevar a cabo un mantenimiento rutinario de la planta y buenos servicios para reducir al mínimo las pequeñas fugas y vertidos
- Implementar prácticas adecuadas de carga y descarga

Las emisiones fugitivas de polvo de carbón deben tenerse muy en cuenta. Las recomendaciones para prevenir y controlar las emisiones fugitivas de polvo de carbón durante la transferencia, almacenamiento y preparación del carbón incluyen:

- Minimizar la altura de la caída del carbón hasta las pilas
- Utilizar sistemas de pulverización de agua y revestimientos de polímeros para reducir la formación de polvo fugitivo durante el almacenamiento del carbón (por ejemplo en las pilas)
- Emplear bolsas filtrantes y otros equipos de control de material particulado para las emisiones de polvo de carbón procedentes de las actividades de trituración / calibrado
- Instalar colectores centrífugos seguidos de lavadores acuosos Venturi de alta eficacia para los secadores térmicos
- Instalar colectores centrífugos seguidos de filtros textiles para los sistemas de limpieza neumática del carbón
- Utilizar transportadores cerrados en combinación con equipos de extracción y filtración para evitar las emisiones de polvo en los puntos de transferencia de los transportadores
- Racionalizar los sistemas de transporte para reducir al mínimo la generación y el transporte de polvo en el emplazamiento.

Óxidos de nitrógeno

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) se producen debido a la alta temperatura de los hornos y a la oxidación del nitrógeno. Las emisiones de NO_x se asocian con las operaciones de sinter⁶; las operaciones de las plantas de peletización; la combustión de combustible para el caldeo de los hornos de coque, incluida la combustión de gas reciclado de los hornos de coque; recuperadores de altos hornos y estufas en el proceso de BF; el uso de gases de proceso o de altas temperaturas de combustión en los hornos de recalentamiento y recocido; y del decapado mixto con ácido, entre otras fuentes.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las técnicas para prevenir y controlar la generación de NO_x. Otras técnicas específicas recomendadas para la prevención y el control de las emisiones de NO_x en las operaciones de fabricación de acero incluyen:

- La aplicación de la recirculación de gases residuales
- El uso de baterías de horno con sistemas de suministro de aire multifásicos
- La adopción de combustión suprimida en los BOF

Dióxido de azufre

Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) se asocian principalmente con la combustión de compuestos de azufre en la alimentación del sinter, principalmente introducidos a través del polvo de coque⁷. Las emisiones de SO₂ también pueden proceder del proceso de induración en la peletización y del calentamiento de los hornos de coque⁸. El nivel de emisiones de SO₂ en los gases residuales generados por los hornos de

⁶ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

⁷ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

⁸ El nivel de las emisiones de SO₂ está relacionado con el contenido en azufre del combustible (gas enriquecido de altos hornos o gas de los hornos de coque) y el contenido en azufre del gas de horno de coque depende del rendimiento de la desulfuración en la planta de tratamiento del gas de horno de coque.

recalentamiento y recocido depende del contenido en azufre del combustible empleado.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las técnicas para prevenir y controlar la generación de emisiones de SO₂. Otras técnicas específicas recomendadas para prevenir y controlar el SO₂ incluyen:

- La selección de materias primas con bajo contenido en azufre
- Minimizar el contenido en azufre del combustible
- Añadir absorbentes como cal hidratada [Ca(OH)₂], óxido de calcio (CaO) o cenizas volátiles con un alto contenido en CaO, que se inyectarán en el orificio de salida de los gases de escape antes de su filtración
- Instalar sistemas de depuración de gas en húmedo en el sistema dedicado a la recolección y extracción de polvo
- Utilizar una inyección con lavador húmedo de una mezcla de pasta que contenga carbonato cálcico (CaCO₃), CaO, o Ca(OH)₂⁹
- Emplear lavadores secos cuando sea necesario¹⁰

Monóxido de carbono

Las fuentes de monóxido de carbono (CO) incluyen los gases residuales procedentes de la banda de sinterización, hornos de coque, BOF, BF y HAE. El CO se origina durante la oxidación del coque en los procesos de fusión y reducción, así como durante la oxidación de los electrodos de grafito y del carbono procedente del baño de metal durante las fases de fusión y refinado en los HAE. Los métodos recomendados para prevenir y controlar las emisiones de CO incluyen:

- La captura total de los gases emitidos del horno de coque, BF y BOF
- El reciclado de los gases que contengan CO
- El uso de prácticas de escoria espumosa en el proceso del HAE

Cloruros y fluoruros

Los cloruros y fluoruros están presentes en el mineral y tienden a formar ácido fluorhídrico (HF), ácido clorhídrico (HCl) y cloruros alcalinos durante los procesos de sinterización y peletización. El HF y el HCl pueden generarse a partir del gas emitido durante el proceso del HAE, en función de la calidad de los desechos cargados. Las emisiones de cloruro de hidrógeno proceden de las líneas de decapado (tipo HCl) y precisan del uso de sistemas de recuperación de HCl. Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar la contaminación incluyen:

- Emplear técnicas de extracción de polvo en seco y depuración húmeda, que también suelen instalarse para controlar las emisiones de material particulado y óxido de azufre respectivamente
- Controlar la entrada de cloruro en las materias primas mediante el proceso de selección de materiales
- Evitar la pulverización de agua marina
- Cuando sea necesario, excluir el cloruro del sistema, la fracción fina y rica en cloro del polvo de filtro no se reciclará en la alimentación del sinter (aunque por lo general suele ser apto para reciclar todos los residuos de proceso que contengan hierro).

COV y HAP orgánicos

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y hidrocarburos aromáticos policíclico (HAP) pueden proceder de las distintas fases en la fabricación de acero, incluido el gas emitido durante los procesos de sinterización y peletización debido a la entrada de aceite en la alimentación del sinter o

⁹ Esta técnica puede alcanzar una eficiencia de eliminación del SO₂ de hasta el 90 por ciento. Su implementación también permite reducir las emisiones de cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), amoníaco (NH₃) y metales.

¹⁰ Se trata de una técnica más cara y menos habitual que los lavadores húmedos.

peletización (principalmente mediante la adición de calamina de laminación); de los hornos de coque, enfriamiento y las plantas de subproductos; y de los HAE, especialmente cuando se agrega carbón como ‘bolsa de mineral’ en la cesta de desechos. Los HAP pueden estar presentes en el insumo de desechos en los HAE, aunque también pueden formarse durante la operación de los HAE¹¹. Las emisiones de hidrocarburos y niebla de aceite también pueden proceder de las operaciones de la planta de laminado en frío (tándem en frío).

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de COV incluyen las siguientes medidas integradas de proceso:

- Pretratar la calamina de laminación mediante prácticas tales como el lavado a presión para reducir el contenido en aceite
- Optimizar las prácticas operativas, especialmente los controles de combustión y temperatura
- Minimizar el insumo de aceite en el polvo y la calamina de laminación mediante el uso de técnicas de “buen mantenimiento” en la planta de laminado
- Utilizar sistemas avanzados de recogida de emisiones y la separación del agua (por ejemplo, bolsas filtrantes prevestidas)
- Recircular el gas emitido
- Tratar el gas emitido y captado mediante su posterior combustión, la depuración química y la biofiltración.

Dioxinas y furanos

Las plantas de sinterización constituyen una fuente significativa de emisiones de dibenzodioxina policlorada y dibenzofurano (dioxinas y furanos o PCDD/F). 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. Además, el alto contenido en aceite de la calamina de laminación puede dar lugar a emisiones más elevadas de PCDD/F. Otra posible fuente de emisiones de PCDD/F son los gases emitidos en los HAE. La posible presencia de policlorodifenilos (PCB), PVC y otras sustancias orgánicas en el insumo de desechos (desechos triturados procedentes en su mayoría de equipos antiguos) puede representar un problema debido a las altas probabilidades de formación de PCDD/F¹².

Algunas de las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de PCDD/F son:

- La recirculación de gases residuales puede reducir las emisiones de contaminantes y disminuye el volumen de gas necesario para el tratamiento al final de la canalización
- Se aglomerará el material fino de suministro (por ejemplo polvo)
- En las plantas de sinterización: minimizar el insumo de cloruros en el lecho; emplear aditivos como la cal viva; y controlar el contenido en aceite de la calamina de laminación (<1 por ciento)
- Excluir la fracción fina rica en cloro de polvo filtrado del reciclaje en la alimentación del sinter
- Utilizar desechos limpios para la fusión
- Recurrir a la combustión posterior de los gases emitidos por los HAE para alcanzar temperaturas superiores a los 1200°C y maximizar el tiempo de residencia a esta temperatura. El proceso se completa mediante un rápido enfriamiento para minimizar el tiempo en la ventana de temperatura de reformación de las dioxinas
- Utilizar la inyección de oxígeno para garantizar una combustión completa
- Inyectar aditivos en polvo (por ejemplo carbón activado) en la corriente de gas para adsorber las dioxinas antes de

¹¹ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

¹² Ibid.

eliminar el polvo mediante la filtración (junto con el tratamiento posterior como residuos peligrosos)

- Instalar filtros textiles con sistemas de oxidación catalítica.

