

# 73

Directora del capítulo  
*Augustine Moffit*

### Sumario

La industria del hierro y el acero <i>John Masaitis</i> . . . . .	73.2
Trenes de laminación <i>H. Schneider</i> . . . . .	73.10
Problemas y pautas de seguridad y salud. . . . .	73.13
Cuestiones ambientales y de salud pública . . . . .	73.15

## ● LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y EL ACERO

*John Masaitis*

El hierro se encuentra en grandes cantidades en la corteza terrestre formando parte de diversos minerales (óxidos, minerales hidratados, carbonatos, sulfuros, silicatos, etc.). Desde tiempos prehistóricos, el hombre ha aprendido a preparar y procesar estos minerales por medio de operaciones de lavado, triturado y clasificado, separación de la ganga, calcinado, sinterizado y granulado, para fundir los minerales y obtener hierro y acero. A lo largo de la historia, muchos países han desarrollado una próspera industria siderúrgica basada en los suministros locales de mineral y en la proximidad de bosques para obtener carbón vegetal como combustible. A comienzos del siglo XVIII, el descubrimiento de que se podía utilizar coque en lugar de carbón vegetal revolucionó la industria, hizo posible un rápido desarrollo de la misma y sentó las bases para los demás avances de la Revolución Industrial. Los países que poseían yacimientos naturales de carbón próximos a yacimientos de mineral de hierro disfrutaron de grandes ventajas.

La fabricación de acero se desarrolló básicamente en el siglo XIX, al inventarse los procesos de fusión; el Bessemer (1855), el horno de hogar abierto, normalmente calentado a base de gas pobre (1864); y el horno eléctrico (1900). Desde mediados del siglo XX, el tratamiento con oxígeno —principalmente el proceso Linz-Donowitz (LD) de lanza de oxígeno— hizo posible la fabricación de aceros de alta calidad con unos costes de producción relativamente bajos.

Hoy en día, la producción de acero es indicativa de la prosperidad de una nación y constituye la base para la producción en serie de muchas otras industrias, como la construcción naval, la construcción de edificios y la fabricación de automóviles, maquinaria, herramientas y equipamiento doméstico. El desarrollo de los transportes, especialmente del marítimo, ha hecho económicamente rentable el intercambio internacional de las materias

Figura 73.1 • Producción mundial de arrabio en 1995, por regiones.

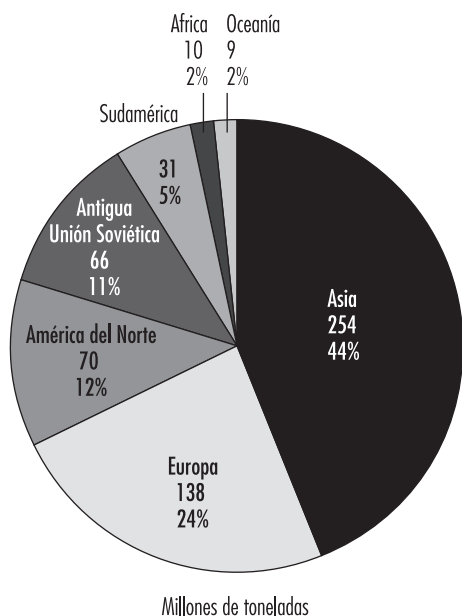


Figura 73.2 • Producción mundial de acero en bruto en 1995, por regiones.

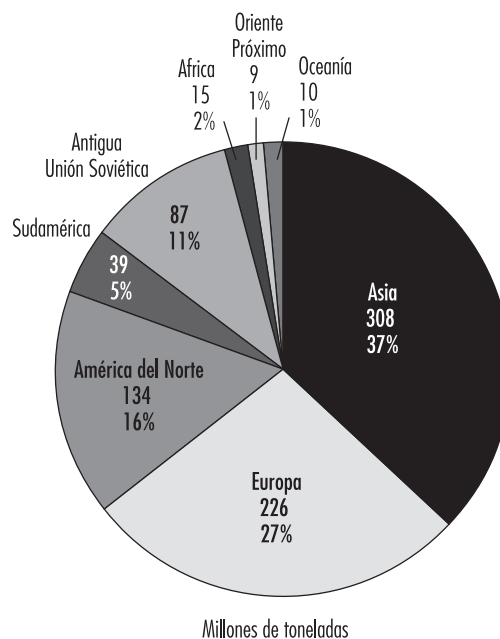
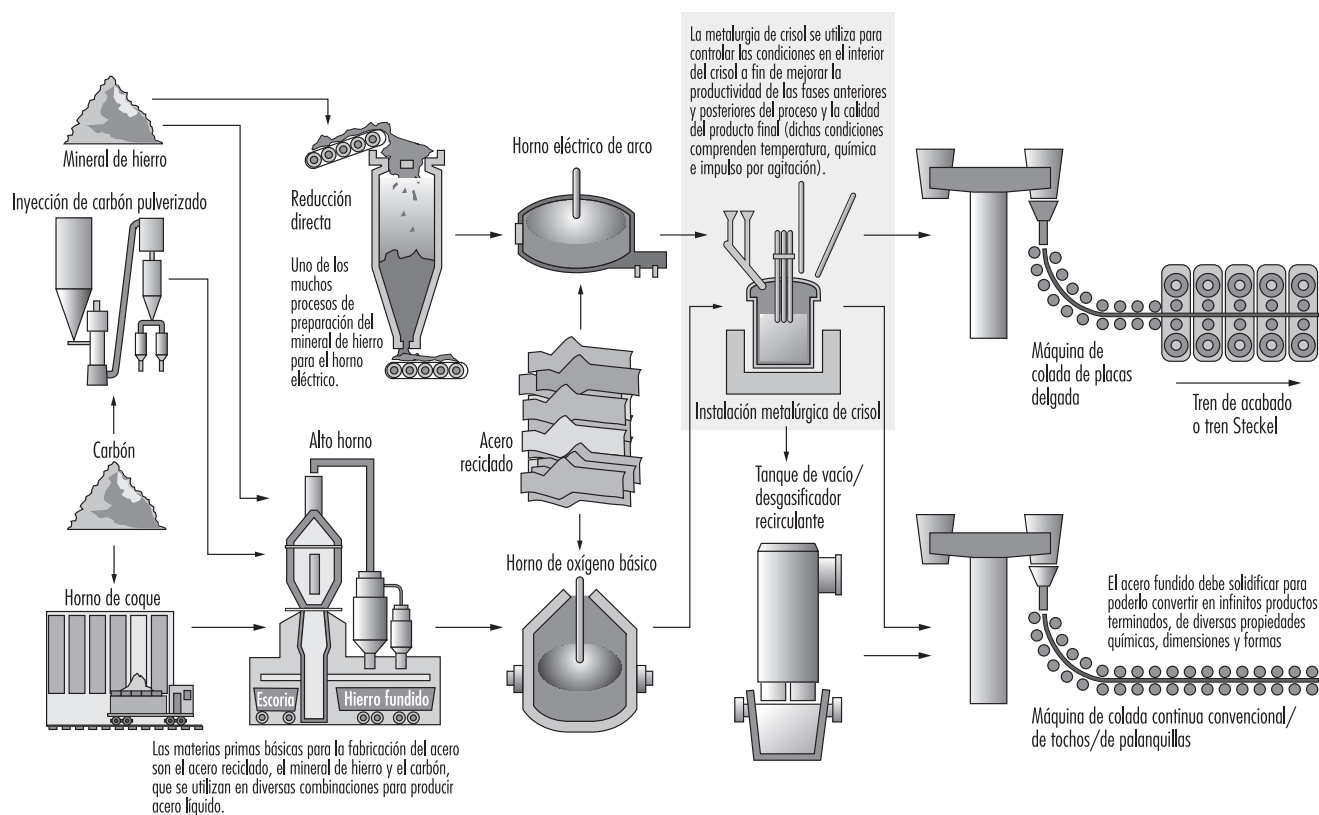


Figura 73.3 • Cargas de chatarra para hornos eléctricos.



American Iron and Steel Institute

Figura 73.4 • Proceso de fabricación del acero.



Fuente: American Iron and Steel Institute.

primas necesarias (mineral de hierro, carbón, gasóleo, chatarra y aditivos). Así pues, los países que poseen yacimientos de mineral de hierro cerca de yacimientos de carbón ya no gozan de ventaja, y se han construido grandes fundiciones y acerías en las regiones costeras de los principales países industrializados, que se abastecen de las materias primas de los países exportadores capaces de satisfacer las actuales exigencias de materiales de ley alta.

Durante los últimos decenios, se han desarrollado y alcanzado el éxito los procesos conocidos como de reducción directa. Los minerales de hierro, en especial los de ley alta o los enriquecidos, se reducen a hierro esponjoso por extracción del oxígeno que contienen, obteniéndose de este modo un material ferroso que sustituye a la chatarra.

### Producción de hierro y acero

En 1995, la producción mundial de arrabio fue de 578 millones de toneladas (véase la Figura 73.1).

Ese mismo año, la producción mundial de lingote de acero alcanzó los 828 millones de toneladas (véase la Figura 73.2).

La industria del acero ha experimentado una revolución tecnológica que ha favorecido la creación de nuevas capacidades de producción mediante la instalación de hornos eléctricos de arco (EAF, *electric arc furnace*) alimentados con chatarra de acero reciclada en pequeñas acerías (véase la Figura 73.3). Aunque las acerías integradas que producen acero a partir de mineral de hierro están logrando altas cotas de eficiencia, las acerías EAF con capacidades de producción inferiores a 1 millón de toneladas anuales son cada vez más habituales en los principales países productores de acero de todo el mundo.

### Fabricación de hierro

La Figura 73.4 ilustra todo el proceso de fabricación de hierro y acero.

La principal peculiaridad de la fabricación de hierro es el alto horno, en el cual se funde (reduce) el mineral de hierro para

Figura 73.5 • Control de temperatura del metal fundido en un alto horno.



Figura 73.6 • Carga de metal caliente para un convertidor.



American Iron and Steel Institute

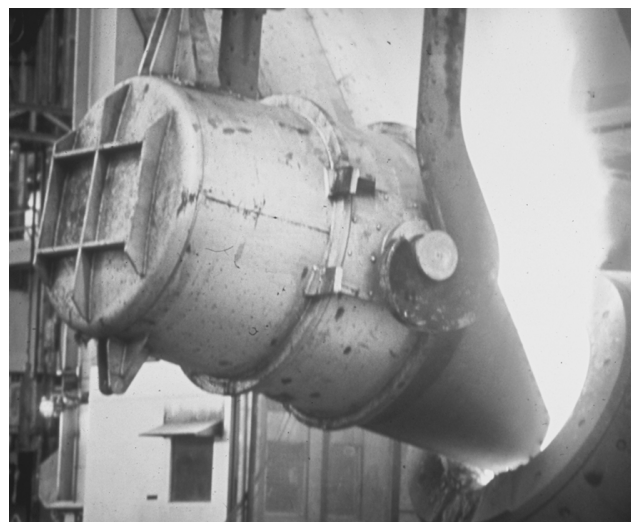
producir el arrabio. El horno se carga por la parte superior con mineral de hierro, coque y caliza; por la solera se inyecta aire caliente, a menudo enriquecido con oxígeno; y el monóxido de carbono producido a partir del coque transforma el mineral de hierro en un arrabio con carbono. La caliza actúa como fundente. A la temperatura de 1.600 °C (véase la Figura 73.5) el arrabio se funde y se acumula en la solera, y la caliza se combina con la tierra formando escoria. El horno se sangra (es decir, se retira el arrabio) periódicamente, y entonces el arrabio puede moldearse en forma de lingotes para su uso posterior (p. ej., en fundiciones), o se recoge en crisoles en los que se traslada, todavía fundido, a la aceria.

Figura 73.7 • Vista general de la fundición en horno eléctrico.



American Iron and Steel Institute

Figura 73.8 • Parte posterior de la carga de metal caliente.



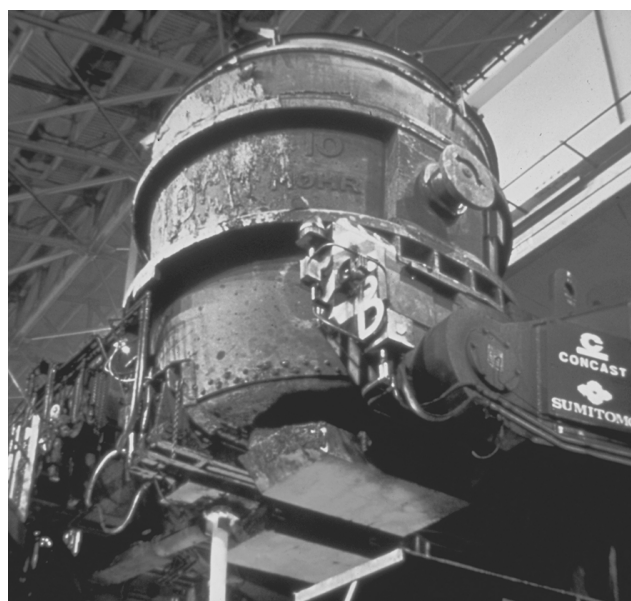
American Iron and Steel Institute

Algunas grandes plantas disponen de hornos de coque en la misma instalación. Generalmente, los minerales de hierro se someten a procesos especiales de preparación antes de ser cargados en el alto horno (lavado, reducción a un tamaño óptimo por triturado y cribado, separación del mineral menudo para sinterizarlo y granularlo, clasificación mecánica para separar la ganga, calcinado, sinterizado y granulado). La escoria retirada del horno puede transformarse en la planta para otros usos, en especial para fabricar cemento.

