

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de productos de metal, plástico y caucho

Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente

pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.

En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

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

Aplicabilidad

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de productos de metal, plástico y caucho describen las operaciones de procesamiento de materiales comunes a múltiples industrias dedicadas a la fabricación de productos de metal, plástico y caucho. No hacen referencia a la extracción o producción de materias primas (metales, plásticos y caucho), el moldeado de metales o la síntesis de polímeros termoplásticos o aditivos. El **Anexo A** contiene un resumen de las actividades de este sector industrial.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria

Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño

Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

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

1.1 Medio ambiente

1.1.1 Metales

Los problemas ambientales relacionados con la fabricación de productos de metal incluyen principalmente:

- Emisiones al aire
- Aguas residuales y residuos líquidos
- Residuos sólidos

Emisiones al aire

El Cuadro 1 presenta una lista de las emisiones al aire más comunes para los procesos habituales de fabricación de metal. La sinterización puede generar subproductos de combustión y gases efecto invernadero como resultado de los requisitos de energía. Los compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles pueden generarse a partir de los óxidos, polvos y lubricantes (por ejemplo, parafinas o grafito) empleados en las cargas antes de la compactación. El manejo de partículas metálicas de tamaño micro (aproximadamente 1 μm de diámetro) puede generar polvo metálico. Las emisiones procedentes del moldeado se describen en las **Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las fundiciones**.

Las emisiones a la atmósfera en los procesos de formación pueden consistir en disolventes y soluciones refrigerantes / lubricantes empleadas en los equipos o vapores generados durante el enfriamiento (por ejemplo, después de la formación en caliente o del recocido). Las nubes y vapores de aceite y grasa pueden ser el resultado del uso de herramientas mecánicas automatizadas.

Cuadro 1 – Emisiones al aire en la fabricación de productos de metal

Proceso	Emisión al aire
Sinterización	Polvo fugitivo, partículas, monóxido de carbón, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos de cloruro y sulfuro, COV (por ejemplo, vapores de poliestireno, hidrocarburos), humos metálicos (metal volatilizado y óxidos de metal)
Conformación de metales	
Corte, trituración y / o formación de metales (incluida la forja, el trefilado, el prensado y la estampación, entre otros)	Humo y nieblas de fluido de corte [en procesos donde se calientan los fluidos de corte / lubricación / refrigeración (por ejemplo, el trefilado). En el caso de los trabajos a elevada temperatura o de elevados efectos de desgaste, algunos lubricantes pueden llegar a descomponerse y producir COV
Tratamientos térmicos	
Enfriamiento, recocido y otros tratamientos generales	Niebla, COV / disolventes, humos, partículas (por ejemplo, vapores oxidados de cromo o níquel)
Preparación de superficies	
Tratamientos abrasivos (por ejemplo, granallado, chorreo con arena)	Polvo compuesto de partículas abrasivas, metales y óxidos de metal.
Desengrasado y emulsión de disolvente, alcalino y limpieza con ácido	Disolventes (asociados sólo con el desengrasado de disolventes y la limpieza de emulsión), COV, humos, vapores ácidos o alcalinos que contienen amoniaco, cloruro de amonio
Soldadura	Partículas, vapores oxidados de cromo (VI) y níquel, ozono, vapores (como metales u óxidos) de plomo, cadmio, cinc, estaño, hierro, molibdeno, manganeso, cobalto, vanadio, sílice y silicatos, fluoruros, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, fosgeno (cloruro de carbonilo), fosfina
Acabado de superficies	
Anodización, recubrimiento de conversión química, galvanoplastia	Nubes con iones metálicos y nubes ácidas, ácido hidroclicórico, ácido sulfúrico, amoniaco, cloruro de amonio, óxido de cinc, material particulado, plomo, cobre, cloro
Pintura	Disolventes
Otras técnicas de acabado de metales (incluyendo el pulido, el revestimiento por inmersión en caliente y grabado)	Humos metálicos y ácidos, óxido de cinc (procedente de la refrigeración con agua), COV, óxidos de nitrógeno, material particulado, óxido de azufre (procedente del calentamiento del baño de cinc)

Los tratamientos térmicos durante el recocido y el enfriamiento generan emisiones al aire a partir de los hornos (por ejemplo, subproductos de combustión de combustible de horno y emisiones resultantes de la quema de aceites y grasas presentes en la superficie de los metales) y emisiones del baño de enfriamiento (por ejemplo, agua mezclada con aditivos químicos o aceites sintéticos) tales como vapores o nieblas.