Metales

Los metales pesados pueden estar presentes en los gases y humos procedentes de los procesos térmicos. El volumen de emisiones de metales depende del tipo de proceso y de la composición de las materias primas (mineral de hierro y desechos). Las partículas procedentes de la planta de sinterización, BF, BOF y HAE pueden contener cinc (que tiene el factor de emisión más elevado en los HAE, especialmente cuando se utilizan desechos de acero galvanizado), cadmio, plomo, níquel, mercurio, manganeso y cromo¹³.

Las emisiones de partículas de metal se controlarán con técnicas de reducción de polvo de alta eficacia aplicadas al control de las emisiones de partículas descrito anteriormente. Las emisiones gaseosas de metales suelen controlarse mediante el enfriamiento de los gases seguido de bolsas filtrantes.

Gases de efecto invernadero (GEI)

Las plantas de fabricación de acero son intensivas en términos de energía y pueden emitir cantidades significativas de dióxido de carbono (CO₂). Las emisiones de GEI procedentes de las acerías integradas suelen generarse durante la combustión de combustibles fósiles como el carbón para la energía (calor), la reducción de mineral, la producción de electricidad y el uso de cal como materia prima. El valor promedio de la intensidad del dióxido de carbono en el sector ronda los 0,4 t C/t de acero bruto. Además de la información específica del sector que se presenta a continuación, las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones

sobre la eficiencia energética y la gestión de los gases de efecto invernadero.

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) incluyen:

- Minimizar el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética mediante medidas básicas que incluyan entre otras:
- Un adecuado aislamiento de las superficies para limitar la dispersión del calor
- Controlar el coeficiente de aire / combustible para reducir el flujo de gases
- Implementar sistemas de recuperación de calor
- Utilizar los gases residuales mediante un intercambiador de calor para recuperar la energía térmica del gas y como gas de combustión destinado a producir agua y aire caliente y / o vapor y electricidad
- Implementar buenas prácticas de combustión, como son la sobreoxigenación o el precalentamiento de aire forzado y el control automático de los parámetros de combustión
- Precalentar los desechos limpios
- Reducir el consumo de combustible durante la calefacción y tratamiento térmico mediante la recuperación de gas y / o la adopción de buenos controles de combustión
- Seleccionar combustibles con un menor coeficiente de contenido en carbono y valor calorífico, como por ejemplo gas natural (CH₄). Las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de CH₄ son aproximadamente un 60 por ciento menores que las emisiones procedentes del carbón o coque de petróleo.
- Recuperar energía siempre que sea posible, utilizar todos los gases de proceso (por ejemplo, gas de coque, gas de altos hornos, gas de horno básico de oxígeno) e instalar una turbina superior de recuperación de presión de gas (TRT) en los altos hornos

¹³ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero; BREF CE (2001) para la industria de procesamiento de metales ferrosos.

- Optimizar la logística de almacenamiento intermedio para facilitar una tasa máxima de carga en caliente, carga directa o laminado directo, reduciendo así las necesidades de recalentamiento
- Emplear los procesos de moldeado semifinal y de desbastes finos siempre que sea posible.

Residuos y subproductos sólidos

La mayoría de los residuos procedentes del sector integrado del hierro y el acero se recicla para obtener valor añadido a partir de distintas clases de subproductos, escoria, calamina y polvo. Los materiales residuales pueden consistir en escoria procedente de los BF; polvo fino y lodos generados durante la limpieza del gas en los BOF; parte de la escoria producida por los BOF; cloruros alcalinos y cloruros de metales pesados procedentes del último campo de precipitadores electrostáticos; y el tratamiento de los gases emitidos procedentes de las bandas de sinterización.

El alquitrán y otros compuestos orgánicos (por ejemplo, BTX) recuperados en el COG de la planta de tratamiento del gas de hornos de coque se manejará de forma que se eviten las fugas o vertidos accidentales según las recomendaciones sobre almacenamiento de materiales peligrosos descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, reciclándose en el proceso de fabricación de coque¹⁴ o poniéndose a la venta para uso en otras actividades industriales. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se formulan recomendaciones adicionales sobre la gestión de residuos y materiales sólidos peligrosos.

Escoria

Los residuos de la escoria pueden venderse como subproductos (por ejemplo, la escoria procedente de los BF o BOF puede emplearse en la ingeniería civil, la construcción de

carreteras y la industria del cemento). Los HAE producen un volumen significativo de escoria. Cuando la reutilización de la escoria de los HAE no sea factible desde el punto de vista financiero o técnico, se eliminará junto con el polvo procedente del tratamiento de los gases emitidos en un vertedero cuyo diseño tenga en cuenta las propiedades de la escoria y el polvo. Asimismo, se tendrán en cuenta las condiciones geológicas locales a la hora de ubicar las pilas de escoria.

Residuos metálicos

Los residuos y subproductos metálicos generados durante las operaciones de laminado y acabado (por ejemplo, escarpado de la calamina / virutas, polvos procedentes del escarpado, calamina de laminación, lodos de tratamientos de agua y calamina, lodos de trituración y aceite / grasas) se reutilizarán en el proceso. Ciertos subproductos (por ejemplo, calamina y lodos de trituración oleosos procedentes de las plantas de tratamiento del agua) se acondicionarán antes de su reciclado interno, reduciendo por ejemplo su contenido en aceite y en función de los requisitos de proceso. Los metales procedentes del polvo, la escoria y metales residuales de los filtros se recuperarán y reciclarán en el alimentador de sinterización.

Ácidos

Los lodos de regeneración procedentes del decapado ácido pueden reciclarse en las plantas de acero (HAE y hornos altos) o procesarse para la producción de óxidos de hierro. El óxido de hierro procedente de la regeneración del ácido hidrocloreídrico puede emplearse en distintas industrias como insumo de alta calidad (por ejemplo, la producción de materiales ferromagnéticos, el polvo de hierro o material de construcción, pigmentos, vidrio y cerámicas)¹⁵.

¹⁴ Los residuos peligrosos de proceso que contengan sustancias orgánicas se reciclarán en los hornos de coque.

¹⁵ BREF CE (2001) para la industria de procesamiento de metales ferrosos.

Tratamiento de lodos

Los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales pueden contener metales pesados (por ejemplo, cromo, plomo, cinc y níquel), aceite y grasa. Una parte de los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales puede reciclarse de forma interna o bien depositarse en vertederos especiales. La reutilización de los lodos puede requerir una fase de tratamiento previo que suele consistir en actividades de prensado, secado y granulación.

Residuos de desmantelamiento

Los residuos de desmantelamiento en las instalaciones de fabricación de acero pueden incluir materiales aislantes que contengan asbesto, así como elementos contaminados de suelos y aguas superficiales procedentes de zonas como son las pilas de almacenamiento de carbón y las plantas de tratamiento de hornos de coque y gas de hornos de coque. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones para la gestión de materiales residuales, actividades de desmantelamiento y tierras contaminadas.

Aguas residuales

Por lo general, las corrientes de efluentes en el sector incluyen agua de refrigeración, aguas pluviales, aguas de aclarado y distintas corrientes de efluentes de proceso. El agua de refrigeración suele reciclarse en el proceso. El agua de aclarado puede contener sólidos en suspensión, polvo, aceite lubricante y otros contaminantes dependiendo del proceso.

Las medidas recomendadas para prevenir la generación de efluentes durante las actividades que emplean agua de refrigeración y aclarado incluyen:

- Elaborar un plan de reciclaje del agua en toda la planta para maximizar la eficiencia del uso del agua.

Normalmente, es posible reciclar más del 95 por ciento del agua.

- Siempre que sea posible, utilizar técnicas secas para eliminar el polvo en los equipos y locales de la planta, y recoger y tratar el agua de aclarado antes de su descarga o reutilización
- Recoger vertidos y filtraciones (por ejemplo, utilizando fosas de seguridad y sistemas de drenaje).

Aguas residuales de procesos industriales

Las fuentes de efluentes de procesos incluyen la planta de hornos de coque, el proceso de laminado y la planta de decapado.

La planta de hornos de coque: Las corrientes de efluentes en la planta de hornos de coque incluyen agua procedente del separador de alquitrán / agua (que consiste en vapor de agua formado durante el proceso de coquización y el agua condensada empleada en los refrigeradores y para la limpieza del COG); agua generada por el sistema de oxidación húmedo de desulfuración; y agua del sistema cerrado de refrigeración.