#### **Fabricación de acero**

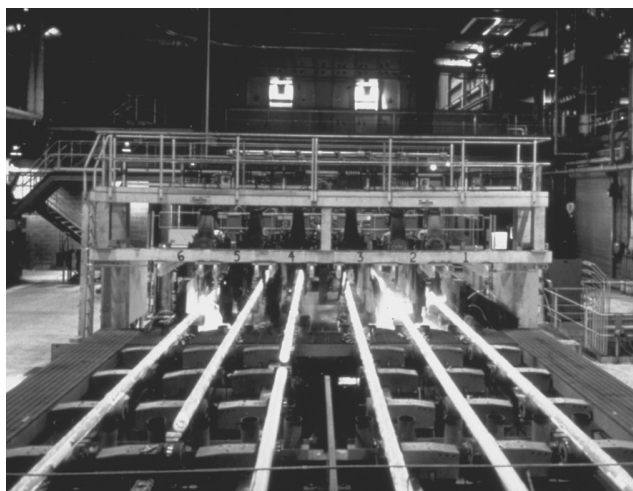
El arrabio contiene grandes cantidades de carbono y otras impurezas (principalmente azufre y fósforo). Por consiguiente, debe ser refinado. Es preciso reducir el contenido de carbono, oxidar y eliminar las impurezas y convertir el hierro en un metal de alta

Figura 73.9 • Crisol de colada continua.



American Iron and Steel Institute

Figura 73.10 • Palanquilla de colada continua.

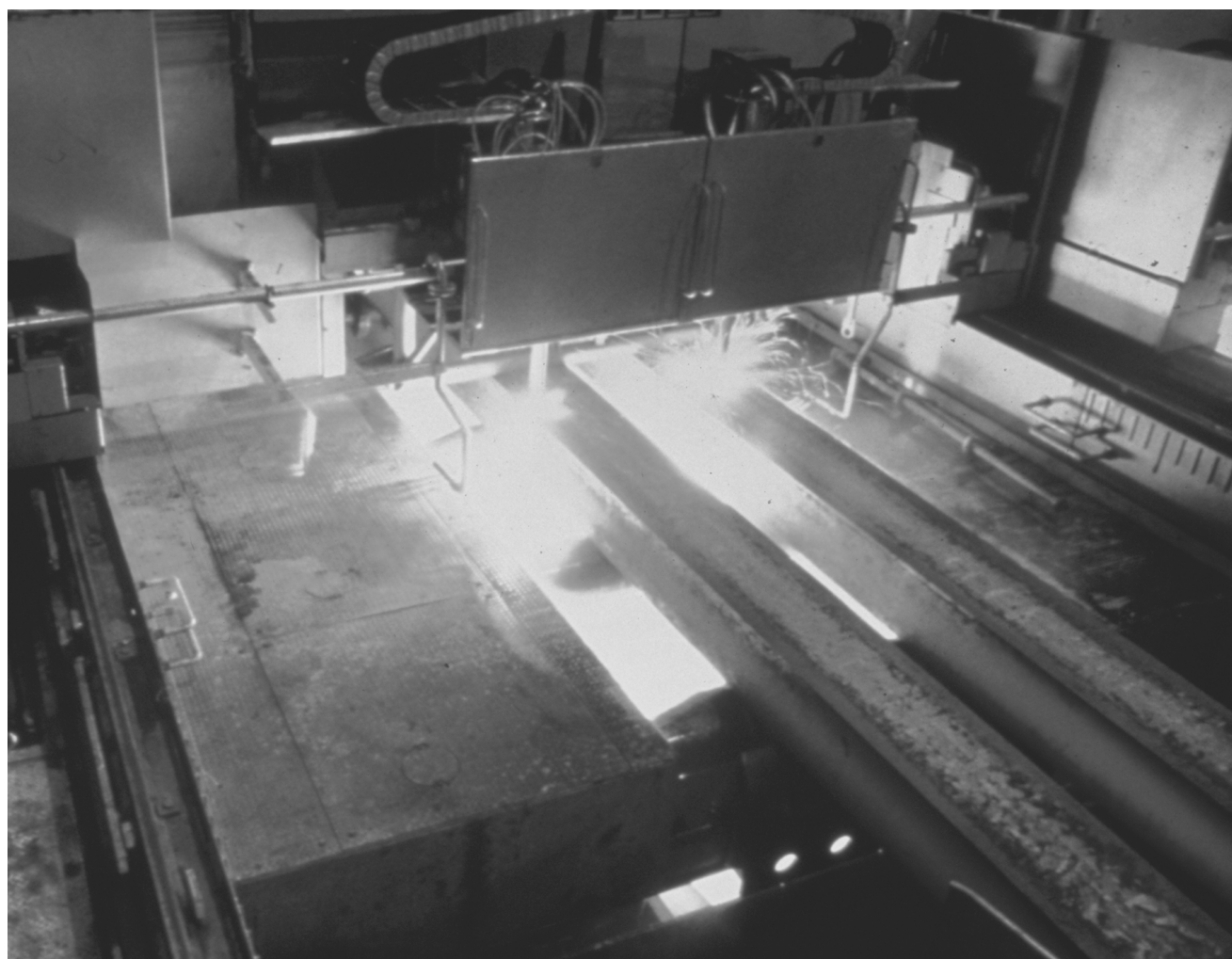


American Iron and Steel Institute

elasticidad que pueda ser forjado y trabajado. Este es el objeto de las operaciones de fabricación de acero. Existen tres tipos de hornos para la fabricación de acero: el horno de hogar abierto, el convertidor (véase la Figura 73.6) y el horno eléctrico de arco (véase la Figura 73.7). La mayoría de los hornos de hogar abierto han sido sustituidos por convertidores (que fabrican acero inyectando aire u oxígeno en el hierro fundido) y hornos eléctricos de arco (que fabrican acero a partir de chatarra de hierro y gránulos de hierro esponjoso).

Los aceros especiales son aleaciones a las que se incorporan otros elementos metálicos que les confieren características especiales para usos específicos (p. ej. se les añade cromo para evitar la oxidación, tungsteno para darles dureza y tenacidad a altas temperaturas, níquel para mejorar su resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión). Estos componentes de aleación pueden añadirse a la carga del alto horno (véase la Figura 73.8) o al acero fundido (en el horno o en el crisol) (véase la Figura 73.9). El metal fundido del proceso de fabricación de acero se vierte a máquinas de colada continua para obtener palanquillas (véase la Figura 73.10), tochos (véase la Figura 73.11) o placas. El metal fundido también puede moldearse en lingoteras. La mayoría del acero se obtiene por el método de la colada (véase la Figura 73.12). Las ventajas de la

Figura 73.11 • Tocho de colada continua.



American Iron and Steel Institute

Figura 73.12 • Sala de control del proceso de colada continua.



American Iron and Steel Institute

colada continua son su mayor rendimiento, calidad, ahorro de energía y reducción de los costes de inversión y explotación. Las lingoteras se almacenan en hornos de termodifusión (es decir, hornos subterráneos con puertas), donde pueden recalentarse los lingotes antes de pasar a los trenes de laminación u otros procesos posteriores (véase la Figura 73.4). Recientemente, las empresas han comenzado a fabricar acero con máquinas de colada continua. Los trenes de laminación se tratan en otros artículos de este capítulo; la fundición, la forja y la estampación son el objeto del capítulo titulado *Metalurgia y metalistería*.

## Riesgos

### Accidentes

En la industria del hierro y el acero, se transforman y transportan grandes cantidades de material utilizando enormes equipos que dejan pequeños a los de la mayoría de las industrias. Normalmente, las acerías aplican complejos programas de salud y seguridad para reducir los riesgos en un entorno que puede resultar implacable. Para controlar los riesgos suele ser necesario un enfoque integrado que combine prácticas técnicas y de mantenimiento adecuadas, procedimientos de trabajo seguros, formación laboral y el empleo de equipos de protección personal (EPP).

En muchos puntos del proceso de fabricación del acero pueden producirse quemaduras: delante del horno, durante el sangrado, por metal fundido o escoria; por derrames, salpicaduras o explosiones de metal caliente de crisoles o cubas durante su transformación, colada (vertido) o transporte; y por contacto con el metal caliente mientras se está formando el producto final.

El agua retenida por el metal fundido o la escoria puede generar fuerzas explosivas que hagan saltar metal o material caliente en una amplia zona. Introducir una herramienta húmeda en el metal fundido también puede provocar violentas explosiones.

El transporte mecánico es fundamental en la fabricación de hierro y acero, pero expone a los trabajadores a un riesgo de atropello o aplastamiento. En casi todas las zonas de las acerías hay puentes-grúa. Además, en la mayoría de las grandes plantas se utilizan mucho los equipos de vía fija y grandes tractores industriales para el transporte de materiales.

Un aspecto fundamental de los programas de seguridad de uso de grúas es impartir una formación que garantice el

correcto manejo de la grúa y una fijación segura de las cargas; una buena comunicación y utilización de las señas manuales normalizadas entre los conductores de las grúas y quienes preparan la carga para evitar heridas provocadas por movimientos inesperados de las grúas; programas de inspección y mantenimiento de piezas de grúas, aparejos, eslingas y ganchos para evitar que se caigan las cargas; y medios seguros de acceso a las grúas para evitar caídas y accidentes en las vías transversales.

Los programas de seguridad para vías férreas también requieren una buena comunicación, especialmente durante las operaciones de desvío y acoplamiento, a fin de evitar que algún trabajador quede atrapado entre vagones.

Es fundamental mantener una distancia de seguridad adecuada para el paso de grandes tractores industriales y otros equipos y evitar arranques y movimientos inesperados a fin de eliminar los riesgos de atropello y aplastamiento de los operarios de los equipos, los peatones y los operarios de otros vehículos. También es necesario implantar programas de inspección y mantenimiento de las zonas de paso y de los aparatos de seguridad de los equipos.

El orden y la limpieza son la piedra angular de la seguridad en las plantas siderúrgicas y las acerías. Los suelos y zonas de paso pueden quedar rápidamente obstruidos por materiales y útiles capaces de provocar tropiezos. Se utilizan grandes cantidades de grasas, aceites y lubricantes que, si se derraman, pueden provocar fácilmente resbalones en las superficies de paso o de trabajo.

Las herramientas sufren un desgaste muy grande y se deterioran rápidamente, lo que hace peligroso su uso. Aunque la mecanización ha disminuido notablemente el número de operaciones manuales en esta industria, todavía se producen en muchas ocasiones problemas de carácter ergonómico.

Las partes afiladas de los motores o las rebabas de los productos de acero o bandas metálicas pueden provocar laceraciones y pinchazos a los trabajadores encargados de las operaciones de acabado, expedición y manipulación de chatarra. A fin de eliminar el riesgo de este tipo de lesiones se suelen utilizar muñequeras y guantes anticortes.

Los programas de protección ocular son especialmente importantes en las acerías y plantas siderúrgicas. En muchas zonas existe el riesgo de que entren cuerpos extraños en los ojos, especialmente en las operaciones de manipulación de materias primas y acabado del acero, que comprende labores de amolado, soldadura y quema.

El mantenimiento programado es especialmente importante para prevenir accidentes. Su finalidad es garantizar la eficiencia de los equipos y mantener las defensas en perfecto estado, porque un fallo puede provocar accidentes. También es muy importante atenerse a las prácticas y normas de seguridad por la complejidad, dimensiones y velocidad de los equipos y maquinaria de proceso.

### Intoxicación por monóxido de carbono

Los altos hornos, los convertidores y los hornos de coque producen grandes cantidades de gases durante la fabricación de hierro y acero. Una vez separado el polvo, estos gases se emplean como combustible en las distintas instalaciones, y una parte se suministra a industrias químicas para su utilización como materia prima. Estos gases contienen una gran cantidad de monóxido de carbono (el gas de altos hornos del 22 al 30 %; el gas de hornos de coque del 5 al 10 %; y el gas de convertidores del 68 al 70 %).

A veces se producen emanaciones o fugas de monóxido de carbono por los tragantes o las cubas de los altos hornos o por las muchas tuberías de gas existentes en el interior de las instalaciones, provocando de forma accidental intoxicaciones agudas

por monóxido de carbono. La mayoría de las intoxicaciones se producen mientras se trabaja en las inmediaciones de los altos hornos, especialmente durante las reparaciones. Otros casos se registran cuando se realizan trabajos cerca de los hogares encendidos, visitas de inspección a las cubas de los hornos o trabajos cerca de los tragantes, de las bigoterías de escorias o de los orificios de sangrado. En las acerías o plantas de laminación también pueden producirse intoxicaciones por gases desprendidos de válvulas o depósitos estancos; por la parada repentina de equipos soplantes, cuartos de calderas o ventiladores; por fugas; por no ventilar o purgar correctamente las cubas, tuberías o equipos de proceso antes de empezar a trabajar; y durante el cierre de válvulas de tuberías.

### **Polvo y vapores**

Durante la fabricación de hierro y acero se generan polvo y vapores en muchos puntos. Se encuentran en los procesos de preparación, especialmente la sinterización, delante de los altos hornos y hornos acereros y en la fabricación de lingotes. El polvo y los vapores derivados del mineral de hierro o de metales ferrosos no provocan fácilmente fibrosis pulmonar y la neumoconiosis es infrecuente. Se cree que algunos tipos de cáncer de pulmón están relacionados con los productos cancerígenos que contienen las emisiones de los hornos de coque. Los densos vapores emitidos por las lanzas de oxígeno y por el uso de oxígeno en los hornos de hogar abierto pueden afectar especialmente a los operarios de grúas.