Durante los procesos de soldadura, las emisiones a la atmósfera se vinculan al material base soldado y al método de soldadura elegido. En particular, las emisiones pueden generarse en el baño de fusión, los gases protectores, la reacción de la cara externa de los electrodos con núcleo a la atmósfera y la quema de aceites / grasas presentes en el producto bruto. Se prestará especial atención a las emisiones procedentes de los recubrimientos que en última instancia cubrirán los metales base.

Las emisiones al aire originadas en la limpieza de la superficie de metales se relacionan con la evaporación de sustancias químicas durante el desengrasado, limpieza y aclarado. Las emisiones de partículas pueden generarse durante el chorreo con arena y la trituración seca de superficies. Estas emisiones pueden incluir partículas metálicas y óxidos metálicos.

Los tratamientos electroquímicos de superficie producen emisiones al aire, nieblas y burbujas de gas procedentes de los fluidos calentados que pueden contener metales y otras sustancias presentes en el baño. Durante las labores de pintura, las emisiones atmosféricas consisten principalmente en disolventes orgánicos empleados como portadores para la pintura. Las emisiones también pueden proceder del almacenamiento, mezclado, aplicación y secado de pintura.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Las estrategias de manejo recomendadas para las emisiones de COV incluyen:

- La instalación de bobinas de refrigerador (o bobinas adicionales) sobre la zona de vapor del desengrasador;
- La aplicación de un flujo de aire sobre la parte superior del desengrasador no debería exceder normalmente los 40 m / minuto;
- La rotación de piezas antes de su extracción del desengrasador de vapor, incluyendo:
 - Instalar controles termostáticos de calefacción en depósitos y tanques de disolventes
 - Instalar filtros en la línea de producción para impedir la acumulación de partículas
 - Usar la recuperación de disolventes para reducir las emisiones de COV procedentes de los hornos de curación
 - Emplear carbón activado para recuperar vapores de disolvente
- La cuidadosa limpieza de las superficies de metal para reducir las emisiones durante la soldadura y el recubrimiento;
- La extracción de los recubrimientos de los metales base antes de la soldadura, usando preferentemente la limpieza mecánica (por ejemplo, el decapado con pelets de CO₂) en lugar de los disolventes.

Polvo

Las estrategias de manejo recomendadas para las emisiones de polvo incluyen:

- Instalar aspiradores en la línea de producción con filtros o depuradores. También pueden utilizarse precipitadores electrostáticos (ESP);
- Siempre que sea posible, mantener la humedad en la superficie de metal para impedir o minimizar la producción de polvo.

Contenido en ácido / metales en nieblas y humos

Las estrategias recomendadas para el manejo del contenido en ácido / metales en las emisiones de niebla y humo incluyen:

- Utilizar supresores de humo como aditivos en los baños de galvanoplastia para reducir las emisiones al aire de los metales galvanizados (por ejemplo, el cromo);
- Instalar aspiradores en la línea de producción con filtros para eliminar los compuestos ácidos.
- Instalar filtros capaces de manejar metales complejos para reducir los metales u óxidos de metal;
- Controlar los humos de soldadura (una mezcla de metales, óxidos y humo procedentes de la quema de aceite) extrayendo los recubrimientos de los metales base. Los disolventes de hidrocarburos clorados no se utilizarán en este caso para prevenir el riesgo de creación de fosgeno.

Aguas residuales y residuos líquidos

Las típicas fuentes de descargas de aguas residuales procedentes de la fabricación de productos de metal incluyen las corrientes acuosas de limpieza y aclarado; el agua de refrigeración; los limpiadores alternativos; las aguas residuales generadas durante las actividades de corte, decapado, desbarbado y acabado en masa; y las operaciones con fluidos acuosos de metalurgia. El Cuadro 2 enumera las aguas residuales de proceso generadas a partir de los procesos de fabricación de productos de metal.