El efluente del separador de alquitrán / agua contiene elevadas concentraciones de amoníaco. Este efluente se tratará con un desmoldeador de amoníaco, y la corriente resultante contiene distintos compuestos orgánicos (como fenoles) e inorgánicos (como amoníaco residual y cianuros). En la planta de coque se empleará un tratamiento biológico específico para el fenol.

Las emisiones de mezcla en el agua pueden en ocasiones generarse durante las operaciones de enfriamiento húmedo del coque. El exceso de agua de enfriamiento se recogerá y utilizará para la siguiente operación de enfriamiento.

Los efluentes generados durante los procesos de desulfuración oxidante húmeda pueden contener sólidos en suspensión (incluidos metales pesados), HAP, compuestos de

azufre y fluoruros / cloruros, dependiendo de los sistemas de extracción de polvo en uso. Esta corriente de efluente puede tener un efecto nocivo para la planta de tratamiento biológico de aguas residuales. El agua de refrigeración por gas indirecto se recircula y no afectará a la cantidad de aguas residuales producidas. En el caso del enfriamiento directo con gas, el agua de refrigeración podría considerarse agua de lavado y drenarse en última instancia mediante un alambique¹⁶.

Proceso de laminado: Los efluentes procedentes de la extracción de calamina contienen sólidos en suspensión y aceite emulsificado, además de calamina gruesa. El tratamiento de los efluentes incluye una cubeta colectora de sedimentación donde los sólidos, principalmente óxidos de hierro, se asientan en el fondo y los contaminantes oleosos en la superficie se eliminan mediante espumadores y se vierten en las cubetas de recogida. El agua de refrigeración procedente de los procesos de laminado se recogerá y tratará antes de reutilizarla.

Plantas de decapado: Las plantas de decapado generan tres corrientes de efluentes de proceso, incluidos el agua de aclarado, los baños de decapado usados y otras aguas residuales (por ejemplo, el agua de los extractores de humo en el sistema de escape de los tanques de decapado y el agua de lavado generada durante la limpieza de la planta). El mayor volumen de aguas residuales lo genera el aclarado, mientras que la carga de contaminación más significativa proviene del intercambio continuo o en lotes de los baños de decapado¹⁷.

Las técnicas recomendadas para prevenir los efluentes en las plantas de decapado incluyen:

- Instalar unidades de recuperación y reciclaje de ácidos

- Reducir el volumen de efluentes y minimizar la carga contaminante de las corrientes residuales mediante la optimización del proceso de decapado
- Adoptar la cascada contracorriente y, en ciertos casos, reciclar las descargas de agua de aclarado del decapado ácido hacia la planta de regeneración de ácidos

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Las técnicas para tratar las aguas residuales de procesos industriales en este sector incluyen la segregación de fuentes y el pretratamiento de las corrientes de aguas residuales para i) reducir el amoníaco mediante la disolución con aire, ii) reducir las sustancias orgánicas tóxicas, como son los fenoles empleados en el tratamiento biológico y iii) reducir los metales pesados empleando la precipitación química, la coagulación y la floculación, etc. Las fases clásicas del tratamiento de aguas residuales incluyen separadores aceite agua o la flotación de aire disuelto para separar los aceites de los sólidos flotantes; la filtración dirigida a separar los sólidos filtrables; la equalización de flujo y carga; la sedimentación de los sólidos y la reducción mediante el uso de clarificadores; la deshidratación y eliminación de residuos en vertederos de residuos peligrosos designados para este fin. 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.). Los métodos empleados en el tratamiento de las aguas residuales suelen consistir en la coagulación / floculación / precipitación empleando cal o hidróxido de sodio; la corrección / neutralización del pH; la sedimentación / filtración / flotación y

¹⁶ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

¹⁷ BREF CE (2001) para la industria de procesamiento de metales ferrosos.

separación de aceite; y los carbones activados.¹⁸ Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones adicionales sobre técnicas de manejo de las aguas residuales.

En las **guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se explica la gestión de aguas residuales industriales y se ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión 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 medio ambiente, salud y seguridad** 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 aguas pluviales contaminadas pueden proceder de las zonas de almacenamiento del carbón, el coque y otros materiales.¹⁹ El suelo alrededor de las zonas de almacenamiento externo de carbón puede verse afectado por filtraciones altamente ácidas que contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales pesados. Las recomendaciones específicas para el sector incluyen:

- Almacenar los desechos y otros materiales (por ejemplo, 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

- 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 las pilas 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.

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 medio ambiente, salud y seguridad**.

Ruido

Las instalaciones integradas de fabricación de acero generan ruido a partir de diversas fuentes, incluida la manipulación de desechos y productos; los ventiladores de gas residual o de subproducto; equipos giratorios en general; los sistemas de extracción de polvo; la carga de hornos; los procesos de fusión en los HAE; los quemadores de combustible; las actividades de corte; las unidades de desenrollado de alambón; y los sistemas de transporte y ventilación. Algunas de las técnicas recomendadas para reducir, prevenir y controlar el ruido son:

- Cerrar los edificios y/o aislar las estructuras donde se lleve a cabo el proceso
- Cubrir y cerrar las zonas de almacenamiento y manejo de desechos y placas / desbastes
- Cerrar los ventiladores, aislar los conductos de ventilación y emplear reguladores de tiro
- Adoptar prácticas de escoria espumosa en los HAE

¹⁸ BREF CE (2001) para la industria de procesamiento de metales ferrosos.

¹⁹ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

- Limitar la manipulación y el transporte de desechos al horario nocturno cuando sea necesario

Las medidas de reducción de ruido deben lograr los niveles de ruido ambiente descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Los riesgos que la construcción y el desmantelamiento de las acerías integradas 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 medio ambiente, salud y seguridad**.

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

- Riesgos físicos
- Calor y líquidos calientes
- Radiación
- Riesgos para el aparato respiratorio
- Riesgos de origen químico
- Riesgos de electrocución
- Ruido
- Riesgos de atrapamiento
- Incendios y explosiones

Riesgos físicos

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** incluyen orientaciones sobre la prevención y el control de los riesgos físicos en general. Los riesgos físicos específicos de la industria se describen a continuación.

Los posibles riesgos físicos durante las operaciones de acerías integradas se asocian con el manejo de materias primas y

productos de gran tamaño y peso (por ejemplo, la carga de altos hornos y HAE, el almacenamiento y movimiento de palanquillas y desbastes gruesos, el movimiento de grandes cazos llenos de hierro y acero líquido); el transporte mecánico pesado (por ejemplo, trenes, camiones y montacargas de horquilla); las actividades de trituración y corte (por ejemplo, el contacto con material de desecho expulsado por las máquinas-herramientas); los procesos de laminado (por ejemplo, la colisión y aplastamiento de los materiales laminados a gran velocidad y de los procesos); y el trabajo en altura (por ejemplo, plataformas, escalerillas y escaleras).

Cargas pesadas / desbarbado y corte / laminado

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 acerías integradas. 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, situación del centro de gravedad)
 - Las especificaciones de la grúa elevadora a emplear (carga máxima que puede elevarse, dimensiones)
 - La capacitación del personal en el manejo de los equipos de elevación y la conducción de los dispositivos mecánicos de transporte
 - La zona de operación de los equipos fijos de manipulación (por ejemplo, grúas, plataformas elevadas) no debería interferir con las zonas de trabajo y ensamblaje previo.

- Restringir el manejo de materiales y productos a zonas bajo supervisión
- Se llevará a cabo el mantenimiento y reparación periódicos de los equipos de levantamiento, eléctricos y de transporte.

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

- Situar las máquinas herramienta a una distancia segura de otras zonas de trabajo y espacios de tránsito
- Inspeccionar y reparar periódicamente las máquinas herramientas, en particular las protecciones y dispositivos/equipos de seguridad
- Capacitar al personal en el uso adecuado de máquinas herramientas y equipos de protección personal (EPP).