La exposición a sílice representa un riesgo para los trabajadores encargados de la colocación y reparación de los revestimientos de altos hornos y hornos acereros y sus cubas, compuestos de materiales refractarios que pueden contener hasta un 80 % de sílice. Los crisoles van revestidos de ladrillos refractarios o de sílice triturada y aglomerada, y estos revestimientos requieren una reparación frecuente. La sílice de los materiales refractarios está parcialmente presente en forma de silicatos, que no causan silicosis, sino más bien neumoconiosis. Los trabajadores rara vez se ven expuestos a nubes densas de polvo.

Los aditivos de aleación para los hornos de fabricación de aceros especiales conllevan a veces posibles riesgos de exposición al cromo, manganeso, plomo y cadmio.

### **Riesgos diversos.**

Las tareas que se realizan en la batería de retortas y en el tragante como parte de las operaciones de coquización, delante de los altos hornos como parte del proceso siderúrgico y las operaciones de moldeo de lingotes y de colada continua que se realizan delante del horno como parte de la fabricación del acero requieren todas ellas intensas actividades en un ambiente caluroso. Deberán implantarse programas de prevención de las indisposiciones debidas al calor.

Los hornos pueden producir resplandores que pueden lesionar los ojos a menos que se disponga de una protección ocular adecuada. Las operaciones manuales, como el revestimiento del horno con ladrillos y la vibración de manos y brazos que produce el uso de desbarbadoras y rectificadoras, pueden provocar problemas ergonómicos.

Las instalaciones de soplado, las de oxígeno, los ventiladores para descarga de gases y los hornos eléctricos de alta potencia pueden ocasionar un deterioro auditivo. Hay que proteger a los operarios de los hornos aislándolos del foco de ruido por medio de material insonorizante o facilitándoles cabinas insonorizadas. También puede resultar eficaz reducir el tiempo de exposición. En zonas con mucho ruido suele ser necesario utilizar protectores auditivos (orejeras o tapones) dada la imposibilidad de lograr una reducción adecuada del ruido por otros medios.

## **Medidas de salud y seguridad**

### **Organización de la seguridad**

La organización de la seguridad es de primordial importancia en la industria del hierro y el acero, ya que en ella la seguridad depende en gran medida de la reacción de los trabajadores ante los posibles peligros. La primera responsabilidad de la dirección es crear unas condiciones físicas lo más seguras posible, pero suele ser necesario conseguir la cooperación de todos en los programas de seguridad. Los comités de prevención de accidentes, los delegados de seguridad de los trabajadores, los incentivos a la seguridad, los concursos, los programas de sugerencias, y los lemas y letreros de advertencia pueden desempeñar un importante papel en los programas de seguridad. Hacer que todo el personal participe en ejercicios de evaluación de riesgos, observación de comportamientos y retroinformación puede favorecer actitudes positivas ante la seguridad y orientar las actividades de los grupos de trabajo dedicados a evitar lesiones y enfermedades.

Las estadísticas de accidentes ponen de relieve las áreas de peligro y la necesidad de mejorar la protección física e insistir más en el orden, la limpieza y el mantenimiento. Permiten determinar la validez de las distintas prendas de protección y comunicar sus ventajas a los trabajadores afectados.

### **Formación**

La formación debe comprender información sobre riesgos, métodos de trabajo más seguros, evitación de riesgos y utilización de EPP. Si se introducen nuevos métodos o procesos, puede ser necesario readiestrar incluso a aquellos trabajadores con mayor experiencia en los tipos de hornos más antiguos. Los cursos de formación y perfeccionamiento para todos los niveles de personal son especialmente valiosos. Dichos cursos deberán servir para familiarizar al personal con los métodos de trabajo más seguros, los actos inseguros que es preciso evitar, las normas de seguridad y las principales disposiciones legales en materia de prevención de accidentes. Los cursos de formación deberán estar dirigidos por especialistas y utilizar medios audiovisuales eficaces. Se organizarán contactos o reuniones periódicas de seguridad para que todo el personal refuerce su formación y concienciación en la materia.

### **Medidas técnicas y administrativas**

Todas las partes peligrosas de la maquinaria y los equipos, incluidos los ascensores, transportadores, árboles de largo recorrido y engranajes de puentes-grúa, deberán estar bien protegidos. Es necesario organizar un sistema regular de inspección, comprobación y mantenimiento para todas las máquinas y equipos de la instalación, especialmente grúas, aparejos, cadenas y ganchos. Deberá existir un programa eficaz de identificación y bloqueo de las máquinas y equipos que precisen mantenimiento o reparación. Los aparejos defectuosos deberán desecharse. Se marcarán claramente las cargas de trabajo seguras y se guardarán ordenadamente los aparejos que no se utilicen. Siempre que sea posible, se accederá a los puentes-grúa por una escalera. Si es preciso utilizar una escalera, se zunchará a intervalos. Se tomarán medidas eficaces para limitar el recorrido de los puentes-grúa cuando haya personas trabajando en sus inmediaciones. Puede que sea necesario, tal como exige la ley en ciertos países, instalar un aparellaje adecuado para evitar colisiones si dos o más grúas se desplazan por los mismos carriles.

Las locomotoras, vías, vagonetas, bogies y enganches deberán ser de diseño adecuado y mantenerse en buen estado, y se dispondrá de un sistema eficaz de señalización y alarma. Estará prohibido subirse a los enganches o pasar entre vagones. No deberá realizarse tarea alguna sobre las vías de equipos

ferroviarios si no se han tomado medidas para restringir el acceso o el movimiento de los equipos.

Es necesario actuar con mucho cuidado en las instalaciones de almacenamiento de oxígeno. El suministro a las distintas dependencias de la planta deberá realizarse por tuberías e identificarse claramente. Todas las lanzas se mantendrán limpias.

Existe una necesidad continua de orden y limpieza. Las caídas y tropiezos en zonas obstruidas o provocados por dejar útiles y herramientas tirados de forma descuidada no sólo pueden producir lesiones, sino que pueden hacer caer a una persona contra material caliente o fundido. Hay que apilar todos los materiales cuidadosamente y disponer estanterías, adecuadamente situadas, para guardar las herramientas. Todo derrame de grasa o aceite deberá limpiarse inmediatamente. La iluminación de todas las zonas de los talleres y las defensas de las máquinas deberán ser de la mejor calidad.

### **Higiene industrial**

Es necesaria una buena ventilación general en toda la planta y ventilación por extracción localizada (VEL) en las zonas en que se generen cantidades importantes de polvo y vapores o puedan producirse desprendimientos de gases, todo ello con el máximo nivel posible de orden y limpieza. Los equipos de gas deberán inspeccionarse periódicamente y estar bien conservados para evitar posibles fugas. Siempre que haya que realizar un trabajo en un ambiente que pueda contener gases, se utilizarán detectores de monóxido de carbono para garantizar la seguridad. Cuando sea imprescindible trabajar en una zona peligrosa, se emplearán respiradores independientes o con alimentación de aire. Es necesario que las botellas de oxígeno se encuentren siempre en perfectas condiciones de uso y los operarios estén perfectamente adiestrados para utilizarlas.

A fin de mejorar el ambiente de trabajo, se instalará ventilación forzada que suministre aire fresco. Pueden emplazarse ventiladores locales para aliviar a los trabajadores, especialmente en lugares de trabajo calurosos. Es posible conseguir una buena protección contra el calor instalando pantallas aislantes entre los trabajadores y los focos de calor, como los hornos o el metal caliente, disponiendo cortinas de agua o de aire delante de los hornos o colocando telas metálicas termorresistentes. La mejor protección para los trabajadores de los hornos es un traje de material termorresistente provisto de capucha y de un aparato de respiración con conducciones de oxígeno. Como el trabajo en los hornos es sumamente caluroso, también pueden conectarse al traje conducciones de enfriamiento. Es esencial establecer mecanismos que proporcionen un tiempo de enfriamiento antes de entrar en los hornos.

La aclimatación comprende el ajuste natural del contenido de sal del sudor corporal. La incidencia de las afecciones debidas al calor puede reducirse mucho ajustando la carga de trabajo y estableciendo períodos de descanso bien espaciados, especialmente si estos últimos se pasan en una habitación fría, con aire acondicionado si es necesario. Como paliativo, deberá proporcionarse agua en abundancia y otras bebidas adecuadas y garantizar la posibilidad de ingerir comidas ligeras. Las bebidas no deberán estar excesivamente frías y se indicará a los trabajadores que no beban demasiado líquido frío de una sola vez; durante las horas de trabajo es preferible consumir comidas ligeras. En los trabajos que provocan mucho sudor es necesario reponer la sal perdida y la mejor manera de conseguirlo es aumentar la ingestión de sal con las comidas normales. En climas fríos, hay que evitar los efectos perjudiciales de una exposición prolongada al frío o a cambios de temperatura repentinos y violentos. Es preferible que la cantina, los aseos y los sanitarios estén cerca. Las instalaciones de aseo deberán disponer de

duchas y de vestuarios y armarios en condiciones de limpieza e higiene.

Siempre que sea posible, se aislarán los focos de ruido. Los cuadros centrales de mando a distancia permiten reducir el número de operarios en las zonas ruidosas; en las peores zonas será necesario utilizar protecciones auditivas. Además de cerrar la maquinaria ruidosa con material insonorizante o proteger a los trabajadores con barreras antiruido, los programas de protección auditiva han demostrado ser medios eficaces para controlar las pérdidas auditivas.

### **Equipos de protección personal**

En la mayoría de los trabajos, todas las partes del cuerpo están expuestas a riesgos, pero el tipo de prendas protectoras necesarias será distinto según el lugar. Quienes trabajen en los hornos necesitarán ropa que les proteja de las quemaduras: monos de material ignífugo, botines de paño, botas, guantes, cascos con pantallas faciales o gafas antichispas y también antideslumbrantes. En casi todos los puestos de trabajo es obligado utilizar botas, gafas y cascos de seguridad y son muy necesarios los guantes. En la ropa de protección deben tenerse en cuenta los riesgos para la salud y la comodidad derivados de un calor excesivo; por ejemplo, una capucha ignífuga con una visera de tela metálica ofrece una buena protección contra las chispas y es resistente al calor; hay varios tipos de fibras sintéticas que también han demostrado su eficacia para resistir el calor. Es necesaria una estricta vigilancia y una propaganda continua a fin de asegurar la correcta utilización y mantenimiento de los equipos de protección personal.

### **Ergonomía**

El enfoque ergonómico (es decir, la investigación de la relación trabajador-máquina-ambiente) es de especial importancia en determinadas operaciones de la industria del hierro y el acero. Hay que realizar un estudio ergonómico adecuado no sólo para investigar las condiciones existentes mientras un trabajador está realizando diversas operaciones, sino también para explorar el efecto de las condiciones ambientales sobre el trabajador y el diseño funcional de la maquinaria utilizada.

### **Vigilancia médica**

Los reconocimientos médicos previos a la contratación son de gran importancia para seleccionar a personas adecuadas para las duras tareas que requiere la fabricación de hierro y acero. Para la mayoría de los trabajos, es imprescindible una buena condición física: la hipertensión, las enfermedades coronarias, la obesidad y la gastroenteritis crónica descalifican a quienes las sufren para trabajar en ambientes calurosos. Hay que prestar especial cuidado al seleccionar a los conductores de las grúas, tanto por su capacidad física como psíquica.

Se debe proporcionar una vigilancia médica especial a quienes estén expuestos al estrés por calor, reconocimientos del sistema respiratorio periódicos a quienes estén expuestos al polvo, y reconocimientos audiométricos a quienes estén expuestos al ruido; los operarios de equipos móviles también deberán someterse a reconocimientos médicos periódicos para garantizar su idoneidad continuada para este trabajo.

Es necesario inspeccionar constantemente todos los aparatos de reanimación y adiestrar a los trabajadores en las técnicas correspondientes.

También deberá disponerse de un puesto central de primeros auxilios con el equipo médico necesario para prestar asistencia de emergencia. Si es posible, se contará con una ambulancia para el transporte de personas gravemente heridas al hospital más próximo al cuidado de una persona cualificada. En las fábricas más grandes, los puestos o botiquines de primeros auxilios deberán estar situados en varios puntos céntricos.



## Operaciones de producción de coque

### Preparación del carbón

El factor más importante por sí solo para la producción de coque metalúrgico es la selección de carbones. Los mejores son los carbones con un bajo contenido de cenizas y azufre. El carbón de baja volatilidad suele mezclarse en cantidades de hasta un 40 % con carbón de alta volatilidad para lograr las características deseadas. La propiedad física más importante del coque metalúrgico es su resistencia y capacidad para soportar la rotura y la abrasión durante su manipulación y empleo en el alto horno. Las operaciones de manipulación de carbón consisten en la descarga de los coches ferroviarios, barcasas marinas o camiones; la mezcla del carbón; la dosificación; la pulverización; el control de la densidad volumétrica con aceite de grado diesel o similar; y el transporte a la batería de coquización.

### Coquización

En su mayoría, el coque se produce en retortas de coquización diseñadas para acumular el material volátil del carbón. Las retortas constan de tres partes principales: las cámaras de coquización, los conductos de caldeo y la cámara de regeneración. Aparte del soporte estructural de acero y hormigón, estas retortas se construyen con ladrillo refractario. Normalmente, cada batería contiene aproximadamente 45 retortas independientes. Las cámaras de coquización suelen tener de 1,82 a 6,7 metros de altura, 9,14 a 15,5 metros de longitud y alcanzan una temperatura de 1.535 °C en la base de los conductos de caldeo. El tiempo necesario para la coquización varía dependiendo de las dimensiones de la retorta, pero suele oscilar entre 16 y 20 horas.