Cuadro 2 – Residuos líquidos procedentes de la fabricación de productos de metal	
Proceso	Aguas residuales de proceso
Sinterización	Óxidos de metal, fenoles, grasa, aceites vertidos, sólidos suspendidos y disueltos y metales (todos que contengan metal)
Conformación de metales	

Cuadro 2 – Residuos líquidos procedentes de la fabricación de productos de metal

Proceso	Aguas residuales de proceso
Corte, trituración y / o formación de metales	Fluidos residuales de mecanización (por ejemplo, glicol de etileno, fluidos oleosos; emulsiones aceite -agua, emulsiones sintéticas) y residuos ácidos (por ejemplo, clorhídrico, sulfúrico, nítrico), alcalinos y de disolventes
Preparación de superficies	
Desengrasado de disolventes y limpieza de emulsión, alcalinos y ácido	Tensioactivos, emulsificadores, detergentes, terpenos, residuos alcalinos o ácidos, sales metálicas, materiales base disueltos
Soldadura	Baños refrigerantes contaminados empleados para enfriar después de la soldadura
Acabado de superficies	
Anodización, recubrimiento de conversión química, galvanoplastia	Residuos ácidos / alcalinos, metales, sales metálicas, cinc, cromo (VI), cianuro
Pintura	Disolventes residuales, vertidos y posos de destilación
Otras técnicas de acabado de metales (incluido el pulido, el revestimiento por inmersión en caliente y el grabado)	Residuos metálicos (por ejemplo, cinc, cromo [VI]) y ácidos o alcalinos

Después de los tratamientos térmicos y trabajos a elevada temperatura, incluyendo la soldadura, puede realizarse el enfriamiento en un elemento líquido. El enfriamiento también es importante durante el moldeado y la sinterización. Las **Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las fundiciones** ofrecen detalles adicionales sobre el moldeado. El baño de enfriamiento suele ser de agua o estar basado en ella y puede contener aditivos químicos (por ejemplo, disolventes orgánicos, fenoles, aceite y grasa). Los baños de enfriamiento usados pueden incluir aditivos residuales y sus productos secundarios, así como la escoria metálica (por ejemplo, óxidos formados durante la solidificación).

Los depuradores húmedos empleados para el control de humos pueden generar aguas residuales que pueden contener metales y fenoles y suelen ser altamente alcalinas o ácidas y se neutralizarán antes de su descarga. Se evitará la contaminación térmica en la descarga del agua de refrigeración sin contacto mediante el uso de sistemas de refrigeración de recirculación, utilizando por ejemplo torres de refrigeración.

Los fluidos resultantes del corte, la trituración y la formación de metales suelen contaminarse debido a su prolongado uso y reutilización. Los fluidos de mecanización de metales pueden ser derivados del petróleo, emulsiones aceite-agua y emulsiones sintéticas. Los fluidos pueden descomponerse en sus componentes debido al uso y a la reutilización, y los fluidos usados pueden contener muchos compuestos diferentes, incluyendo algunos derivados de la combinación de metales y óxidos de metal con constituyentes de fluido degradados. Los fluidos usados pueden contener grandes cantidades de metales (por ejemplo, hierro, aluminio y cobre), ácidos y álcalis (por ejemplo, ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico) y orgánicos (por ejemplo, glicol de etileno, aldehído acético y formaldehído, aceites directos, aceites solubles, fluidos semisintéticos, fluidos sintéticos y disolventes residuales).

La preparación de superficies puede generar aguas residuales (principalmente, de aclarado) procedentes de las actividades de limpieza. Los limpiadores acuosos son sustancias químicas acuosas pueden dividirse en dos grupos principales, a saber, productos ácidos y alcalinos. Ambos tipos de limpiadores acuosos contienen tensioactivos (agentes tensioactivos), emulsificadores (para la extracción de aceite), detergentes y terpenos (en el caso de los limpiadores semiacuosos). Los residuos acuosos procedentes de la limpieza alcalina y ácida, que no contienen disolventes, pueden tratarse en el emplazamiento.

Las técnicas de revestimiento por inmersión en caliente (por ejemplo, la galvanización) utilizan agua para el aclarado después de la limpieza previa y para el enfriamiento después del recubrimiento. Los recubrimientos por inmersión en caliente generan residuos sólidos y escoria de óxido que se desespuma periódicamente del tanque caldeado. Estas operaciones pueden generar aguas residuales que contienen metales. Las soluciones de grabado consisten en ácidos fuertes (por ejemplo, ácido nítrico) o bases. Las sales (por ejemplo, persulfato de amonio, cloruro férrico) se utilizan para producir soluciones de grabado. Las soluciones usadas para el grabado pueden contener metales y ácidos. El revestimiento de metales y los residuos asociados representan los mayores volúmenes de residuos que contienen metal (por ejemplo, cadmio, cromo, cobre, plomo y níquel) y cianuro.