Las medidas para prevenir y controlar los riesgos asociados con los procesos y las actividades de laminado incluyen:

- Colocar mallas alrededor de trenes de laminación y pantallas en aquellos puntos donde el material laminado pueda desprenderse accidentalmente de las guías de laminado
- Proporcionar carriles a lo largo de la placa de transferencia con barreras acopladas que se abran sólo cuando la máquina no esté en uso

Calor y líquidos calientes

Las altas temperaturas y la radiación directa de infrarrojos (IR) son peligros frecuentes en las acerías integradas. Las altas temperaturas pueden provocar fatiga y deshidratación. La radiación directa de IR también supone un riesgo para la vista. El posible contacto con metal o agua caliente puede producirse en la zona de pulverización de refrigeración de la colada continua, en las salpicaduras de metal fundido o mediante el contacto con superficies calientes. Las medidas recomendadas

para prevenir y controlar la exposición al calor y a los líquidos / materiales calientes incluyen:

- Proteger las superficies donde se prevea un estrecho contacto con los equipos en caliente o salpicaduras procedentes de materiales calientes (por ejemplo, en las plantas de hornos de coque, altos hornos, BOF, HAE, colada continua y hornos de calentamiento en plantas de laminado, y cazos)
- Implementar zonas de protección de seguridad para separar las áreas donde se manipulen o almacenen temporalmente los materiales y artículos calientes (por ejemplo, palanquillas, desbastes gruesos o cazos). 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 (por ejemplo, guantes y calzado aislados, gafas de protección frente a IR y radiación ultravioleta e indumentaria de protección frente a la radiación de calor y las salpicaduras de acero líquido)
- Instalar sistemas de ventilación / refrigeración para controlar las temperaturas extremas
- Implementar la rotación de trabajo y proporcionar frecuentes descansos, acceso a zonas frescas de descanso y agua potable

Radiación

Para determinar la composición e integridad del acero, durante las operaciones suelen realizarse pruebas de rayos gama en los equipos y productos de las plantas de laminación de acero. Pueden emplearse las siguientes técnicas para limitar los riesgos de exposición de los trabajadores:

- 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.

Riesgos para el aparato respiratorio

Materiales aislantes

El asbesto y otras fibras minerales de uso generalizado en las plantas de mayor antigüedad pueden plantear riesgos de inhalación de sustancias cancerígenas. Las prácticas recomendadas para gestionar estas situaciones incluyen:

- Profesionales certificados llevarán a cabo un sondeo de toda la planta y un plan de gestión de los materiales aislantes que contengan asbesto
- Los materiales deteriorados o frágiles se repararán o retirarán, supervisándose y gestionando otros materiales en el emplazamiento. La manipulación de materiales aislantes que contengan asbesto o cualquier otro material peligroso corresponderá exclusivamente a contratistas y personal debidamente certificado y capacitado de acuerdo con los procedimientos aceptados internacionalmente para su reparación o retirada.
- Se evitará el uso de asbesto en las nuevas instalaciones o mejoras en las mismas.
- Se colocará una planta de polietileno de baja densidad bajo el elemento que deba aislarse (por ejemplo, un tubo o un depósito) y bajo la pila de materiales de aislamiento que deba distribuirse en capas para así prevenir la contaminación de la superficie con fibras.

Polvo y gases

El polvo generado en las acerías integradas incluye hierro y polvos metálicos, principalmente presentes en los BF, BOF, HAE, edificios dedicados a la colada continua, plantas de peletización y sinterización; y polvos minerales principalmente presentes en el almacenamiento de materias primas, BF y planta de hornos de coque.

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), el níquel (Ni), el plomo (Pb), el manganeso (Mn), el cinc (Zn) y el mercurio (Hg). El más significativo es el polvo presente en los procesos de fusión y moldeado (por ejemplo, BF, BOF, colada continua), donde el polvo, generado durante las operaciones a altas temperaturas, es más fino y fácil de inhalar que el polvo producido en los procesos de laminado. En las zonas de almacenamiento de materias primas y en las plantas de altos hornos y hornos de coque, los trabajadores están expuestos al polvo mineral, que puede contener metales pesados. Además, la sangría en los BF genera emisiones de grafito.

Durante aquellos procesos de fusión y moldeado donde se lleven a cabo operaciones a altas temperaturas, los trabajadores pueden estar expuestos a riesgos de inhalación de gas, que puede contener metales pesados. En las plantas de BF, BOF y hornos de coque, los trabajadores pueden estar expuestos a los riesgos de inhalación de monóxido de carbono. Otros riesgos de inhalación en la planta de hornos de coque incluyen los óxidos de azufre y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). En la planta de refinería del COG, la presencia de amoníaco, hidrocarburos aromáticos, naftalina e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) pueden plantear otros riesgos de inhalación.

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

- La separación y confinamiento de las fuentes de polvo y gases
- El diseño de los sistemas de ventilación en las instalaciones maximizará la circulación del aire. El aire de salida se filtrará antes de su descarga a la atmósfera
- La instalación de sistemas de ventilación de escape en las fuentes puntuales significativas de polvo y emisiones de gas, especialmente en la zona de relleno de los BF, BOF o HAE
- Proporcionar una cabina sellada con aire acondicionado filtrado en caso de ser necesario un operador en una zona contaminada
- 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
- Implementar una política de revisiones médicas periódicas

Se emplearán tecnologías de control de riesgos respiratorios cuando la exposición no pueda evitarse de otro modo, como por ejemplo las operaciones de relleno del horno de coque; operaciones manuales como son la trituración 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 (por ejemplo, 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.

Riesgos de origen químico

Además de los riesgos de inhalación mencionados anteriormente, los trabajadores de las acerías integradas pueden estar expuestos a riesgos de contacto e ingestión de sustancias químicas, especialmente en la planta de hornos de coque y de refinería de COG, en presencia de naftalina, compuestos de aceite pesado e hidrocarburos aromáticos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las medidas recomendadas para prevenir el contacto o la ingestión de sustancias químicas.

Riesgos de electrocución

Los trabajadores pueden estar expuestos a riesgos de electrocución debido a la presencia de equipos eléctricos pesados en toda la acería integrada. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar la exposición a los riesgos de electrocución.

Ruido

La manipulación de materias primas y de producto (por ejemplo, minerales, metales residuales, placas y barras), así como los propios procesos de producción (por ejemplo, altos hornos, BOF, HAE, colada continua, laminado, etc.) pueden generar niveles excesivos de ruido. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar las emisiones de ruido.

Atrapamiento

El riesgo de atrapamiento puede darse en las zonas de almacenamiento y en especial durante las operaciones de mantenimiento (por ejemplo, dentro de grandes tolvas de minerales). Las medidas para prevenir los enterramientos incluyen:

- Garantizar la instalación de muros de contención adecuados para las pilas de minerales
- Garantizar cierta distancia entre las pilas y las vías de tránsito
- Elaborar y adoptar procedimientos específicos de seguridad para trabajar dentro de las tolvas (por ejemplo, sistemas / procedimientos de verificación para interrumpir la cinta de relleno y cerrar el orificio de relleno)
- Capacitar al personal para formar pilas estables y seguir los procedimientos

Riesgos de incendio y explosión

La manipulación de metales líquidos puede resultar en explosiones que a su vez provoquen el escape del flujo de fusión y quemaduras, especialmente cuando la humedad queda atrapada en los espacios cerrados. Otros riesgos son los incendios provocados por los metales fundidos y la presencia de combustible líquido y otras sustancias químicas inflamables. Entre las recomendaciones para prevenir y controlar el riesgo de incendios y explosiones se incluyen:

- Asegurarse de que los materiales estén completamente secos antes de entrar en contacto con el hierro y el acero líquido
- La distribución de las instalaciones garantizará una adecuada separación de los gases inflamables, conductos de oxígeno y materiales y líquidos combustibles de las zonas calientes y de las fuentes de ignición (por ejemplo, paneles eléctricos)

- Proteger los conductos de gas inflamable, oxígeno y materiales combustibles durante las actividades de mantenimiento consideradas “de riesgo”;
- Diseñar los equipos eléctricos de modo que se prevengan los riesgos de incendio en cada zona de la planta (por ejemplo, el diseño del voltaje / amperios y el grado de aislamiento de los cables; proteger los cables de la exposición a líquidos calientes; usar tipos de cable que minimicen la propagación del fuego)
- En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona información sobre la preparación y respuesta en caso de emergencia.

El carbón puede arder espontáneamente a causa del calor generado durante la oxidación natural de las superficies de carbón nuevo^{20,21}. El polvo de carbón es combustible y representa un riesgo de explosión en las instalaciones de manipulación de carbón asociadas con las acerías integradas. Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar el riesgo de explosiones provocadas por el almacenamiento de polvo de carbón incluyen:

- Se minimizarán los tiempos de almacenamiento de carbón
- Las pilas de carbón no se ubicarán sobre fuentes de calor como son las líneas u orificios de acceso del vapor
- Las estructuras cubiertas dedicadas al almacenamiento de carbón se construirán con materiales no combustibles
- Las estructuras de almacenamiento se diseñarán de modo que se minimicen las superficies donde pueda asentarse el polvo de carbón y proporcionando sistemas de extracción de polvo

²⁰ Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations (Edición del año 2000).

²¹ Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines (Edición de 2004).

- Se reducirán al mínimo absoluto las fuentes de ignición, proporcionando equipos de puesta a tierra para minimizar los riesgos de electricidad estática. Toda la maquinaria y sistemas eléctricos situados dentro de la zona o estructura de almacenamiento deberá someterse a controles en cuanto a su uso en lugares peligrosos, y asimismo dotarse de motores a prueba de chispas.