En los grandes hornos verticales, el carbón se carga por unas toberas situadas en el tragante utilizando una vagoneta sobre raíles que lo transporta desde la carbonera. Una vez convertido el carbón en coque, se extrae del horno por un lateral empleando un émbolo automático llamado "deshornador". Las dimensiones de este émbolo son ligeramente inferiores a las del horno para evitar que entre en contacto con las superficies interiores de éste. El coque se recoge en una vagoneta sobre raíles o en un lateral de la batería situada frente al deshornador y se transporta a la instalación de templado. El coque caliente se templá mojándolo con agua antes de descargarlo en el muelle de coque. En algunas baterías, el coque caliente se templá en seco para recuperar el calor sensible para la generación de vapor.

Las reacciones que tienen lugar durante la carbonización del carbón para la producción de coque son complejas. Entre los productos de descomposición se encuentran inicialmente agua, óxidos de carbono, sulfuro de hidrógeno, compuestos hidroaromáticos, parafinas, olefinas, compuestos fenólicos y compuestos

nitrogenados. Los productos primarios experimentan procesos de síntesis y degradación que generan grandes cantidades de hidrógeno, metano e hidrocarburos aromáticos. La posterior descomposición de los complejos compuestos nitrogenados da lugar a amoniaco, cianuro de hidrógeno, bases de piridina y nitrógeno. La continua extracción de hidrógeno de los residuos que permanecen en el horno produce coque duro.

Las retortas de coquización que disponen de equipos para recuperar y procesar los productos químicos del carbón producen los materiales enumerados en la Tabla 73.1.

Tras un enfriamiento suficiente para que la cinta transportadora no sufra daños, el coque se traslada al puesto de clasificación y trituración, donde se separan los tamaños adecuados para el alto horno.

## Riesgos

### Riesgos físicos

Durante las operaciones de descarga, preparación y manipulación del carbón, se manejan miles de toneladas de carbón, produciéndose polvo, ruido y vibraciones. La presencia de grandes cantidades de polvo acumulado puede representar un peligro de explosión añadido al riesgo de inhalación.

Durante la coquización, el calor ambiental y radiante constituye el principal problema físico, particularmente en los tragantes de las baterías, donde se sitúan la mayoría de los trabajadores. El ruido puede constituir un problema en los equipos móviles, debido principalmente a un mantenimiento inadecuado de los mecanismos de transmisión y los componentes vibratorios. A efectos de alineación de los equipos móviles puede utilizarse radiación ionizante y/o aparatos de láser.

### Riesgos químicos

Suele utilizarse aceite mineral para controlar la densidad volumétrica y suprimir el polvo. Antes de llevar el carbón a la carbonera se le pueden aplicar sustancias que minimicen la acumulación y faciliten el vertido de desechos peligrosos derivados de las operaciones con subproductos.

El principal problema para la salud asociado a las operaciones de coquización son las emisiones de las retortas durante la carga del carbón, la coquización y el deshornado del coque. Estas emisiones contienen numerosos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), algunos de los cuales son cancerígenos. Los materiales utilizados para sellar tapas y puertas también pueden constituir un problema durante la mezcla y al quitar las tapas y puertas. Puede haber amianto y filtros cerámicos refractarios en forma de juntas y materiales aislantes, aunque se han venido utilizando sustitutos adecuados para productos que anteriormente contenían amianto.

### Riesgos mecánicos

Es preciso reconocer los riesgos de la producción de carbón asociados a los coches ferroviarios, las barcasas marinas y el tráfico de vehículos, así como al movimiento de las cintas transportadoras. La mayoría de los accidentes se producen por atropello, aplastamiento, arrastre, enganche o caída de los trabajadores, o por no dejar estos equipos bloqueados (también eléctricamente).

Los riesgos mecánicos más problemáticos son los planteados por los equipos móviles del lado del deshornador, del coque y de la vagoneta en el tragante de la batería. Estos equipos se mantienen en funcionamiento prácticamente durante todo el turno de trabajo y se deja poco espacio entre los mismos y las operaciones. Los accidentes por atropello y aplastamiento asociados a equipos móviles sobre raíles representan la cifra más alta de incidentes fatales en la producción de coque. Las

Tabla 73.1 • Subproductos recuperables de los hornos de coque.

Subproducto	Componentes recuperables
Gases de los hornos de coque	Hidrógeno, metano, etano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etileno, propileno, butileno, acetileno, sulfuro de hidrógeno, amoniaco, oxígeno y nitrógeno
Aguas amoniales	Amoniaco libre y estable
Alquitrán	Piridina, ácidos de alquitrán, naftaleno, aceite de creosota y pez de alquitrán de hulla
Aceites ligeros	Cantidades variables de productos gaseosos del carbón con puntos de ebullición de alrededor de 40 °C a 200 °C, y benceno, tolueno, xileno y nafta disolvente

quemaduras cutáneas superficiales provocadas por materiales y superficies calientes y la irritación ocular ocasionada por partículas de polvo son las responsables de incidentes más numerosos, pero menos graves.

### Medidas de salud y seguridad

Para mantener la concentración de polvo a un nivel aceptable durante la producción de carbón, hay que confinar y encerrar los sistemas de clasificación, trituración y transporte. También puede ser necesario disponer de ventilación por extracción localizada además de aplicar agentes humectantes al carbón. Se deben implantar programas adecuados de mantenimiento y limpieza para minimizar los derrames y mantener libres de carbón las zonas de paso junto a los equipos de proceso y transporte. En el sistema de transportadores se utilizarán componentes conocidos por su eficacia para la reducción de derrames y el mantenimiento del confinamiento, como limpiadores de cintas, rodapiés, una correcta tensión de las cintas, etc.

Debido a los riesgos para la salud asociados con los PAH liberados durante las operaciones de coquización, es importante contener y recoger estas emisiones. La mejor forma de conseguirlo es combinar controles técnicos, prácticas laborales y un programa de mantenimiento. También es necesario disponer de un programa de respiradores efectivo. Entre los controles deben incluirse los siguientes:

- diseñar y ejecutar un procedimiento de carga para eliminar las emisiones controlando el volumen de la carga de carbón, alineando correctamente la vagoneta sobre el horno, apretando bien los manguitos de carga y cargando el carbón de acuerdo con una secuencia que permita mantener un canal adecuado por encima del carbón para los flujos de emisiones al colector y recolocar la tapa nada más realizada la carga;
- disponer tubos de tiro en dos o más puntos del horno cargado y diseñar y emplear un sistema de aspiración para mantener suficiente flujo y presión negativa;
- disponer juntas de obturación de aire en las barras de nivel de la máquina deshornadora para controlar la infiltración durante la carga y reductores de carbono para evitar la acumulación de carbono;
- mantener en el colector una presión uniforme adecuada para transportar las emisiones;
- disponer las juntas y puertas de plato necesarias para mantener la estanqueidad y velar por una adecuada limpieza y mantenimiento de los bordes de cierre del lado del coque y del lado del deshornador;
- sellar tapas y puertas y mantener los burletes de las puertas del modo necesario para controlar las emisiones tras la carga;
- minimizar el deshornado prematuro calentando el carbón uniformemente durante un período de tiempo adecuado;
- instalar grandes cerramientos que cubran toda la zona del lado del coque para controlar las emisiones durante el deshornado del coque, o utilizar campanas móviles que puedan trasladarse de una retorta a otra a la hora de deshornar;
- inspección, mantenimiento y reparaciones de rutina para una adecuada contención de las emisiones;
- instalar cabinas de presión positiva y temperatura controlada para los operarios de los equipos móviles a fin de controlar los niveles de exposición de los trabajadores. Para conseguir la presión positiva en la cabina, es obligada su integración estructural, con puertas y ventanillas de montaje ajustado, eliminando las separaciones en la obra estructural.

También es necesario adiestrar a los trabajadores para que utilicen unas buenas prácticas laborales y comprendan la importancia de los procedimientos adecuados para minimizar las emisiones.

Se practicará un control rutinario de la exposición de los trabajadores para determinar qué niveles son aceptables. Se adoptarán programas de control de gases y de rescate, principalmente por presencia de monóxido de carbono en los hornos de gases de coque. Asimismo, deberá implantarse un programa de vigilancia médica.

## TRENES DE LAMINACION

H. Schneider\*

Las placas calientes de acero se convierten en largas bobinas de delgada chapa en los trenes de laminación continua de flejes en caliente. Estas bobinas pueden enviarse directamente a los clientes o bien limpiarse y laminarse en frío para elaborar productos. Véase la cadena de procesos en la Figura 73.13.

### Laminación continua en caliente

Un tren de laminación continua en caliente puede contar con un transportador de más de un kilómetro de longitud. La placa de acero sale de un horno de recocido de placas y entra en el transportador. Se elimina la cascarilla superficial de la placa caliente, que se alarga y adelgaza al ser aplastada por los rodillos horizontales de cada uno de los laminadores, que normalmente reciben el nombre de trenes de desbastado. Los rodillos verticales de los extremos contribuyen a controlar la anchura. Después, el acero entra en los trenes de acabado para su reducción final, desplazándose a velocidades de hasta 80 kilómetros por hora al cruzar la mesa de enfriamiento y enrollarse.

Normalmente, la chapa de acero se limpia o se decapa en un baño de ácido sulfúrico o hidrocórico para eliminar el óxido superficial (cascarilla) que se forma durante la laminación en caliente. Un decapador moderno trabaja de manera continua. Cuando ya casi se ha limpiado una bobina de acero, se corta recto el extremo y se suelda al inicio de una nueva bobina. En el decapador, un laminador endurecedor contribuye a romper la cascarilla antes de que la chapa entre en la sección de decapado o limpieza de la cadena.

Se sitúa un acumulador bajo los tanques de decapado revestidos de caucho, los lavadores y los secadores. La chapa acumulada en el sistema pasa a los tanques de decapado cuando se para el extremo de entrada de la cadena para soldar una nueva bobina. De este modo es posible limpiar una chapa continuamente a una velocidad de 360 m por minuto. Un pequeño sistema de enlazado situado en el extremo de salida de la cadena permite que ésta funcione de forma continua durante las interrupciones para el bobinado.

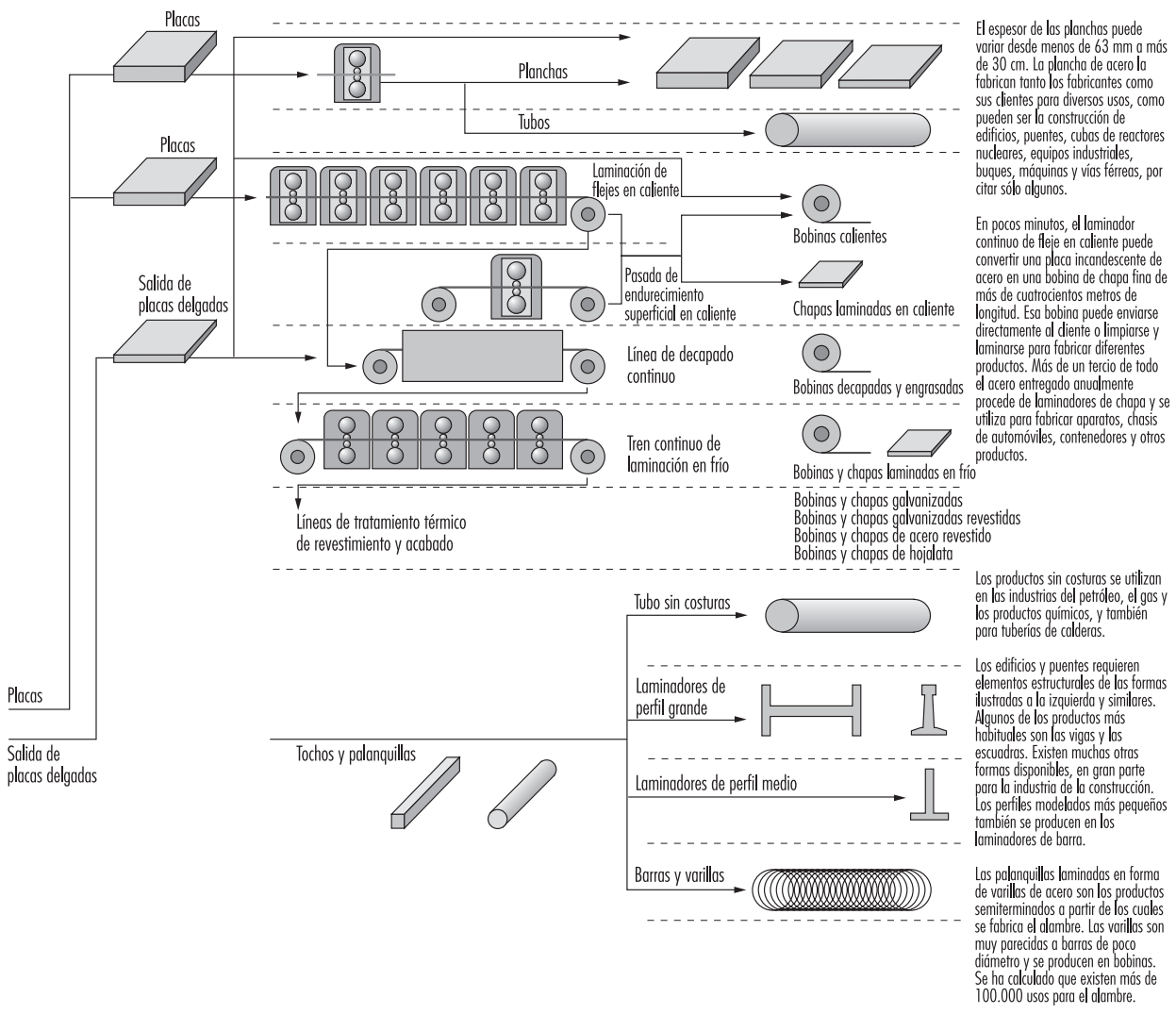
### Laminación en frío

Las bobinas de chapa de acero laminada en caliente y ya limpia pueden laminarse en frío para obtener un producto más fino y liso. Este proceso da lugar a un acero con una mejor relación resistencia/peso que la que puede obtenerse con un tren de laminación en caliente. Un moderno tren continuo de laminación en frío de cinco cajas puede recibir una chapa de un grosor aproximado de 1/10 de pulgada (0,25 cm) y una longitud de 1,2 km; 2 minutos más tarde, esa chapa se habrá laminado a 0,03 pulgadas (75 mm) de grosor y tendrá más de 3,2 km de longitud.