Las operaciones de pintura generan residuos con disolventes y la descarga directa de disolventes (incluido benceno, metiletilcetona, metilisobutilcetona, tolueno y xilenos). Las operaciones de pintura también pueden generar aguas residuales procedentes de la descarga de materiales empleados para contener la pintura y la pulverización superficial y del exceso de pintura y / o pinturas caducadas.

Las operaciones de anodización pueden producir aguas residuales de proceso que contienen acetato de níquel y sellantes sin níquel. Otros contaminantes potenciales incluyen complejantes y metales, que pueden combinarse con otras aguas residuales de acabado de metales y tratarse en el emplazamiento por medio de la precipitación convencional con hidróxido. Las aguas residuales que contienen cromo (por ejemplo, aguas residuales procedentes del recubrimiento de conversión química) se tratarán previamente para reducir el cromo hexavalente en trivalente. El proceso de tratamiento convencional genera unos lodos que suelen enviarse fuera del emplazamiento para la recuperación y/ o eliminación de metales.

Los efluentes suelen contener contaminantes significativos y pueden diferenciarse en corrientes separadas, incluyendo aguas residuales que pueden estar afectadas por aceites y disolventes; aguas residuales de tratamiento / acabado de superficies; y aguas residuales que contienen metales. Algunas de las medidas recomendadas para la prevención y el control de la contaminación son:

Efluentes oleosos:

- Separar los efluentes de las aguas residuales y proceder a una descarga especial cuando no sea factible el reciclaje;
- Normalizar el uso de tipos de aceite y programar eficazmente los procesos que requieran el uso de distintos tipos de aceite;
- Prolongar la vida del líquido refrigerante mediante el uso de centrifugadoras, la introducción de análisis periódicos, el uso de biocidas y ultrafiltración y la extracción de aceites por medio de desespumadores de disco o de cinta transportadora. Emplear técnicas adecuadas de mantenimiento para impedir que los aceites de corte se contaminen con disolventes;
- Reciclar los baños de enfriamiento de aceite mediante el filtrado de metales;
- Recuperar los fluidos metalúrgicos empleando bandejas de recogida (o de goteo) colocadas bajo la maquinaria;
- Durante la formación en frío y otros procesos que utilizan aceites, emplear engrasadores automáticos para reducir la acumulación de grasas. Considerar la posibilidad de aplicar un lubricante de estampación adecuado a las condiciones necesarias para los procesos de tratamiento térmico.

Efluentes acuosos y de disolventes:

- Manejar adecuadamente los disolventes para impedir los vertidos y las emisiones fugitivas. Las **Guías generales**

sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen recomendaciones sobre el almacenamiento y el manejo de disolventes;

- Considerar la posibilidad de emplear agentes desengrasantes menos peligrosos (por ejemplo, disolventes de petróleo, agentes limpiadores de origen vegetal, VCA, CO₂ supercrítico o lavados alcalinos), además limpiar los disolventes a contracorriente (en dos fases: una primera limpieza con disolventes sucios, seguida de una con disolvente limpio); utilizar los lavados acuosos que no contengan COV para la limpieza de metales siempre que sea posible. Algunos pueden regenerarse mediante microfiltración;
- Reciclar los disolventes desengrasantes usados en el emplazamiento reutilizando los aparatos de destilación continuos y los disolventes residuales;
- Implementar la limpieza en frío con esencias minerales recicladas antes del desengrasado final de vapor;
- Recuperar los ácidos presentes en las aguas residuales mediante evaporación;
- Reducir la contaminación del agua de aclarado por arrastre optimizando la operación de las distintas partes, empleando tensioactivos y otros agentes humectantes;
- Emplear técnicas mecánicas de limpieza en lugar de sustancias químicas siempre que sea posible (por ejemplo, un aparato vibrador de abrasión para latón en lugar del decapado con ácido; el pulido mecánico en lugar de una solución ácida para extraer los óxidos de titanio; y máquinas giratorias de cepillo con piedra pómez para limpiar las placas de cobre);
- Controlar y reducir las concentraciones de iones metálicos disueltos (por ejemplo, reducir la concentración de molibdeno mediante sistemas de ósmosis inversa / precipitación; utilizar soluciones no cromadas para la limpieza alcalina del grabado de aluminio preparado; utilizar baños por inmersión de ácido sulfúrico / peróxido

de hidrógeno en lugar de baños por inmersión de cianuro y ácido crómico para el proceso de inmersión de abrillantamiento del cobre);