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 acerías integradas son comunes a los de la mayoría de las demás instalaciones industriales y se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

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 este sector. 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 medio ambiente, salud y seguridad** 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 medio ambiente, salud y seguridad para energía térmica** contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** 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 medio ambiente, salud y seguridad**. 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.

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 medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

Uso de recursos y generación de desechos

El Cuadro 3 muestra ejemplos de indicadores de consumo de energía y agua en este sector, mientras que el Cuadro 4 contiene ejemplos de indicadores de generación de emisiones y residuos. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente con fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas.

Cuadro 1. Niveles de emisiones a la atmósfera para las acerías integradas^c

Contaminante	Unidades	Valor indicativo
Material particulado	mg/Nm ³	20-50 ^a
Niebla de aceite	mg/Nm ³	15
NO _x	mg/Nm ³	500 750 (horno de coque)
SO ₂	mg/Nm ³	500
COV	mg/Nm ³	20
PCDD/F	ng TEQ/ Nm ³	0,1
Monóxido de carbono (CO)	mg/Nm ³	100 (HAE) 300 (horno de coque)
Cromo (Cr)	mg/Nm ³	4
Cadmio (Cd)	mg/Nm ³	0,2
Plomo (Pb)	mg/Nm ³	2
Níquel (Ni)	mg/Nm ³	2
Cloruro de hidrógeno (HCl)	mg/Nm ³	10
Fluoruro	mg/Nm ³	5
Fluoruro de hidrógeno (HF)	mg/Nm ³	10
H ₂ S	mg/Nm ³	5
Amoniaco	mg/Nm ³	30
Benzo(a)pireno	mg/Nm ³	0.1
Humo de alquitrán ^b	mg/Nm ³	5
Notas:		
^a Valor inferior en presencia de metales tóxicos		
^b El humo de alquitrán se define como la materia orgánica extraíble por medio de disolventes de la materia total recogida en las membranas de filtración		
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: sin corrección para el vapor de agua ni el contenido en oxígeno, temperatura de 273K (0°C), presión de 101,3 kPa (1 atmósfera).		

Cuadro 2. Niveles de efluentes para el sector de acerías integradas

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
pH	-	6-9
TSS	mg/L	35
Aceite y grasa	mg/L	10
Aumento de temperatura	°C	<3 ^a
DQO	mg/L	250
Fenol	mg/L	0,5
Cadmio	mg/L	0,01
Cromo (total)	mg/L	0,5
Cromo (hexavalente)	mg/L	0,1
Cobre	mg/L	0,5
Plomo	mg/L	0,2
Estaño	mg/L	2
Mercurio	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,5
Cinc	mg/L	2
Cianuros (libres)	mg/L	0,1
Cianuros (total)	mg/L	0,5
Nitrógeno total	mg/L	30
Amoníaco	mg/L (como N)	5
Fósforo total	mg/L	2
Fluoruro	mg/L (como F)	5
Sulfuros	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	5
HAP	mg/L	0,05
Toxicidad	A determinar en cada caso	

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.

concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)²², la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)²³, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)²⁴, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea²⁵ u otras fuentes similares.

Cuadro 3. Consumo de recursos y energía⁽¹⁾

Insumos por unidad de producto	Unidad de carga de masa	Valor de referencia de la industria					
		Sínter	Hornos de coque	BF	BOF	HAE	Laminado
Electricidad, directa	MJ/t producto	90-120	20-170	270-370	40-120	1250-1800	70-140 kWh/t
Combustible	MJ/t producto	60-200	3.200-3.900	1.050-2.700	20-55	-	1.100-2.200
Agua	m ³ /t producto	0,01-0,35	1-10	1-50	0,5-5	3	1-15

Fuentes:

- Comisión Europa, PCIC, "Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la producción de hierro y acero" y "Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesamiento de Metales Ferrosos". Diciembre de 2001
- Agencia Ambiental del Reino Unido. 2001, 2002. Technical Guidance Notes. IPPC S2.01, S2.04. Benchmark values.

2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Guías 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 la materia que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: Guías sobre la

²² Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>.

²³ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

²⁴ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

²⁵ Disponibles en: 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)²⁶.

Cuadro 4. Generación de emisiones / residuos

Cantidad por unidad de producto	Unidad	Valor de referencia de la industria					
		Sínter	Hornos de coque	BF	BOF	HAE	Laminado
Emisiones (1) (2)							
Materia particulada	Kg/T producto	0.04-0,4	0,05-3,5	0,005	0,2	0,02	0,002-0,040
CO	Kg/T Producto	12-40	0,40-4,5	0,8-1,75	1,5-8	0,75-4	0,005-0,85
NOx	Kg/T Producto	0,4-0,65	0,45-0,7	0,01-0,6	-	0,12-0,25	0,08-0,35
COV	Kg/T Producto	0,15	0,12-0,25	-	-	-	-
PCDD/F	µgI-TEQ/T producto	1-10	--	-	-	0,07-9	-
Residuos⁽¹⁾							
Residuos sólidos	Kg/T Producto	0,9-15	-	200-300	85-110	110-180	70-150
Lodos	Kg/T Producto	0,3	-	3-5	-	-	-
Aguas residuales	m ³ /T producto	0,06	0,3-0,4	0.1-3	-	-	0,8-15

Fuentes:
1. Comisión Europa, PCIC, "Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la producción de hierro y acero" y "Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesamiento de Metales Ferrosos". Diciembre de 2001
2. Agencia Ambiental del Reino Unido. 2001, 2002. Technical Guidance Notes. IPPC S2.01, S2.04. Benchmark values.

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 acreditados²⁷ 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 medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

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

²⁶ Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

²⁷ 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). 1983. 40CFR Part 60. Subpart AAA—Standards of Performance for Steel Plants: Electric Arc Furnaces and Argon-Oxygen Decarburization Vessels Constructed After August 17, 1983. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1983. 40CFR Part 60. Subpart Na—Standards of Performance for Secondary Emissions from Básico de oxígeno Process Steelmaking Facilities for Which Construction is Commenced After January 20, 1983. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1995. Office of Compliance. Sector Notebook Project Profile of the Iron and Steel Industry. EPA/310-R-95-005. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/ironstlpt1.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1995. Technology Transfer Network. Clearinghouse for Inventories and Emissions Factors & AP 42. Volumen 1, 5ª edición. Capítulo 12: Metallurgical Industry. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1999. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. Subpart CCC: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Steel Pickling – HCl Process Facilities and Hydrochloric Acid Regeneration Plants. Washington, DC: EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2002. 40CFR Part 420. Iron and Steel Manufacturing Point Source Category. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2003. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Integrated Iron and Steel Manufacturing. 20 de mayo de 2003. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/atw/iisteel/fr20my03.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2003. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Coke Ovens: Pushing, Quenching and Battery Stacks. Final Rule. 14 de abril de 2003. Washington, DC: US EPA.. Disponible en: http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/fr_notices/copqbs_fr.pdf

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2005. 40CFR 63: National Register Environmental Protection Agency: National Emission Standards for Coke Oven Batteries. 15 de abril de 2005. Washington, DC: US EPA. Disponible en: http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr_notices/15318cokeovenfin.pdf

Agencia de Protección Ambiental de Irlanda (EPA). 1996. BATNEEC Guidance Note for Forges, Drawing Plants and Rolling Mills and For Pressing, Drawing and Stamping of Large Castings (Draft 3). Classes 3.2 & 3.8. Draft 3. Dublin: EPA. Disponible en: <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

Agencia de Protección Ambiental de Irlanda (EPA). BATNEEC Guidance Note for Production of Iron or Steel. Class 3.1. Draft 2. Dublin: EPA. Disponible en: <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

Agencia de Protección Ambiental del Reino Unido. 2002. IPPC S2.03. Technical Guidance for Non-Ferrous Metals and the Production of Carbon and Graphite Sector. Versión 1: enero de 2002. Bristol: Environmental Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=e>

Agencia de Protección Ambiental del Reino Unido. 2004. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). S2.01: Guidance for the Production of Coke, Iron and Steel. Issue 1: junio de 2004. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=e>

Agencia de Protección Ambiental del Reino Unido. 2004. IPPC S2.04. Guidance for the Hot Rolling of Ferrous Metals and Associated Activity Sector. Issue 1: February 2004. Bristol: Environmental Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=e>

Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de Estados Unidos (NFPA). 2000. NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations, 2000 Edition. Quincy, MA: NFPA. Disponible en: http://www.nfpa.org/aboutthecodes/list_of_codes_and_standards.asp

Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de Estados Unidos (NFPA). 2004. NFPA 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines, 2004 Edition. Quincy, MA: NFPA. Disponible en: http://www.nfpa.org/aboutthecodes/list_of_codes_and_standards.asp

Australian Government Department of the Environment and Heritage. 1999. NPI National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Iron and Steel Production. Canberra: Environment Australia. Disponible en: http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/ironste.pdf

Comisión Europea. 2001. Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de Referencia (BREF) de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) en la producción de hierro y acero. Sevilla: EIPPCB.