El proceso de laminado en frío endurece la chapa de acero, de modo que suele ser necesario calentarla en un horno de recocido para que moldearla mejor. Las bobinas de chapa laminada en frío se apilan sobre una base. Se colocan cubiertas sobre las pilas

\* Adaptado de la 3ª edición, *Enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo*.

Figura 73.13 • Proceso de laminación de chapa en frío y en caliente.



American Iron and Steel Institute

73. HIERRO Y ACERO

para controlar el recocido y después se baja el horno sobre las pilas así cubiertas. El calentamiento y posterior enfriamiento de la chapa de acero puede llevar de 5 a 6 días.

Una vez ablandado el acero en el proceso de recocido, se utiliza un laminador endurecedor para dar al acero la planeidad, las propiedades metalúrgicas y el acabado superficial deseados. El producto puede enviarse a los clientes en forma de bobinas, recortarse lateralmente o cortarse en largos a medida.

**Riesgos y su prevención**

*Accidentes.* La mecanización ha reducido el número de puntos de atrapamiento en la maquinaria, pero todavía existen, especialmente en los talleres de laminación en frío y en los departamentos de acabado.

La laminación en frío presenta un riesgo atrapamiento entre rodillos, especialmente si se intenta limpiarlos en funcionamiento; las zonas de contacto de los rodillos deben protegerse eficazmente y se ha de ejercer una supervisión estricta para evitar su limpieza en funcionamiento. Si no se instalan defensas seguras en las partes peligrosas de las máquinas de corte, despuntado, rebabado y guillotinas, pueden producirse lesiones graves. Es esencial implantar un programa eficaz de

bloqueo/identificación para realizar los trabajos de mantenimiento y reparación.

Si los trabajadores intentan atravesar los transportadores de rodillos por puntos no autorizados, pueden producirse lesiones graves, especialmente en la laminación en caliente; deberá instalarse un número adecuado de puentes de uso obligado. Las soldaduras de enlazado de rollos pueden provocar extensas lesiones y quemaduras, incluso la amputación de los miembros inferiores; cuando no se elimine este riesgo con una mecanización completa, será necesario utilizar puntales protectores u otros mecanismos.

Deberá prestarse especial atención al riesgo de que los trabajadores se corten en los trenes de laminación de chapa y fleje. Estas heridas no sólo se producen con el metal finalmente laminado, sino también con las cinchas metálicas utilizadas en las bobinas, que pueden romperse durante la manipulación y constituyen un serio peligro.

La utilización de grandes cantidades de aceites, antioxidantes, etc., que generalmente se aplican por pulverización, es otro riesgo habitual en los trenes de laminación de chapa. A pesar de las medidas protectoras que se toman para confinar los productos pulverizados, suelen acumularse en el suelo y en las

vías de paso, donde pueden provocar resbalones y caídas. Por consiguiente, además de limpiar con regularidad los suelos, hay que cubrirlos con rejillas y materiales absorbentes y utilizar botas de suela antideslizante.

Incluso en plantas automatizadas, pueden producirse accidentes en los trabajos de conversión al cambiar los pesados rodillos en las cajas. A menudo, una buena planificación reducirá la necesidad de cambiar los rodillos; es importante que estos trabajos se realicen sin prisas y con herramientas adecuadas.

La automatización de las plantas modernas da lugar a numerosas averías menores que a menudo son reparadas sin detener la planta ni partes de la misma. En esos casos, se puede olvidar la necesidad de utilizar las defensas mecánicas, lo que puede provocar graves accidentes. Frecuentemente se menosprecia el peligro de incendio que comporta la reparación de los sistemas hidráulicos. En las plantas equipadas con maquinaria hidráulica hay que planificar y organizar la protección contra incendios con especial cuidado.

Las tenazas utilizadas para asir el material caliente pueden entorchocar; las llaves cuadradas utilizadas para mover a mano los pesados perfiles laminados pueden provocar graves lesiones en la cabeza o en la parte superior del torso como consecuencia de movimientos no deseados. Todas las herramientas manuales deben diseñarse y mantenerse correctamente, e inspeccionarse con frecuencia. Los roblones de las tenazas deberán renovarse periódicamente; el personal encargado de cambiar los rodillos debe disponer de llaves redondas y llaves de percusión; no deberán utilizarse llaves de boca curvadas. Los trabajadores deben recibir una formación adecuada sobre el manejo de todas las herramientas manuales y se cuidará el correcto almacenamiento de las mismas.

Muchos accidentes pueden tener su origen en operaciones de izado y manipulación incorrectas y en grúas y aparejos defectuosos. Todas las grúas y aparejos deberán inspeccionarse regularmente; se prestará especial cuidado al almacenamiento y uso de las eslingas. Los procedimientos de selección y formación de los conductores de grúas y embragadores serán particularmente estrictos. Siempre existe el riesgo de que se produzcan accidentes debidos al transporte mecánico: las locomotoras, vagones y bogies deberán mantenerse en buen estado y será obligatorio el cumplimiento de un sistema claramente comprensible de advertencias y señalización; se mantendrán vías libres de paso para carretillas elevadoras y otros vehículos.

Muchos otros accidentes pueden producirse a consecuencia de caídas y tropiezos o de suelos mal conservados, materiales mal apilados, palanquillas que sobresalen, rodillos fracturados, etc. Estos riesgos pueden eliminarse con un buen mantenimiento de todos los suelos y medios de acceso, vías de paso claramente definidas, un correcto apilamiento de los materiales y una limpieza periódica de los residuos. Una buena limpieza y conservación es esencial en todas las zonas de la planta, incluidos los patios. Deberá mantenerse un nivel adecuado de iluminación en toda la planta.

En la laminación en caliente, los ojos pueden sufrir quemaduras y lesiones provocadas por la cascarilla desprendida; las defensas antisalpicaduras pueden reducir de forma efectiva la proyección de cascarilla y agua caliente. Otras causas de lesiones oculares son las partículas de polvo o los latigazos de las eslingas; los ojos también pueden verse afectados por el deslumbramiento.

La utilización de equipos de protección personal (EPP) es de gran importancia para prevenir los accidentes en los trenes de laminación. Deberán llevarse cascos, zapatos de seguridad, polainas, protecciones en los brazos, guantes, viseras y gafas de seguridad para protegerse de los riesgos correspondientes. Es esencial contar con la cooperación de los empleados para el uso de los mecanismos y prendas de protección. A tal fin, es

importante la formación, así como una eficaz organización para la prevención de accidentes en la que participen los trabajadores o sus representantes.

**Calor.** Se han registrado niveles de calor radiante de hasta 1.000 kcal/m<sup>2</sup> en algunos puestos de trabajo de trenes de laminación. Las enfermedades debidas al estrés por calor son un problema, pero los trabajadores de los modernos trenes de laminación suelen protegerse utilizando salas de control con aire acondicionado. Véase el artículo titulado “La fabricación de hierro y acero” para más información en materia de prevención.

**Ruido.** En toda la zona de laminación existe un ruido considerable producido por los reductores de los rodillos y enderezadoras, las bombas de agua a presión, las cizallas y sierras, los productos terminados que se arrojan a un foso y las paradas del movimiento del material con planchas metálicas. El nivel general de ruidos de trabajo puede alcanzar alrededor de 84-90 dBA, no siendo inhabituales picos de hasta 115 dBA o más. Véase el artículo titulado “Fabricación de hierro y acero” para más información sobre prevención.

**Vibración.** La limpieza de los productos terminados con herramientas de percusión de alta velocidad puede dar lugar a alteraciones artríticas de los codos, hombros, clavícula, unión distal del cúbito y el radio, así como a lesiones de los huesos escafoide y semilunar.

Los trabajadores de los trenes de laminación pueden sufrir defectos en las articulaciones de manos y brazos a consecuencia del efecto de retroceso y rebote del material introducido en el espacio entre rodillos.

**Gases y vapores perjudiciales.** Si se lamina acero aleado con plomo o se utilizan discos de corte que contienen plomo, pueden inhalarse partículas tóxicas. Por consiguiente, es necesario controlar constantemente la concentración de plomo existente en el lugar de trabajo y someter a revisiones médicas periódicas a los trabajadores que puedan verse expuestos. También se puede inhalar plomo por el uso de escarpadores de llama y sopletes de oxicorte, que provocan al mismo tiempo la exposición a óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), a cromo, níquel y óxido de hierro.

La soldadura a tope va asociada a la formación de ozono, que puede provocar, si se inhala, una irritación similar a la producida por el NO<sub>x</sub>. Los operarios de hornos de cuba y de recocido pueden verse expuestos a gases nocivos, cuya composición dependerá del combustible utilizado (gases de altos hornos, gases de hornos de coque, petróleo) y generalmente incluye monóxido de carbono y dióxido de azufre. A veces, es necesario instalar sistemas de ventilación por extracción localizada o utilizar protecciones respiratorias.

Los trabajadores que lubrican los equipos de los trenes de laminación con aceites nebulizados pueden sufrir un deterioro de su salud provocado por los aceites utilizados y los aditivos que contienen. Si se utilizan aceites o emulsiones para el enfriamiento o la lubricación, habrá que garantizar que la proporción de aceite y aditivos sea la correcta para evitar no sólo la irritación de las mucosas, sino también las dermatitis agudas en los trabajadores expuestos. Véase el artículo “Lubricantes industriales, líquidos metalúrgicos y aceites de automoción” incluido en el capítulo titulado *La industria metalúrgica*.

En las operaciones de acabado se emplean grandes cantidades de agentes desengrasantes. Dichos agentes se evaporan y pueden inhalarse; su acción no es únicamente tóxica, sino que además, si no se manipulan correctamente los disolventes, la piel puede desgrasarse con el consiguiente deterioro. Deberán utilizarse guantes y sistemas de ventilación por extracción localizada.

**Ácidos.** Los fuertes ácidos utilizados en los talleres de decapado son corrosivos para la piel y las membranas mucosas. Deberán utilizarse sistemas locales de ventilación de extracción y equipos de protección personal adecuados.

**Radiación ionizante.** Pueden utilizarse equipos de rayos X y otras radiaciones ionizantes en calibrados e inspecciones; se tomarán precauciones estrictas de acuerdo con la reglamentación local.

**Reconocimientos:** la descripción de las operaciones de laminado en frío y en caliente se ha utilizado con autorización del American Iron and Steel Institute.

## ● PROBLEMAS Y PAUTAS DE SEGURIDAD Y SALUD\*

La industria del hierro y el acero es una “industria pesada”: además de los riesgos para la seguridad inherentes a las grandes plantas, a los enormes equipos y al movimiento de grandes masas de materiales, los trabajadores están expuestos al calor del metal fundido y de la escoria a temperaturas de hasta 1.800 °C, a sustancias tóxicas o corrosivas, a contaminantes atmosféricos inhalables y al ruido. Espoleada por los sindicatos, por las presiones económicas para obtener una mayor eficiencia y por las normativas gubernamentales, la industria ha dado grandes pasos adelante en la introducción de equipos más modernos y mejores procesos que ofrecen mayor seguridad y permiten controlar mejor los riesgos físicos y químicos. Los accidentes con resultado de muerte o baja laboral se han reducido significativamente, pero siguen constituyendo un problema importante (OIT 1992). La fabricación de acero continúa siendo una profesión peligrosa, en la que no siempre pueden evitarse todos los posibles peligros con un perfecto diseño. En consecuencia, es éste un reto formidable para la gestión diaria de la planta. Exige una investigación continua, un control constante, una supervisión responsable y una formación actualizada de los trabajadores a todos los niveles.

### Riesgos físicos

#### *Problemas ergonómicos*

Las lesiones musculoesqueléticas son corrientes en la fabricación de acero. A pesar de la introducción de sistemas de mecanización y auxiliares, sigue siendo necesario manipular manualmente objetos grandes, voluminosos y/o pesados con frecuencia. Hay que prestar una atención constante al orden y la limpieza con el fin de reducir el número de resbalones y caídas. Se ha demostrado que los operarios encargados del revestimiento de los hornos son los más expuestos a sufrir problemas en la región lumbar y en la parte superior de los brazos. La introducción de la ergonomía en el diseño de los equipos y de sus mandos (p. ej., las cabinas de los conductores de grúas), sobre la base del estudio de las necesidades físicas y psíquicas del trabajo, junto con innovaciones tales como la rotación del trabajo y el trabajo en equipo, son avances recientes dirigidos a mejorar la seguridad, el bienestar y el rendimiento de los trabajadores del acero.