- Sustituir cuando sea posible las soluciones de decapado ácido o alcalino por agentes limpiadores alternativos (por ejemplo, utilizar un limpiador de alambre cáustico con detergentes biodegradables, y alcoholes lineales en lugar del ácido sulfúrico para decapar el hilo de cobre, siempre que se implementen las medidas adecuadas de seguridad y prevención de incendios);
- Instalar limitadores de flujo / medidores de control, empleándose una bomba a pedal (o fotosensor para las líneas automáticas) para activar el aclarado;
- Tratar y reciclar las aguas residuales de proceso mediante el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrolisis y la electrodiálisis con intercambio iónico.

Aguas residuales de tratamiento / acabado de superficies:

- Sustituir los agentes complejantes fuertes como EDTA y tensioactivos tóxicos como NPE y PFOS por otras alternativas menos peligrosas;
- Los baños de anodización y las aguas alcalinas se regenerarán mediante la recuperación de sales metálicas (por ejemplo, aluminio) mediante el uso de la hidrólisis de aluminato de sodio;
- Limitar los inventarios de materiales de acabado con vidas en almacenamiento cortas;
- Minimizar la producción de aguas residuales en las labores de pintura (de claro a oscuro) y seleccionar las técnicas de pulverización (por ejemplo, usar una pistola de pulverización para aplicaciones específicas, emplear un sistema de acabado electrostático en lugar de la pulverización de aire convencional);
- Evitar y sustituir el uso de disolventes clorados (incluidos el tetracloruro de carbono, el cloruro de metileno, el 1,1,1-

tricloroetano y el percloroetileno) por disolventes no tóxicos o menos tóxicos como agentes limpiadores;

- Sustituir el ácido crómico y el fosfato trisódico por limpiadores menos tóxicos y no humeantes (por ejemplo, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno), y los limpiadores de cianuro por amoniaco;
- Utilizar componentes de baño menos tóxicos (por ejemplo, cinc en lugar de cadmio en las soluciones alcalinas / salinas; ácidos nítricos o clorhídricos en vez de cianuro en ciertos baños de chapado; cloruro de cinc en vez de cianuro de cinc);
- Instalar planchas de drenaje, rejillas de goteo, barras de goteo y tanques dedicados para soluciones arrastradas después de los baños de proceso.

Metales en las aguas residuales:

- El manejo del consumo de agua es crucial, dado que también reduce el uso de materias primas y su pérdida en el medio ambiente. Un buen control del proceso y la reducción de las soluciones arrastradas son esenciales para reducir el consumo de materias primas peligrosas;
- Separar las aguas residuales con metales recuperables de otras corrientes de aguas residuales. Recuperar los metales de las soluciones (por ejemplo, mediante cubas electrolíticas o precipitación con hidróxido);
- Enviar los baños usados para el decapado de metales a un proceso de electrolisis continua para la regeneración y recuperación de metales;
- Recuperar los metales procedentes de las soluciones de baño de abrillantamiento mediante procesos adecuados (por ejemplo, los sistemas de intercambio iónico para el cobre o la segregación de fosfatos procedentes del tratamiento de las aleaciones de aluminio);
- Sustituir las soluciones que contengan sales de cianuro (por ejemplo, para los procesos de endurecimiento) por

soluciones que utilicen un baño fluidizado de nitrógeno y corindón;

- Sustituir el cromo hexavalente para el chapado; en caso de que no sea posible, utilizar bucles cerrados y tinas cubiertas para minimizar las emisiones.

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Dado que en las operaciones de fabricación en general de productos de metal, plástico y caucho se utiliza una variada gama de materiales, sustancias químicas y procesos, el tratamiento de las aguas residuales puede requerir el uso de operaciones de unidad específicas del proceso de fabricación empleado.