Comisión Europea. 2001. Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de Referencia (BREF) de Mejores Técnicas Disponibles (BAT) en la industria de procesos de metales ferreos. Sevilla: EIPPCB.

Comisión de Helsinki (Helcom). 2003. Reduction of Emissions and Discharges from the Iron and Steel Industry. Recommendation 24/4. Helsinki: Helcom. Disponible en: http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec24_4/

Comisión Interministerial italiana. 2006. Produzione e Trasformazione dei Metalli Ferrosi, Linee Guida per le BAT (Production and Manufacturing of Iron - Best Available Techniques Guidelines, Draft). Roma.

Comisión de París (Parcom; en la actualidad, OSPARCOM). 1992. Recommendation 92/2 Concerning Limitation of Pollution from New Primary Iron and Steel Production Installations. París: OSPAR.

Comisión de París (Parcom). 1992. Recommendation 92/3 Concerning Limitation of Pollution from New Secondary Steel Production and Rolling Mills. París: OSPAR.

Environment Canada. 2002. National Office of Pollution Prevention (NOPP). Environmental Code of Practice for Integrated Steel Mills. Section 4 Recommended Environmental Protection Practices. EPS 1/MM/7 – Marzo de 2001. Ottawa, ON: Environment Canada. Disponible en: <http://www.ec.gc.ca/nopp/docs/cp/1mm7/en/cov.cfm>

Ministerio Federal para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear de Alemania (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). Berlin: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Ministerio Federal para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear de Alemania. 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) of 17 June 2004. Berlin: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/water_management/downloads/doc/3381.php

Organización Internacional del Trabajo (OIT). 2005. Seguridad y salud en la industria del hierro y el acero. Repertorio de recomendaciones prácticas de la OIT (2ª edición). Ginebra: OIT. Disponible en: <http://www.ilo.org/public/spanish/dialogue/sector/techmeet/meisi05/code.pdf>

United Kingdom (UK) Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Iron Steel and Non-Ferrous Metal Process. Process Guidance Note 2/4 (04). London: DEFRA. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/lapc/pgnotes/pdf/pg2-04.pdf>

UK Department for Environment Her Majesty's Inspectorate of Pollution (HMIP). 1995. Processes Subject to Integrated Pollution Control. S2 1.06: Carbonisation Processes: Coke Manufacture. London: HMSO.

Universidad de Karlsruhe, French-German Institute for Environmental Research. 1997. Report on Best Available Techniques (BAT) in the Electric Steelmaking Industry. Karlsruhe: Universidad de Karlsruhe. Disponible en: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2488.pdf>

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Los principales métodos empleados en la producción de acero y hierro incluyen los altos hornos / hornos básicos de oxígeno (acerías integradas), la fusión directa de desechos o lingotes de hierro (hornos de arco eléctrico) y un método menos frecuente, que es el proceso de Reducción Directa del Hierro (DRI). En las acerías integradas se dan procesos complejos que implican flujos de materiales y energía en distintas unidades de producción, incluida la planta de sinterización o peletización, la planta de hornos de coque, altos hornos (BF), hornos básicos de oxígeno (BOF) y colada continua. El acero fundido se lamina a continuación (en frío y / o en caliente) para fabricar productos finales.

Plantas de sinterización²⁸

La preparación física y metalúrgica de la carga mineral se lleva a cabo para mejorar la permeabilidad y capacidad de reducción. Antes de la sinterización, las materias primas se mezclan, pudiendo añadirse también algunos materiales fundentes. Una vez mezclados, los minerales se transfieren desde los depósitos de preparación hasta los de almacenamiento. El polvo de coque (coque de menor grado cuyas partículas miden < 5 mm) es el combustible más frecuentemente empleado para el proceso de sinterización. La mezcla de mineral y el polvo de coque se combinan y humedecen para aumentar la formación de micropelets, que mejoran la permeabilidad cuando se colocan en el lecho de sinterización.

La planta de sinterización consiste esencialmente en una gran parrilla móvil de hierro fundido resistente al calor. El material a sinterizar se distribuye en capas hasta formar un lecho de 400-600 mm de profundidad, aunque en las plantas más antiguas son frecuentes los lechos más superficiales, colocándose sobre una fina capa de sinter reciclado. Esta capa del fondo protege la parrilla contra el calor directo de la mezcla ardiente. La

parrilla atraviesa una campana extractora para los quemadores de gas que prenden el polvo de coque en la mezcla, iniciando así un proceso de corriente descendiente por todo el lecho de sinterización. A medida que la mezcla de sinter atraviesa la parrilla, el frente de combustión desciende por toda la mezcla. Esto genera suficiente calor (1300-1480°C) para aglomerar las partículas finas en un cagafierro poroso conocido como sinter. Antes de emitirse a la atmósfera, se somete a los gases de escape a un tratamiento para extraer el polvo. El sinter producido se tritura luego y se rellena para obtener la dimensión adecuada para la carga de los altos hornos.

Planta de peletización²⁹

La peletización es otro proceso empleado para preparar las materias primas de óxido de hierro para la fabricación de hierro y acero primarios. Con la ayuda de altas temperaturas, los pelets se forman a partir de las materias primas (minerales finos y aditivos de < 0,05 mm) en esferas de 9-16 mm, normalmente en el emplazamiento de la mina o en el puerto desde donde se va a trasladar.

El proceso de peletización consiste en la trituración y secado o deshidratación, atascamiento e induración. Antes de la peletización, el mineral se tritura y amola hasta alcanzar las propiedades necesarias para formar pelets. El contenido húmedo se ajusta al 8-9 por ciento. El pelet se mezcla con aditivos y se procesa a continuación para formar bolas de 9 – 16 mm (verdes) que luego se calientan a aproximadamente 1250 °C (induración) durante la oxidación y sinterización para obtener pelets de gran resistencia. Antes de abandonar el proceso de induración, los pelets se enfrían con aire. Los pelets demasiado pequeños o rotos suelen reciclarse.

²⁸ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

²⁹ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

Fabricación de coque

Las acerías integradas que fabrican acero mediante la reducción del mineral de hierro en altos hornos requieren un suministro constante de coque. La función primordial del coque es reducir químicamente el óxido de hierro para obtener metal de hierro en los altos hornos. El coque sirve de combustible, proporciona un soporte físico y permite la libre circulación del gas por el horno. Así pues, la fabricación de coque está estrechamente relacionada con las acerías integradas que utilizan mineral de hierro. El coque se produce por medio de la pirólisis (por ejemplo, la calefacción en ausencia de aire) de carbón de grado adecuado. En el proceso de fabricación del carbón, el carbón bituminoso se suministra a una serie de hornos (baterías), que son sellados y calentados a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. La operación comprende las siguientes fases: la carga de carbón, la calefacción / caldeo de las cámaras, la coquización, el deshornado y el enfriamiento del coque³⁰.

Las cámaras individuales de los hornos de coque se separan mediante paredes de calentamiento. Estas consisten en una serie de conductos de calentamiento con boquillas destinadas al suministro de combustible y con uno o más compartimentos de entrada de aire. Normalmente, el gas de los hornos de coque, una vez limpio, se emplea como combustible, pudiendo utilizarse también otros gases como el gas (enriquecido) procedente de los altos hornos. Los regeneradores se colocan debajo de los hornos para facilitar la calefacción del aire de combustión y del gas combustible por medio de gas de calentamiento y mejorar la eficiencia energética.

El proceso de carbonización comienza inmediatamente después de haber cargado el carbón. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) se extraen del carbón y forman un gas de horno de coque (COG). El carbón sólido que permanece

en el horno es el coque. Dependiendo de la anchura del horno y de las condiciones de calefacción, el proceso de coquización dura aproximadamente de 14 a 24 horas. El coque se retira del horno y es depositado por el brazo de una máquina de empuje en un contenedor. El contenedor transporta el coque caliente hasta una torre de enfriamiento donde se refrigera mediante el enfriamiento en seco, que consiste en circular un gas inerte (nitrógeno)³¹. En caso de recurrirse al enfriamiento húmedo (normalmente en las unidades más antiguas), se empleará el agua de los efluentes tratados (sin fenoles).

El proceso también incluye el tratamiento del gas derivado del horno de coque (COG) para eliminar el alquitrán, el amoníaco (que normalmente se recupera en forma de sulfato de amonio), fenol, naftalina, BTX, aceite ligero y azufre, antes de poder usar el COG como combustible para calentar los hornos y otras partes de la planta.