#### *Ruido*

La fabricación de acero es una de las industrias más ruidosas, aunque los programas de conservación de la capacidad auditiva están reduciendo el riesgo de sufrir pérdidas de oído. Entre los principales focos de ruido cabe citar: los sistemas de extracción de humos, los sistemas de aspiración con eyectores de vapor, los transformadores eléctricos y el proceso de arco en los hornos

eléctricos, los trenes de laminación y los grandes ventiladores. Al menos la mitad de los trabajadores expuestos sufrirán pérdidas auditivas incapacitantes debidas al ruido al cabo de no más de 10 o 15 años en este trabajo. Los programas de conservación de la capacidad auditiva, descritos en detalle en otros puntos de esta *Enciclopedia*, incluyen evaluaciones periódicas de ruido y oído, técnicas de control del ruido y de mantenimiento de máquinas y equipos, protección personal y formación del trabajador.

Entre las causas de pérdida auditiva distintas del ruido cabe citar las quemaduras en el tímpano producidas por partículas de escoria, cascarilla o metal fundido, la perforación del tímpano por un ruido impulsivo intenso y traumas provocados por objetos en su caída o movimiento. Un estudio de las reclamaciones de indemnización presentadas por los trabajadores canadienses del acero reveló que la mitad de los que sufrían pérdidas auditivas de origen laboral también sufrían acufeno (McShane, Hyde y Alberti 1988).

#### *Vibración*

Los movimientos mecánicos oscilantes producen vibraciones potencialmente peligrosas, la mayoría de las veces cuando no se han equilibrado los movimientos de las máquinas, cuando se manejan máquinas en la planta y cuando se utilizan herramientas portátiles como martillos y taladros neumáticos, sierras y esmeriladoras. Varios estudios de operarios de puentes-grúa atribuyen daños en los discos vertebrales, dolores lumbares y degeneración de la columna vertebral a la vibración de todo el cuerpo (Pauline y cols. 1988).

La vibración de todo el cuerpo puede provocar diversos síntomas (p. ej., mal del movimiento, visión borrosa y pérdida de agudeza visual) que pueden dar lugar a accidentes. La vibración del brazo y de la mano se ha asociado al síndrome del túnel carpiano, alteraciones degenerativas de las articulaciones y el fenómeno de Reynaud en las puntas de los dedos (“enfermedad de los dedos blancos”), que puede provocar incapacidad permanente. Un estudio de astilladores y esmeriladores demostró que su probabilidad de desarrollar la contractura de Dupuytren era más del doble que la de un grupo comparativo de trabajadores (Thomas y Clarke 1992).

#### *Exposición al calor*

La exposición al calor es un problema en toda la industria del hierro y el acero, especialmente en plantas ubicadas en climas calurosos. Recientes investigaciones han demostrado que, contrariamente a lo que se creía, las mayores exposiciones tienen lugar durante el forjado, cuando los trabajadores deben vigilar el acero caliente constantemente, y no durante la fusión, cuando, aunque las temperaturas son más altas, son intermitentes y sus efectos se ven limitados por el intenso calentamiento de la piel expuesta y por la utilización de protección ocular (Lydahl y Philipson 1984). El peligro del estrés por calor se reduce con una adecuada ingesta de líquidos, ventilación adecuada, el uso de pantallas antitérmicas y ropa protectora, e interrupciones periódicas para descansar o trabajar en tareas menos calurosas.

#### *Rayos láser*

Los rayos láser tienen una gran variedad de aplicaciones en la fabricación del acero y pueden provocar daños en la retina a niveles de potencia muy inferiores a los necesarios para producir efectos en la piel. Los operadores de láser pueden protegerse enfocando el haz con precisión y utilizando gafas de seguridad, pero otros trabajadores pueden sufrir lesiones si entran en el radio de acción del haz sin saberlo o si éste se refleja inadvertidamente hacia ellos.

\* Adaptado en parte de un artículo no publicado de Simon Pickvance.

**Nucleidos radiactivos**

Muchos aparatos de medición emplean nucleidos radiactivos. En general, es posible controlar las exposiciones colocando letreros de aviso y pantallas. Es mucho más peligrosa la inclusión accidental o negligente de materiales radiactivos en la chatarra de acero reciclada. Para evitarlo, muchas plantas controlan toda la chatarra con detectores sensibles a la radiación antes de introducirla en el proceso.

**Contaminantes atmosféricos**

Los trabajadores pueden verse expuestos a una gran variedad de contaminantes dependiendo del proceso, de los materiales y de la eficacia de las medidas de vigilancia y control. Los efectos perjudiciales vienen determinados por el estado físico y las propensiones del contaminante, la intensidad y duración de la exposición, el grado de acumulación en el cuerpo y la sensibilidad del individuo a sus efectos. Algunos efectos son inmediatos, mientras que otros pueden tardar años e incluso decenios en aparecer. Los cambios en los procesos y equipos, junto con la mejora de las medidas para mantener las exposiciones por debajo de los niveles tóxicos, han reducido los riesgos para los trabajadores. Pero también se han introducido nuevas combinaciones de contaminantes, y siempre existe el peligro de que se produzcan accidentes, incendios y explosiones.

**Polvo y vapores**

Las emisiones de vapores y partículas representan un importante problema potencial para los empleados que trabajan con metales fundidos, que fabrican y manipulan coque y que cargan y sangran los hornos. También pueden resultar expuestos los trabajadores asignados al mantenimiento de los equipos, la limpieza de las conducciones y las operaciones de demolición de revestimientos refractarios. Sus efectos para la salud dependen del tamaño de las partículas (es decir, de la proporción que es inhalable) y de los metales y aerosoles adsorbidos en sus superficies. Hay evidencias de que la exposición a polvo y vapores irritantes puede hacer a los trabajadores del acero más susceptibles a un estrechamiento reversible de las vías respiratorias (asma), que con el tiempo puede hacerse permanente (Johnson y cols. 1985).

**Sílice**

Las exposiciones a sílice, con las consiguientes silicosis, antes bastante frecuentes en los trabajadores encargados del mantenimiento de los hornos en las plantas de fundición y en los altos hornos, se han reducido gracias al uso de revestimientos en los hornos y a la automatización, que ha reducido el número de trabajadores presentes en estos procesos.

**Amianto**

El amianto, que se utilizó mucho como aislante térmico e insonorizante, sólo se encuentra ya en actividades de mantenimiento y construcción cuando se remueven materiales con amianto y se generan fibras en suspensión. Los efectos a largo plazo de la exposición al amianto, descritos detalladamente en otras secciones de la presente *Enciclopedia*, comprenden la asbestosis, el mesotelioma y otros cánceres. En un reciente estudio de secciones transversales se detectó patología pleural en 20 de cada 900 trabajadores del acero (un 2 %), diagnosticada en la mayoría de los casos como enfermedad pulmonar restrictiva, característica de la asbestosis (Kronenberg y cols. 1991).

**Metales pesados**

Las emisiones generadas en la fabricación de acero pueden contener metales pesados (p. ej., plomo, cromo, zinc, níquel y manganeso) en forma de vapores, partículas y adsorbatos en partículas de polvo inerte. Suelen estar presentes en la chatarra

de acero y también se introducen en la fabricación de tipos especiales de productos de acero. Las investigaciones realizadas entre los trabajadores encargados de fundir aleaciones de manganeso han demostrado deterioros en el rendimiento físico y psíquico y otros síntomas de manganismo a niveles de exposición significativamente inferiores a los límites actualmente admisibles en la mayoría de los países (Wennberg y cols. 1991). La exposición a corto plazo a altos niveles de zinc y otros metales vaporizados puede provocar la "fiebre de los vapores metálicos", que se caracteriza por fiebre, escalofríos, náuseas, dificultades respiratorias y fatiga. En otras secciones de la presente *Enciclopedia* se ofrecen detalles de los demás efectos tóxicos producidos por los metales pesados.

**Nieblas de ácido**

Las nieblas de ácido de las áreas de decapado pueden provocar irritación cutánea, ocular y respiratoria. Además, un estudio asocia la exposición a nieblas de ácido hidrocórico y ácido sulfúrico procedentes de los baños de decapado con una casi duplicación del cáncer de laringe (Steenland y cols. 1988).

**Compuestos de azufre**

La fuente predominante de emisiones sulfúricas en la fabricación de acero es la utilización de combustibles fósiles con alto contenido de azufre y escoria de altos hornos. El sulfuro de hidrógeno tiene un característico olor desagradable y entre los efectos a corto plazo de las exposiciones de bajo nivel cabe citar la sequedad e irritación de los conductos nasales y del tracto respiratorio superior; tos, disnea y neumonía. Exposiciones prolongadas de bajo nivel pueden provocar irritación ocular, y si son de alto nivel, daños oculares permanentes. A niveles altos, también puede producirse una pérdida temporal del olfato que induzca a los trabajadores a creer erróneamente que ya no están expuestos.

**Nieblas de aceite**

Las nieblas de aceite generadas en la laminación de acero en frío pueden provocar irritación de la piel, de las membranas mucosas y del tracto respiratorio superior y ocasionar náuseas, vómitos y dolores de cabeza. En un estudio se documentan casos de neumonía lipóide en trabajadores de trenes de laminación sometidos a una exposición de larga duración (Cullen y cols. 1981).

**Hidrocarburos aromáticos policíclicos**

Los hidrocarburos HAP se producen en la mayoría de los procesos de combustión; en las acerías, la fabricación de coque es la causa principal. Cuando se quema carbón parcialmente para producir coque, se destilan gran número de compuestos volátiles, como los volátiles de la pez, incluidos HAP. Estos últimos pueden estar presentes en forma de vapores, aerosoles o adsorbatos en partículas finas. Las exposiciones a corto plazo pueden provocar irritación de la piel y las membranas mucosas, mareos, dolores de cabeza y náuseas, mientras que las exposiciones a largo plazo se han asociado con la carcinogénesis. Los estudios realizados demuestran que la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón de los trabajadores de los hornos de coque es el doble de la de la población general. Los más expuestos a los volátiles de la pez son quienes corren mayor riesgo. Entre ellos cabe citar a los trabajadores del tragante del horno y a los trabajadores con un período más largo de exposición (IARC 1984; Constantino, Redmond y Bearden 1995). En algunos países los controles técnicos han reducido el número de trabajadores en situación de riesgo.

**Otros productos químicos**

En la fabricación de acero se utilizan o encuentran más de 1.000 productos químicos, ya sea como materias primas o como contaminantes de la chatarra y/o de los combustibles; como

aditivos en procesos especiales; como refractarios; y como fluidos hidráulicos y disolventes utilizados en el funcionamiento y mantenimiento de la planta. La fabricación de coque genera subproductos como el alquitrán, el benceno y el amoníaco; otros se producen en los distintos procesos de fabricación del acero. Todos ellos pueden ser potencialmente tóxicos, dependiendo de la naturaleza de los productos químicos, del tipo, nivel y duración de las exposiciones, de su reactividad con otros productos químicos y de la susceptibilidad del trabajador expuesto. Exposiciones intensas accidentales a vapores con dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno han producido casos de neumonitis química. El vanadio y otros aditivos de aleación pueden provocar neumonitis química. El monóxido de carbono, que se libera en todos los procesos de combustión, puede ser peligroso cuando el mantenimiento de los equipos y sus mandos es inadecuado. El benceno, junto con el tolueno y el xileno, está presente en los gases de los hornos de coque y produce síntomas respiratorios y en el sistema nervioso central si la exposición es grave; las exposiciones a largo plazo pueden dar lugar a deterioros del tuétano de los huesos, anemia aplásica y leucemia.

### Estrés

En la industria del acero se encuentran elevados niveles de estrés laboral. Las exposiciones al calor radiante y al ruido se ven agravadas por la necesidad de una vigilancia constante para evitar accidentes y exposiciones potencialmente peligrosas. Como muchos procesos no paran nunca, el trabajo por turnos constituye una necesidad; su repercusión sobre el bienestar y el apoyo social esencial para los trabajadores se detalla en otras secciones de la presente *Enciclopedia*. Finalmente, un factor de estrés muy fuerte es la posible pérdida del puesto de trabajo como consecuencia de la automatización y los cambios en los procesos, la reubicación de las plantas y las reducciones de plantilla.

### Programas preventivos

Proteger a los trabajadores del acero de una posible toxicidad requiere la asignación de los recursos necesarios para la aplicación de un programa continuado, completo y coordinado, que deberá incluir los siguientes elementos:

- evaluación de todas las materias primas y combustibles y, cuando sea posible, sustitución de los productos peligrosos por otros más seguros;
- controles efectivos para la seguridad de almacenamiento y manipulación de materias primas, productos, subproductos y desechos;
- control constante del ambiente de trabajo en que se desenvuelve cada trabajador y de la calidad del aire ambiental, realizando controles biológicos si fuera necesario, y revisiones médicas periódicas de los trabajadores para detectar efectos más sutiles sobre la salud y comprobar su aptitud física para el puesto de trabajo;
- sistemas técnicos para controlar posibles exposiciones (p. ej., cerramientos para equipos y sistemas de extracción y ventilación adecuados) completados con equipos de protección personal (p. ej., pantallas, guantes, gafas de seguridad, protectores auditivos, respiradores, protecciones corporales y para los pies, etc.) cuando no sean suficientes los controles técnicos;
- aplicación de principios ergonómicos al diseño de los equipos, mandos de las máquinas y herramientas, y análisis de la estructura y contenido del trabajo como orientación para intervenciones con el fin de prevenir lesiones y mejorar el bienestar de los trabajadores;
- mantenimiento de una información actualizada y fácilmente disponible sobre posibles riesgos, que debe difundirse entre los

trabajadores y supervisores como parte de un programa de formación laboral continua;

- instalación y mantenimiento de sistemas para el almacenamiento y la recuperación de un gran volumen de datos sobre salud y seguridad, así como de los análisis e informes de los expedientes sobre resultados de inspecciones, accidentes y lesiones y enfermedades de los trabajadores.