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de proceso en este sector incluyen la clasificación por origen y el pretratamiento de corrientes de aguas residuales concentradas. Las fases en el tratamiento de aguas residuales suelen incluir: filtros de grasas, equipos colectores de flotación, flotación por presurización-despresurización o separadores de agua / aceite para separar los aceites de los sólidos flotantes; filtración por separación de sólidos filtrables; equalización de flujo y carga; sedimentación para la reducción de sólidos en suspensión utilizando clarificadores; tratamiento biológico, normalmente aeróbico, para reducir las sustancias orgánicas solubles (DOB); eliminación de nutrientes biológicos para la reducción de nitrógeno y fósforo; cloración de los efluentes siempre que se requiera la desinfección; drenaje y eliminación de residuos en vertederos designados para residuos peligrosos. Es posible que se requieran controles de ingeniería adicionales para i) el confinamiento y el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles extraídos en las operaciones de diversas unidades en el sistema de tratamiento de agua residuales; ii) la eliminación avanzada de metales empleando filtros de membrana y otras técnicas de tratamiento físico/químico, iii) eliminación de compuestos orgánicos recalcitrantes empleando carbón activo u

oxidación química avanzada; iv) la eliminación de color residual mediante la adsorción u oxidación química, v) la reducción de la toxicidad en los efluentes empleando la tecnología adecuada (como por ejemplo ósmosis inversa, intercambio iónico, carbón activo, etc.), vi) la reducción de TDS en los efluentes empleando la ósmosis inversa o la evaporación y vii) el confinamiento y la neutralización de olores molestos.

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se explica la gestión de aguas residuales industriales y se ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión de aguas residuales, los establecimientos deberían cumplir con los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento para la industria.

Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas (por ejemplo, las aguas pluviales procedentes de las zonas expuestas de residuos sólidos, como por ejemplo cortes de metal) se canalizarán hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de proceso. Las recomendaciones para reducir el consumo de agua, especialmente en aquellos sitios en que pueda ser un recurso natural escaso, se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Residuos sólidos

La fabricación de metales y las operaciones relacionadas (por ejemplo, tratamientos de aguas residuales o reducción de

humos) pueden generar residuos sólidos. El Cuadro 3 enumera los principales residuos sólidos procedentes de la fabricación de productos de metal en función de su origen.

La sinterización produce una cantidad limitada de residuos sólidos, principalmente vinculados al almacenamiento y manejo de materias primas (por ejemplo, partículas, polvos y contaminación del suelo procedente de los vertidos de aceite). Durante los tratamientos térmicos (por ejemplo, el recocido) se forman cascarillas. Durante la limpieza de baños de enfriamiento o refrigeración también pueden generarse lodos que contienen metales.

La formación de metales produce una gran cantidad de virutas de metal (fragmentos de metal), lodos de fluidos de corte con metal y disolventes residuales de posos de destilación. Los fragmentos de metal consisten principalmente en metales extraídos de la pieza intermedia (por ejemplo, acero) y puede combinarse con pequeñas cantidades de fluidos metalúrgicos (por ejemplo, líquidos refrigerantes o lubricantes) empleados antes y durante la operación de conformación de metales que genera los fragmentos. Este tipo de fragmentos suele reintroducirse en el proceso como materia prima. Las escorias, polvos y pólvoras de soldadura pueden contener distintos óxidos de metal presentes en los metales base y sus recubrimientos.

Cuadro 3 – Residuos sólidos procedentes de la fabricación de productos de metal

Proceso	Residuos sólidos
Sinterización	Partículas y polvos
Conformación de metales	
Corte, trituración y / o formación de metales	Partículas metálicas (por ejemplo, cargas de hierro, y virutas procedentes de las operaciones de mecanizado), lodos de fluidos de mecanización con metales y disolventes residuales de posos de destilación
Preparación de superficies	
Desengrasado de disolventes y limpieza de emulsión, alcalina y ácida	Lodo/s de proceso
Soldadura (incluyendo la técnica de varias pasadas)	Óxidos de metal (por ejemplo, óxidos de Ti, Al, Fe, Ni, Cr, Cu, Zn o Sn) y gotas de escoria
Acabado de superficies	
Anodización, recubrimiento de conversión química, galvanoplastia	Lodo/s metálico/s, metales base y compuestos reactivos
Pintura	Posos de destilación, lodo/s (secos), pintura y metales
Otras técnicas de acabado de metales (incluyendo el pulido, revestimiento por inmersión en caliente y grabado)	Lodo/s de pulido, escoria de metales (por ejemplo, cinc, cromo), lodos de grabado, escoria de óxidos, lodo/s de metal