Para reducir el impacto ambiental de la producción de coque, se evitará el uso del empuje verde (carbón que no ha sido plenamente carbonizado) y se optará por carbones con bajo contenido en azufre o desulfurizados (lavados). Los gases y el alquitrán del proceso de coque se recogerán y recuperarán, llevándose a cabo la limpieza del gas de dióxido de carbono (SO₂), especialmente al emplear carbones con alto contenido en azufre.

Altos hornos (BF)

Un horno alto (BF) es un sistema cerrado donde las materias primas se introducen por la parte superior, mientras que los productos (el hierro fundido y la escoria) se retiran del fondo (la solera). La mezcla de materias primas de materiales portadores de hierro (piedras de mineral de hierro, sinter y/ o pelets) y aditivos (formador de escoria como el carbonato cálcico) se denomina "carga". La carga y el coque se introducen por la

³⁰ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

³¹ Ibid.

parte superior del horno por medio de un sistema sellado de carga para prevenir el escape de los gases del horno. La carga sólida circula hacia abajo, a contracorriente de la corriente ascendente de gas caliente reductor. Las estufas proporcionan gas caliente reductor y es necesario para transferir calor a la carga sólida para aumentar la temperatura y conseguir la reacción. El gas de BF con valor calorífico residual se recoge en la parte superior del horno para su tratamiento y uso³².

Los altos hornos se vacían periódicamente para extraer los lingotes de hierro fundido y la escoria del núcleo. Con este fin, se abre un orificio de sangría en la pared lateral del núcleo. El metal vaciado tiene una temperatura de aproximadamente 1440-1500 °C. En los altos hornos modernos, los lingotes de hierro y la escoria se vacían juntos (normalmente la escoria empieza a circular después del metal caliente). La escoria y los lingotes de hierro del horno circulan por conductos refractarios o cubiertos de cemento de bajo calor de hidratación y se separan a continuación en el espumador en la nave de colada, después de lo cual cada uno prosigue por un conducto separado. El lingote de hierro fundido se vierte en cazos o carros torpedo. La escoria circula por conductos hasta una planta de granulación, cazos de escoria o fosas abiertas. Al final del ciclo de colada, el orificio de sangría se cierra inyectando una mezcla de arcilla resistente al calor mediante la denominada "pistola de lama"³³.

Las principales emisiones de los BF se producen durante las operaciones de sangría y se componen básicamente de partículas de óxido de hierro y grafito. Estas partículas suelen controlarse con extractores locales dentro de la nave de colada y las emisiones se dirigen hacia un filtro textil. El enfriamiento y tratamiento de la escoria generan cantidades variables de sulfuro de hidrógeno y SO₂. Ciertas emisiones fugitivas, incluidos los óxidos de hierro y copos de grafito, se producen

durante el transporte de metales calientes hasta el taller de fusión del acero. El polvo y los lodos recogidos en el sistema de limpieza de gas pueden reciclarse en una planta de sinterización o enviarse a un vertedero de residuos sólidos.

Los efluentes de aguas residuales proceden de las operaciones de limpieza del gas del BF, enfriamiento de la escoria y procesamiento. Se emplea la recirculación, mientras que la corriente restante se trata para extraer los sólidos, metales y aceite antes de su descarga. La escoria constituye el principal subproducto sólido. Puede procesarse de distintas maneras, incluido el granulado y la peletización, o bien puede enfriarse, triturarse y tamizarse. La escoria se vende como subproducto, principalmente a las industrias del cemento y la construcción.

Hornos básicos de oxígeno (BOF)³⁴

Los procesos de los hornos básicos de oxígeno (BOF) y hornos de arco eléctrico (HAE) emplean métodos habituales para convertir los lingotes de hierro producido por los BF en acero. La inyección de oxígeno oxida las impurezas no deseadas presentes en las materias primas metálicas. Los principales elementos convertidos en óxidos son el carbono, el silicio, el manganeso, el fósforo y el azufre. La oxidación reduce el contenido en carbono a un determinado nivel (entre aproximadamente el 4 por ciento y menos del 1 por ciento, aunque a menudo menos) y elimina las impurezas. La producción de acero con BOF es un proceso discontinuo que incluye el pretratamiento de metal caliente (desulfurización); la oxidación en el BOF (descarburación y oxidación de impurezas); el tratamiento metalúrgico secundario después del BOF en el horno de cazo y la colada (continua y / o de lingotes).

El proceso de desulfurización se lleva a cabo en estaciones separadas de tratamiento antes del BOF. El método más habitual para la desulfurización de metales calientes se basa en

³² Ibid.

³³ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

³⁴ Ibid.

el carburo de calcio, soplado con lanza en el metal caliente con ayuda de nitrógeno. El azufre se aglutina en la escoria, que flota por encima del metal caliente. A continuación se extrae la escoria. En ciertos casos, se realiza una segunda extracción de la escoria usando rascadores de escoria. El lingote de hierro se carga entonces en el BOF³⁵.

La operación de un horno básico de oxígeno (BOF) es una operación discontinua. El ciclo completo consta de las siguientes fases: cargar los desechos y los lingotes de hierro fundido; soplar oxígeno; tomar muestras y registrar la temperatura; y sangría. En las acerías modernas, se producen aproximadamente 300 toneladas de acero en ciclos de 30-40 minutos. Durante el proceso se emplean distintos aditivos para ajustar la calidad del acero y formar la escoria. La energía necesaria para elevar la temperatura y fundir los materiales de insumo se obtiene por medio de reacciones exotérmicas de oxidación al soplar el oxígeno, de modo que no es preciso emplear calor adicional, mientras que se añaden desechos o mineral para equilibrar el calor.

La cantidad de oxígeno que se consume depende de la composición del metal caliente (por ejemplo, contenido en carbono, silicio y fósforo). Cuando la calidad del acero cumpla los requisitos, el soplado de oxígeno se interrumpe y el acero bruto se vacía del BOF y se vierte en un cazo.

El proceso de oxidación en el BOF suele preceder a un tratamiento posterior que comprende distintas operaciones metalúrgicas y se conoce como "metalurgia secundaria". Esta fase de tratamiento posterior se desarrolló para responder a unos requisitos de calidad cada vez mayores. Los objetivos principales de la metalurgia secundaria incluyen la mezcla y la homogeneización; el ajuste de las composiciones químicas; el ajuste de las temperaturas; desoxidación; la extracción de

gases no deseados (por ejemplo, hidrógeno y nitrógeno); y el aumento de la pureza oxídica mediante la separación de las inclusiones no metálicas. Estas operaciones se llevan a cabo en el cazo u horno de cazo, en un sistema al vacío o en hornos especialmente diseñados para este fin. Después del tratamiento posterior, el acero fundido se transporta hasta la máquina de moldeo³⁶.

Hornos de arco eléctrico (HAE)

El acero puede producirse a partir de desechos de acero en hornos de arco eléctrico (HAE) donde se funden los desechos. Los desechos suelen precalentarse en un horno específico y se cargan junto con cal o dolomita, que se emplean como fundente para la formación de la escoria. Lo normal es cargar inicialmente entre un 50-60 por ciento de desechos. Los electrodos descienden entonces hasta los desechos. Alcanzan un arco situado a 20-30 mm de los desechos. Después de fundir la primera carga, se añade el resto de los desechos.³⁷

Durante el período inicial de fusión, la electricidad aplicada se mantiene al mínimo para impedir que se produzcan daños en las paredes y techo del horno a causa de la radiación, a la vez que se permite que los electrodos penetren en los desechos. Tan pronto como los arcos estén protegidos por los desechos a su alrededor, se aumenta la electricidad para completar la fusión. Las lanzas de oxígeno y / o los quemadores de oxígeno-gas se utilizan con frecuencia en las primeras fases de la fusión. Mediante boquillas específicas puede añadirse oxígeno al acero líquido en el fondo o en la pared lateral del HAE. Los combustibles son el gas natural y el aceite.

Las emisiones fugitivas generadas durante la carga de desechos, el soplado de oxígeno, la sangría, la transferencia de metal caliente y el manejo de la escoria suelen recogerse en campanas locales, extrayéndose el polvo por medio de filtros

³⁵ Ibid.

³⁶ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

³⁷ BREF CE (2001) para la producción de hierro y acero.

textiles. Los procesos metalúrgicos de cazo y desgasificación al vacío generan emisiones menores de partículas normalmente recogidas y limpiadas mediante filtros textiles.

El proceso de desgasificación puede generar un efluente de aguas residuales. Los principales residuos sólidos incluyen lodos, escoria y refractarios residuales. Otros residuos sólidos consisten en lodos de tratamiento de las aguas residuales y polvo procedente de los colectores de polvo seco. El polvo puede contener dioxinas y furanos a causa del considerable consumo de desechos externos (sucios). Los casquetes de aceros suelen reciclarse, la escoria se tritura y tamiza para su reciclado o venta, y otros residuos sólidos se reciclan cuando corresponde o se eliminan en un vertedero. Los HAE utilizan grandes cantidades de electricidad.