## CUESTIONES AMBIENTALES Y DE SALUD PÚBLICA\*

Debido al gran volumen y complejidad de las operaciones y al elevado consumo de energía y materias primas, la industria del hierro y el acero, al igual que otras industrias "pesadas", puede tener importantes repercusiones para el medio ambiente y la población de las comunidades vecinas. En la Figura 73.14 se resumen los contaminantes y desechos generados por los principales procesos productivos, que se clasifican en tres categorías principales: contaminantes atmosféricos, contaminantes de aguas residuales y residuos sólidos.

Históricamente, las investigaciones sobre las repercusiones de la industria del hierro y el acero para la salud pública se han centrado en los efectos localizados en áreas densamente pobladas, y especialmente en regiones concretas donde se registraron episodios graves de contaminación del aire, como en los valles de Donora y Meuse y en el triángulo comprendido por Polonia, la antigua Checoslovaquia y la antigua República Democrática Alemana (OMS 1992).

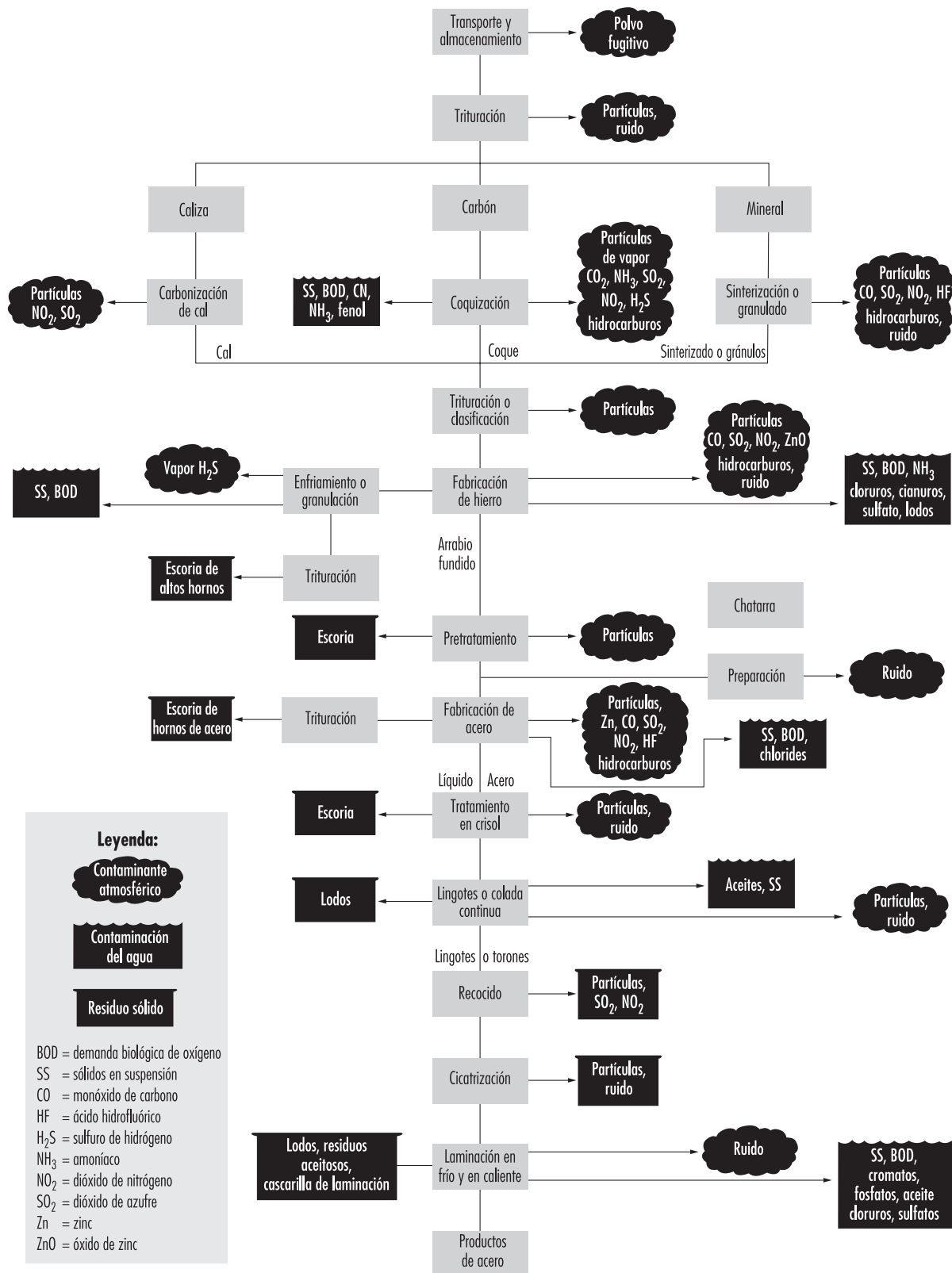
### Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes procedentes de las operaciones de fabricación de hierro y acero han constituido un problema ecológico desde siempre. Entre ellos se encuentran sustancias gaseosas como óxidos de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono. Además, las partículas de hollín y polvo, que pueden contener óxidos de hierro, han sido el principal objeto de control. Las emisiones de los hornos de coque y de las plantas de recuperación de los subproductos de hornos de coque han sido problemáticas, pero las constantes mejoras en la tecnología de fabricación del acero y en el control de las emisiones durante los dos últimos decenios, junto con reglamentaciones gubernamentales más restrictivas, han reducido significativamente su volumen en Norteamérica, Europa occidental y Japón. Se ha estimado que los costes totales del control de la contaminación, más de la mitad de los cuales están relacionados con las emisiones atmosféricas, oscilan entre el 1 y el 3 % de los costes totales de producción; las instalaciones de control de la contaminación atmosférica constituyen aproximadamente de un 10 a un 20 % de las inversiones totales de las plantas. Estos costes representan una barrera para la aplicación global de controles de tecnología punta en los países en desarrollo y en las empresas más antiguas, económicamente marginales.

Los contaminantes atmosféricos varían dependiendo del proceso, el diseño técnico y la construcción de la planta, de las materias primas empleadas, de las fuentes y las cantidades de energía necesarias, del grado de reciclaje de los productos de desecho dentro del proceso y de la eficiencia de los controles anticontaminantes. Por ejemplo, la introducción de la fabricación de acero con inyección de oxígeno ha permitido recuperar y reciclar los gases residuales de forma controlada, reduciendo

\* Adaptado de PNUMA e IISI 1997 y de un artículo no publicado de Jerry Spiegel.

Figura 73.14 • Diagrama de flujos de contaminantes y residuos generados por diferentes procesos.



Fuente: PNUMA 1986.



las cantidades aspiradas al exterior, mientras que el proceso de colada continua ha disminuido el consumo de energía y, por tanto, las emisiones. De este modo, se ha aumentado el rendimiento del producto y mejorado la calidad.

### **Dióxido de azufre**

La cantidad de dióxido de azufre, que se forma principalmente en los procesos de combustión, depende fundamentalmente del contenido de azufre del combustible fósil empleado. Tanto el coque como los gases de los hornos de coque utilizados como combustibles son importantes focos de dióxido de azufre. En el ambiente, el dióxido de azufre puede reaccionar con los radicales del oxígeno y con el agua para formar un aerosol de ácido sulfúrico y, en combinación con amoníaco, puede formar un aerosol de sulfato de amonio. Los efectos para la salud atribuidos a los óxidos de azufre no sólo se deben al dióxido de azufre sino también a su tendencia a formar estos aerosoles respirables. Además, el dióxido de azufre puede adsorberse en partículas, muchas de las cuales se encuentran en el rango respirable. Es posible reducir las exposiciones no sólo empleando combustibles con un bajo contenido en azufre sino también reduciendo la concentración de las partículas. El uso de los hornos eléctricos ha reducido las emisiones de óxidos de azufre al eliminar la necesidad del coque, pero no se ha hecho más que pasar la responsabilidad del control de la contaminación a las plantas generadoras de electricidad. La desulfuración de los gases de los hornos de coque se consigue eliminando los compuestos de azufre reducidos, principalmente el sulfuro de hidrógeno, antes de la combustión.

### **Oxidos de nitrógeno**

Al igual que los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, principalmente el óxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno, se forman en procesos de combustión de combustible. Reaccionan con el oxígeno y con los compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de radiación ultravioleta (UV) para formar ozono. También se combinan con el agua para formar ácido nítrico, que a su vez se combina con el amoníaco para formar nitrato de amonio. Pueden formar aerosoles respirables que se eliminan del ambiente mediante deposición húmeda o seca.

### **Partículas**

Las partículas, la forma más visible de contaminación, constituyen una mezcla compleja y variable de materiales orgánicos e inorgánicos. El polvo puede ser aventado de montones de mineral de hierro, carbón, coque y caliza, o puede pasar al aire durante su carga y transporte. Los materiales gruesos generan polvo por frotamiento o al ser machacados por vehículos. Las partículas finas se generan en los procesos de sinterización, fundición y licuefacción, especialmente cuando el hierro fundido entra en contacto con el aire para formar óxido de hierro. Los hornos de coque producen emisiones de finas partículas de coque y alquitrán. Sus posibles efectos para la salud dependen del número de partículas que se encuentren en el rango respirable, de la composición química del polvo y de la duración y concentración de la exposición.

Se han registrado importantes logros en la reducción de los niveles de contaminación por partículas. Por ejemplo, una acería alemana instaló precipitadores electrostáticos para limpiar los gases residuales secos producidos en la fabricación de acero con inyección de oxígeno y consiguió bajar el nivel de polvo emitido de 9,3 kg/t de acero en bruto en 1960 a 5,3 kg/t en 1975 y algo menos de 1 kg/t en 1990. Sin embargo, el coste fue un claro aumento del consumo de energía. Otros métodos de control de la contaminación por partículas comprenden el empleo de depuradores por humedad, precipitadores de polvos

y ciclones (que sólo son eficaces contra las partículas más grandes).

### **Metales pesados**

Un horno puede emitir metales como cadmio, plomo, zinc, mercurio, manganeso, níquel y cromo en forma de polvo, humos o vapores, o pueden ser adsorbidos por partículas. Los efectos para la salud, descritos en otras secciones de la presente *Enciclopedia*, dependen del nivel y duración de la exposición.

### **Emisiones orgánicas**

Las emisiones orgánicas de las principales operaciones de fabricación del acero incluyen: benceno, tolueno, xileno, disolventes, hidrocarburos PAH, dioxinas y fenoles. La chatarra de acero utilizada como materia prima puede contener varias de estas sustancias, dependiendo de su origen y de la forma en que se utilizase (p. ej., pintura y otros revestimientos, otros metales y lubricantes). No todos estos contaminantes orgánicos son capturados por los sistemas depuradores de gases convencionales.

### **Radiactividad**

En los últimos años, se han registrado casos de inclusión inadvertida de materiales radiactivos en la chatarra de acero. Las propiedades fisicoquímicas de los nucleidos (p. ej., temperaturas de fusión y ebullición y afinidad al oxígeno) determinarán lo que ocurrirá en el proceso de fabricación del acero. Su cantidad puede ser suficiente para contaminar los productos de acero, los subproductos y los distintos tipos de desechos, por lo que se requieren costosos métodos de limpieza y vertido. También existe la posibilidad de que se contaminen los equipos de fabricación, lo que acarrearía la exposición de los trabajadores. Sin embargo, en muchas operaciones se han instalado detectores sensibles a la radiación para inspeccionar toda la chatarra de acero que se compra.

### **Dióxido de carbono**

Aunque no produce efecto alguno sobre la salud humana ni los ecosistemas a los niveles atmosféricos normales, el dióxido de carbono es importante por su contribución al "efecto invernadero", que se asocia al calentamiento global. La industria del acero es una importante generadora de dióxido de carbono, más por el empleo del carbón como agente reductor en la producción de hierro a partir de mineral de hierro que por su uso como fuente de energía. En 1990, las emisiones de dióxido de carbono de la industria del hierro y el acero se habían reducido al 47 % de los niveles existentes en 1960 gracias a diversas medidas encaminadas a reducir el porcentaje de coque en los altos hornos, recuperar el calor residual y ahorrar energía.

### **Ozono**

El ozono, un importante componente del "smog" atmosférico cerca de la superficie de la tierra, es un contaminante secundario formado en el aire por la reacción fotoquímica de la luz del sol sobre los óxidos de nitrógeno, facilitada en distinta medida, en función de su estructura y reactividad, por diversos COV. La principal fuente de precursores del ozono la constituyen los escapes de los automóviles, pero algunos también son generados por las plantas de hierro y acero, así como por otras industrias. A consecuencia de las condiciones topográficas y atmosféricas, la reacción del ozono puede tener lugar a gran distancia de la fuente.