Las actividades de preparación de superficies generan residuos sólidos (por ejemplo, lodos de tratamiento de aguas residuales, posos de destilación, residuos de limpieza de tanques, residuos de fluidos de mecanización). La anodización, el revestimiento por conversión química, la galvanoplastia y la pintura pueden generar una serie de soluciones usadas y aguas residuales cuyo tratamiento puede resultar en la producción de lodos, metales base, óxidos metálicos y distintas clases de compuestos reactivos. El pulido, el revestimiento por inmersión en caliente, el grabado y otras técnicas de acabado de metales generan los mismos residuos que la anodización, aunque con el

añadido de los lodos de pulido, la escoria de los tanques de inmersión en caliente y los lodos de grabado.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la contaminación incluyen:

- Separar el polvo y los fragmentos de metal según su tipología para fomentar la recuperación y el reciclaje;
- Reducir y tratar las escorias procedentes de la soldadura, el forjado, el mecanizado y el acabado mecánico que puedan contener iones metálicos;
- Manejar de forma adecuada los metales extraídos de las aguas residuales para su recuperación o eliminación;
- La descarga de lodos procedentes de los procesos de acabado de superficies (por ejemplo, la galvanización, la pintura, el baño de inmersión en caliente).
- En caso de no ser posible la reutilización ni el reciclaje, eliminar los residuos de acuerdo con las recomendaciones sobre manejo de residuos de las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

1.1.2 Plásticos y cauchos

Los problemas ambientales de importancia en la fabricación de productos de plástico y caucho incluyen principalmente:

- Emisiones al aire
- Aguas residuales
- Residuos sólidos

Las actividades operativas que pueden acarrear impactos adversos en el medio ambiente incluyen la granulación, la preparación de compuestos / formulación de resinas, la conformación y acabado. Dado que los procesos de fabricación de plástico y caucho difieren principalmente en las operaciones relativas a la preparación de compuestos / formulación y conformación, éstos se presentan por separado en las

presentes guías. Teniendo en cuenta la similitud de las operaciones que implican la granulación y el acabado durante la fabricación de termoplásticos y polímeros y cauchos termoestables, estas cuestiones se describen conjuntamente en las presentes guías.

Emisiones al aire

Plásticos

Las emisiones al aire pueden contener material particulado y compuestos orgánicos volátiles (COV). El material particulado puede liberarse durante el manejo de aditivos secos y la granulación de polímeros. Además, el calentamiento de los termoplásticos durante la preparación de compuestos y la formación puede resultar en la formación y emisión de aerosoles finos.

Las técnicas recomendadas para la prevención y control de la contaminación por emisión de material particulado incluyen:

- Optimizar las condiciones de procesamiento para el manejo y el mezclado de aditivos secos, temperatura y granulación de polímeros;
- Filtrar el aire de escape procedente de las zonas de manejo de materiales y granulación empleando un ciclón y / o bolsa filtrante;
- Captar y controlar las emisiones fugitivas procedentes de los dispositivos de producción, normalmente mediante un ciclón primario y una bolsa filtrante secundaria o un precipitador electrostático.

Los COV, incluidos los aditivos y disolventes de bajo peso molecular, pueden liberarse durante las operaciones de preparación de compuestos y formación, especialmente en caliente. Durante las operaciones de conformación de los plásticos no reactivos, los polímeros de base son estables más allá de las temperaturas de procesamiento requeridas, con

escasas excepciones. No obstante, durante la conformación, el vapor de agua, los aditivos de bajo punto de ebullición y los monómeros atrapados en el polímero pueden liberarse, sobre todo en la porción más caliente de la línea de procesamiento. El Cuadro 4 proporciona ejemplos de plásticos frecuentemente procesados y algunos componentes detectados en el humo durante el procesamiento o calentamiento de plásticos por encima de la temperatura superior de proceso recomendada para ellos. A diferencia de otros procesos termoplásticos, la fabricación de productos de poliestireno expandible (EPS) requiere que las materias primas se acondicionen antes del proceso final de moldeado "cincelado". En el proceso de conversión, una pequeña cantidad de líquido de bajo punto de ebullición, normalmente una mezcla de isómeros de pentano (del 3 al 8 por ciento por peso), se emplea como agente de soplado².