La tecnología de los hornos Martin, también conocida como el proceso Siemens-Martins, se ha quedado obsoleta y ha dejado de considerarse una buena práctica de la industria. Tiene un efecto nocivo para la calidad del acero así como impactos ambientales significativos.

Reducción directa

En el proceso de reducción directa, los pelets gruesos de óxido de hierro y los terrones de mineral de hierro se reducen (extrayendo el oxígeno) para obtener hierro metálico en estado sólido por medio de un gas reductor. Las temperaturas de proceso son inferiores a los 1000°C. El resultado es un producto sólido llamado hierro reducido directo (HRD). El proceso aporta ventajas desde el punto de vista ambiental, principalmente porque permite utilizar terrones o pelets de mineral. Sin embargo, el proceso se emplea para producir aceros especiales o cuando existe gas natural disponible a precios competitivos.

Colada, laminado y acabado

El procesamiento adicional del acero incluye la colada, el laminado en caliente, la formación, el decapado, el laminado en frío, el trefilado y el recubrimiento. El proceso de colada continua omite varias fases del proceso convencional de fabricación de lingotes, colando el acero directamente en desbastes o palanquillas, logrando normalmente un rendimiento entre el 10 – 12 por ciento más elevado. El acero caliente se transforma en términos de tamaño y forma mediante una serie de fases de laminado y moldeado en caliente para obtener productos de acero acabados y semiacabados.

El acero líquido se transporta al terminar la metalurgia secundaria hasta la llamada "artesa de colada" en la máquina de colada continua (CCM). Se trata de un cazo intermedio con un orificio de salida regulable. Los cazos se precalientan antes de aceptar la carga de acero líquido para evitar la estratificación de las temperaturas en la artesa de colada. Una vez el acero líquido haya alcanzado la temperatura deseada, se vierte en la artesa de colada. Desde la artesa de colada pasa a un molde corto de cobre enfriado con agua sin aire que lleva a cabo movimientos oscilantes para impedir que se pegue el acero. El molde proporciona al metal la forma deseada. Cuando el metal abandona el molde, se habrá formado una "piel" de acero solidificado y un gran número de rodillos conducen el acero fundido mediante una suave curvatura hacia la posición horizontal. Llegado a este punto, el metal se corta en piezas mediante oxicorte. Así se moldean desbastes, lupias y palanquillas.

Durante la colada de lingotes, el acero líquido se moldea en moldes de colada. Una vez enfriados, los lingotes se extraen del molde y se transportan hasta las plantas de laminado. Después, una vez concluido el precalentamiento, los lingotes se laminan en desbastes, lupias o palanquillas. Actualmente, la colada de lingotes se sustituye normalmente por la colada

continúa salvo en el caso de aquellos productos que precisan la colada de lingotes para alcanzar la calidad necesaria (por ejemplo, la producción de pesos pesados para el forjado).

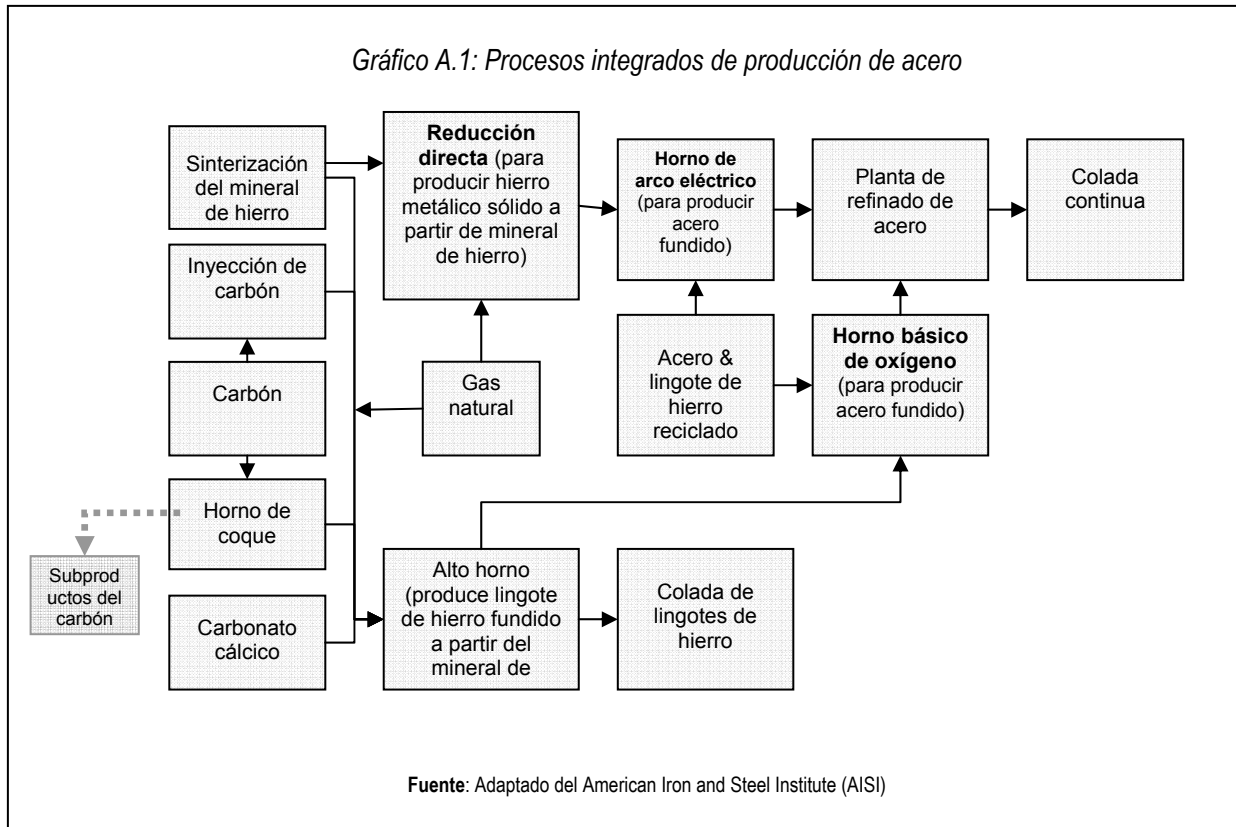
El proceso de laminado en caliente consiste en operaciones de calentamiento de desbastes (así como palanquillas y lupias), laminado y formación. Distintos tipos de plantas de formación en caliente (primario, sección, plano, tubo y tubería, alambón, barra de refuerzo y perfilado) fabrican diferentes productos de acero. Los productos largos se someten al laminado en caliente de palanquillas en barras de refuerzo o al laminado, trefilado y en ocasiones al recubrimiento. Para preparar el acero para el laminado en frío trefilado, se lleva a cabo el decapado con ácido (soluciones acuosas de ácido inorgánico con ácido sulfúrico o hidroclorehídrico) para extraer químicamente los óxidos y la calamina de la superficie del acero. Otros métodos empleados para extraer la calamina son el decapado con sal y el decapado electrolítico.

Tras las operaciones de laminado en caliente, el laminado en frío se emplea para fabricar tiras finas o tiras con un acabado de alta calidad. Los lubricantes emulsificados en agua se utilizan para obtener una calidad superficial elevada y evitar el sobrecalentamiento. Los baños de agua, aceite o plomo se emplean para el enfriamiento y para obtener las propiedades deseadas.

Las emisiones a la atmósfera de MP y de metales se dan durante la transferencia del acero fundido al molde y durante el corte del producto mediante antorchas de oxígeno-gas. Las emisiones a la atmósfera procedentes de la formación en caliente incluyen gases generados durante la combustión de combustible en los hornos de calentamiento y COV procedentes del laminado y los aceites lubricantes. Otras emisiones a la atmósfera de importancia son los aerosoles ácidos procedentes de las operaciones de decapado ácido y de la planta de regeneración de ácidos, cuando se recurre a la regeneración de

ácido. Los efluentes de aguas residuales se generan durante el enfriamiento del metal caliente e incluyen partículas de calamina y aceite generados durante el decapado del acero caliente con agua a alta presión, además de sólidos en suspensión, aceite y grasa. Las principales fuentes de efluentes de aguas residuales son el agua de aclarado del decapado ácido, el lavador de humos ácidos, los lavadores de plantas de regeneración de ácido y la limpieza alcalina. Los residuos sólidos se generan durante el corte del acero, aunque suelen reciclarse dentro de la planta.

Gráfico A.1: Procesos integrados de producción de acero



Fuente: Adaptado del American Iron and Steel Institute (AISI)

Gráfico A.2: Procesos integrados de acabado de acero