### **Contaminantes de las aguas residuales**

Las plantas de acero descargan un gran volumen de agua a ríos, arroyos y lagos, vaporizándose volúmenes adicionales durante el enfriamiento del coque o del acero. Las aguas

residuales almacenadas en estanques no herméticos o con fugas pueden filtrarse y contaminar la capa freática y las corrientes subterráneas. Éstas también pueden contaminarse por la lixiviación de las aguas pluviales a través de pilas de materias primas o acumulaciones de residuos sólidos. Entre los contaminantes cabe citar los sólidos en suspensión, los metales pesados y los aceites y grasas. Los cambios de temperatura en las aguas naturales como consecuencia del vertido de aguas de proceso a mayor temperatura (el 70 % de las aguas de proceso se utilizan como medio de enfriamiento) pueden afectar a los ecosistemas. En consecuencia, es esencial aplicar un tratamiento de enfriamiento antes del vertido, lo que puede conseguirse con la tecnología disponible.

#### **Sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión (SS) son los principales contaminantes del agua que se descargan durante la producción de acero. Comprenden principalmente óxidos de hierro procedentes de la formación de cascarilla durante el proceso; también puede haber carbón, lodos biológicos, hidróxidos metálicos y otros sólidos. Su presencia a mayores niveles puede dar lugar a la decoloración de las corrientes, la desoxigenación y la sedimentación.

#### **Metales pesados**

Las aguas de proceso de la fabricación de acero pueden contener altos niveles de zinc y manganeso, mientras que los vertidos de las áreas de laminación en frío y revestimientos pueden contener zinc, cadmio, aluminio, cobre y cromo. Estos metales están presentes naturalmente en el entorno acuático, pero su presencia a concentraciones superiores a las normales es preocupante por los posibles efectos para el hombre y los ecosistemas. Esta preocupación se ve aumentada por el hecho de que, a diferencia de muchos contaminantes orgánicos, los metales pesados no se biodegradan en productos finales inocuos y pueden concentrarse en sedimentos y en los tejidos de los peces y demás vida acuática. Además, al combinarse con otros contaminantes (p. ej., amoníaco, compuestos orgánicos, aceites, cianuros, álcalis, disolventes y ácidos), aumenta su toxicidad potencial.

#### **Aceites y grasas**

Las aguas residuales pueden contener aceites y grasas en formas solubles e insolubles. La mayoría de los aceites y grasas pesados son insolubles y relativamente fáciles de eliminar. Sin embargo, pueden emulsionarse por contacto con detergentes o álcalis o por agitación. Los aceites emulsionados se utilizan como parte del proceso de laminación en frío. Excepto porque provocan decoloración de la superficie del agua, la mayoría de los compuestos oleaginosos alifáticos son inocuos en pequeñas cantidades. Sin embargo, los compuestos oleaginosos aromáticos pueden ser tóxicos. Además, los componentes de los aceites pueden contener sustancias tóxicas como PCB, plomo y otros metales pesados. Aparte de la cuestión de la toxicidad, la demanda biológica y química de oxígeno (BOD y COD) de los aceites y de otros compuestos orgánicos puede reducir el contenido de oxígeno del agua, afectando de este modo a la viabilidad de la vida acuática.

#### **Residuos sólidos**

Es posible reutilizar la mayoría de los residuos sólidos producidos en la fabricación de acero. Por ejemplo, el proceso de producción de coque da lugar a derivados del carbón que son materias primas importantes en la industria química. Muchos subproductos (p. ej., coque pulverizado) pueden realimentarse en los procesos productivos. La escoria que se produce cuando las impurezas presentes en el carbón y el mineral de hierro se funden y se

Tabla 73.2 • Residuos generados y reciclados por la industria acerera de Japón.

	Generación (A) (1.000 toneladas)	Tierras (B) (1.000 toneladas)	Reutilización (A-B/A) %
Escoria			
Altos hornos	24.717	712	97,1
Convertidores	9.236	1.663	82,0
Hornos eléctricos de arco	2.203	753	65,8
Subtotal	36.156	3.128	91,3
Polvo	4.763	238	95,0
Lodos	519	204	60,7
Aceites residuales	81		
Total	41.519	3.570	91,4

Fuente: IISI 1992.

mezclan con la cal utilizada como fundente en los procesos de fundición pueden utilizarse de varias maneras: como material de fertilización de suelos áridos, con grava para carreteras y como materia prima para plantas de sinterización para el suministro de altos hornos. El acero, con independencia de su calidad, tamaño, uso o permanencia en servicio, es completamente reciclable, y puede reciclarse repetidamente sin que se degraden en modo alguno sus propiedades mecánicas, físicas o metalúrgicas. Se calcula que el porcentaje de reciclaje es del 90 %. En la Tabla 73.2 se ilustra el nivel alcanzado por la industria acerera japonesa en el reciclaje de materiales residuales.

#### **Conservación de la energía**

La conservación de la energía es aconsejable no sólo por motivos económicos, sino también para reducir la contaminación provocada por las instalaciones suministradoras de energía, como las centrales eléctricas. La cantidad de energía consumida para la producción de acero varía mucho dependiendo del proceso utilizado y de la mezcla de chatarra metálica y mineral de hierro empleada como material de alimentación. En 1988, el consumo energético de las plantas estadounidenses alimentadas con chatarra alcanzó un promedio de 21,1 gigajulios, mientras que las plantas japonesas consumieron alrededor de un 25 % menos. Un prototipo de planta alimentada con chatarra puesto en marcha por el Instituto Internacional del Hierro y el Acero (IISI, International Iron and Steel Institute) sólo utilizaba 10,1 gigajulios por tonelada (IISI 1992).

El aumento del coste de la energía ha estimulado el desarrollo de tecnologías de ahorro de energía y materiales. Los gases de baja energía, como los subproductos gaseosos producidos por los altos hornos y hornos de coque, se recuperan, se limpian y se reutilizan como combustible. El consumo de coque y combustibles auxiliares en la industria acerera alemana, que alcanzó una media de 830 kg/t en 1960, se redujo a 510 kg/t en 1990. La industria acerera japonesa fue capaz de reducir su porcentaje de consumo total de energía del 20,5 % en 1973 a alrededor de un 7 % en 1988. La estadounidense ha realizado importantes inversiones en conservación de la energía. La planta media ha reducido el consumo alrededor de un 45 % desde 1975, por medio de modificaciones en los procesos, nuevas tecnologías y reestructuraciones (las emisiones de dióxido de carbono han disminuido proporcionalmente).

## De cara al futuro

Tradicionalmente, los gobiernos, las asociaciones comerciales y las industrias han abordado las cuestiones medioambientales según el medio, tratando por separado, por ejemplo, los problemas del aire, del agua y el vertido de residuos. Aunque útil, este planteamiento sólo ha servido en ocasiones para desviar el problema de un ámbito ecológico a otro, como ocurre con los costosos tratamientos de las aguas residuales, que dejan sin resolver el problema del vertido de los lodos de tratamiento, capaces de contaminar gravemente las aguas subterráneas.

En los últimos años, sin embargo, la industria acerera internacional ha abordado este problema mediante un control integrado de la contaminación, que ha dado lugar al concepto de gestión total de los riesgos ambientales, un programa que considera todos los impactos ecológicos de forma simultánea y aborda los ámbitos prioritarios de forma sistemática. Un segundo avance igualmente importante ha sido la insistencia en las medidas preventivas, en vez de en la reparación. Este enfoque aborda cuestiones como el emplazamiento de la planta, la preparación del emplazamiento, la distribución y equipamiento de la planta, la especificación de las responsabilidades diarias de gestión y la incorporación de plantillas y recursos adecuados para controlar el cumplimiento de las reglamentaciones ambientales y comunicar los resultados a las autoridades competentes.

El Centro de la Industria y el Medio Ambiente, creado en 1975 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (PNUMA), tiene por objeto favorecer la cooperación entre las industrias y los gobiernos con el fin de promover un desarrollo industrial respetuoso con el medio ambiente. Entre sus objetivos cabe citar:

- fomento de la incorporación de criterios ecológicos en los planes de desarrollo industrial;
- facilitación de la implantación de procedimientos y principios para la protección del medio ambiente;
- promoción del uso de técnicas limpias y seguras;
- estímulo al intercambio de información y experiencias en todo el mundo.

El PNUMA trabaja en estrecha colaboración con el IISI, la primera asociación industrial internacional dedicada a una sola industria. Entre los miembros del IISI se encuentran empresas productoras de acero de propiedad pública y privada, así como asociaciones, federaciones e institutos de investigación de industrias acereras de los 51 países que engloban más del 70 % de la producción mundial total de acero. El IISI, a menudo de concierto con el PNUMA, adopta declaraciones de política y principios ambientales e informes técnicos como el que ha servido en gran parte de base al presente artículo (PNUMA e IISI 1997). Ambos trabajan conjuntamente para abordar los factores económicos, sociales, morales, personales, de gestión y tecnológicos que afectan al cumplimiento de los principios, políticas y reglamentaciones ambientales.

## Referencias

- Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). 1984. Monographs 1984. 34:101-131.
- Constantino, JP, CK Redmond, A Bearden. 1995. Occupationally related cancer risk among coke oven workers: 30 years of follow-up. *J Occup Env Med* 37:597-603.
- Cullen, MR, JR Balmes, JM Robins, GJ Walker Smith. 1981. Lipoid pneumonia caused by oil mist exposure from a steel rolling tandem mill. *Am J Ind Med* 2:51-58.
- International Iron and Steel Institute (IISI). 1992. *Environmental Control in the Steel Industry*. Documentos preparados para la Conferencia Mundial 1991 ENCOSTEEL, Bruselas.
- Johnson, A, CY Moira, L MacLean, E Atkins, A Dymbuncio, F Cheng, D Enarson. 1985. Respiratory abnormalities amongst workers in iron and steel industry. *Br J Ind Med* 42:94-100.
- Kronenberg, RS, JC Levin, RF Dodson, JGN Garcia, DE Griffith. 1991. Asbestos-related disease in employees of a steel mill and a glass bottle manufacturing plant. *Ann NY Acad Sci* 643:397-403.
- Lydahl, E, B Philipson. 1984. Infrared radiation and cataract. 1. Epidemiologic investigation of iron and steel workers. *Acta Ophthalmol* 62:961-975.
- McShane, DP, ML Hyde, PW Alberti. 1988. Tinnitus prevalence in industrial hearing loss compensation claimants. *Clinical Otolaryngology* 13:323-330.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1992. *Recent Developments in the Iron and Steel Industry*. Informe I. Ginebra: OIT.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) Comisión sobre la Salud. 1992. *Report of the Panel on Industry and Health*. Ginebra: OMS.
- Pauline, MB, CB Hendrick, TJH Carel, PK Agaath. 1988. Back disorders in crane operators exposed to whole body vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 1988:129-137.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). 1986. *Guidelines for Environmental Management of Iron and Steel Works*. Paris: UNEP.
- Steenland, K, T Schnoor, J Beaumont, W Halperin, T Bloom. 1988. Incidence of laryngeal cancer and exposure to acid mists. *Br J Ind Med* 45:766-776.
- Thomas, PR, D Clarke. 1992. Vibration, White Finger and Dupuytren's Contracture: Are they related? *Occup Med* 42(3):155-158.
- United Nations Environment Programme (PNUMA) y Steel Institute (IISI). 1997. *Steel Industry and the Environment: Technical and Management Issues*. Technical Report No. 38. Paris y Bruselas: PNUMA y IISI.
- Wennberg, A, A Iregren, G Strich, G Cizinsky, M Hagman, L Johansson. Manganese exposure in steel smelters, a health hazard to the nervous system. *Scand J Work Environ Health* 17: 255-62.
- Otras lecturas recomendadas**
- American Iron and Steel Institute (AISI). 1995. *Steel Processing Flow Lines*. Washington: AISI.
- Dasgupta, AK. 1989. Photodermatitis and photo-aggravated dermatitis in an Indian steel plant. *Contact Dermat* 21:118-119.
- Finkelstein, MN, N Wilk. 1990. Investigation of a lung cancer cluster in the melt shop of an Ontario steel producer. *Am J Ind Med* 17:483-491.
- Fletcher, AC, A Ades. 1984. Lung cancer mortality in a cohort of English foundry workers. *Scan J Work Environ Health* 10:7-16.
- International Iron and Steel Institute (IISI). 1997. *Steel for Sustainable Development*. Bruselas: IISI.
- Kusiak, R, GM Liss, MM Galitis. 1993. Cor pulmonale and pneumoconiotic lung disease: An investigation using hospital discharge data. *Am J Ind Med* 24:161-173.
- Moinov, S. 1995. Falling employment, the trend in steel. *MBM* abril 1995:40-45.
- Muldoon, SR, DJ Tollerud. 1996. Industries associated with respiratory disease: Foundries and Steel making. En *Occupational and Environmental Respiratory Disease*, dirigido por P Harber, MB Schenker, JR Balmes. St. Louis, Misuri: Mosby.
- Office of Population Censuses and Surveys. 1995. *Occupational Health: Decennial Supplement*. Series DS No. 10. Londres: Her Majesty's Stationery Office.
- Porcq, F. 1977. Storage and handling of coils in the metal trades (Le stockage et la manutention des bobines dans les entreprises métallurgiques). *Prevention et securite du travail (Lille)* 114:29-38.
- Radford, EP. 1976. Cancer mortality in the steel industry. *Ann NY Acad Sci* 271:228-238.
- Rochette, HE, CK Redmond. 1985. Selection, follow-up and analysis in the coke oven study. *National Cancer Institute Monographs* 67:89-94.
- Schnauber, H, U Kern. 1980. *Ergonomic Design of Tongs for Rotating Billets* (Ergonomische und sicherheitstechnische Optimierung von Kantwerkzeugen). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.