Cuadro 4 – Sustancias potencialmente liberadas a altas temperaturas de procesamiento

Plástico	Ejemplos de componentes detectados
PVC – Cloruro de vinilo	Cloruro de hidrógeno, monómero de cloruro de vinilo
ABS – Copolímero de acrilonitrobutilenoestireno	Estireno, fenol, butadieno
PP - Polipropileno	Aldehídos, butano, otros alcanos, alcanos
POM – Acetales	Formaldehído
LDPE, MDPE, HDPE Polietileno (de densidad baja, media y alta)	Aldehídos, butano, otros alcanos, alcanos
PS - Poliestireno	Estireno, aldehídos
PET – Tereftalato de polietileno	Formaldehído, metoxi benceno, benzaldehído y varios COV

Los siguientes son algunos de los sistemas recomendados para prevenir y controlar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles:

² Los CFC se han utilizado ampliamente en estos procesos, a pesar de lo cual no se consideran una buena práctica de la industria dado el impacto de los fluorocarburos en el efecto invernadero y el agotamiento de la capa de ozono.

- Emplear el almacenamiento cerrado para todos los fluidos de disolventes y limpiadores y para todos los reactivos de bajo punto de ebullición;
- Instalar sistemas de control de ventilación, especialmente en los puntos de mayores temperaturas de procesamiento a lo largo de la línea de producción;
- Instalar sistemas locales de extracción de escape y absorbentes de carbón activado;
- Instalar oxidantes térmicos de recuperación / regeneración, oxidantes catalíticos / regenerativos, condensadores o biofiltros;
- Elaborar e implementar un Plan de Manejo de Disolventes.

Cauchos

Las emisiones fugitivas de aditivos químicos pueden originarse en la zona de preparación de compuestos. Al pesar previamente los aditivos, existe la probabilidad de que se produzcan significativas emisiones fugitivas de polvo procedentes de las sustancias químicas conservadas en almacenamientos abiertos. Las emisiones fugitivas también pueden generarse durante la carga de sustancias químicas en el mezclador. Las emisiones de partículas pueden generarse durante las actividades de trituración de superficies.

Las técnicas recomendadas para la prevención y control de las emisiones de polvo / material particulado incluyen:

- Utilizar sustancias químicas en bolsas pequeñas, pesadas previamente y selladas para la adición directa en el mezclador, limitando así la generación de polvo;
- Controlar las emisiones procedentes de los mezcladores internos mediante bolsas filtrantes. Los gases de escape de las campanas extractoras se transportarán hasta las bolsas filtrantes para controlar las partículas y, posiblemente, los compuestos semivolátiles ligados a las

partículas³, amoníaco y metales (por ejemplo, cinc, níquel, selenio, plomo, cadmio, compuestos de antimonio y dióxido de titanio).

- Controlar el polvo y las partículas finas de caucho generados durante la trituración de superficies con un ciclón primario y una bolsa filtrante secundaria o un precipitador electrostático de dos fases.

Pueden generarse emisiones de COV y contaminantes peligrosos del aire. Los disolventes se emplean para distintas funciones durante el proceso de fabricación de productos de caucho. Las siguientes son algunas de las técnicas recomendadas para la prevención y el control de la contaminación por emisión de compuestos orgánicos volátiles:

- Manejar adecuadamente los disolventes para impedir los vertidos y las emisiones fugitivas. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones sobre el almacenamiento y el manejo de disolventes y otros materiales peligrosos;
- Minimizar el uso de disolventes, empleando siempre que sea posible agua, silicona y compuestos de liberación no derivados de disolventes.

Puede ser necesario disponer de equipos de reducción de emisiones en caso de producirse emisiones significativas de COV. Cuando se precise de una extensa vulcanización para dotar al caucho con las propiedades deseadas, las emisiones asociadas con la curación del caucho pueden contener dióxido de azufre (SO₂). Estas emisiones pueden controlarse empleando depuradores.

³ Etilentiourea, dietanolamina, hidroquinona, fenoles, alfa-naftilamina, p-fenilendiamina, peróxido de benzoilo, dibutilftalato, ftalato de dioctilo y adipato de 2-etilhexilo.

Aguas residuales

Los efluentes pueden contener disolventes, aceites, compuestos orgánicos hidrosolubles e insolubles liberados en el agua de contacto, procesamiento y limpieza, y partículas sólidas con dimensiones que oscilan entre un submicrón y varios milímetros.

Plásticos

Las aguas residuales de proceso empleadas en los procesos de moldeado y formación de plásticos pueden subdividirse en tres categorías principales: 1) el agua de refrigeración (o calefacción) para la producción de plásticos; 2) el agua de limpieza y lavado de superficies empleada tanto para la limpieza de la superficie de los productos de plástico como para el lavado de equipos; y 3) el agua de la operación de acabado empleada para extraer el material plástico residual o para lubricar el producto.

El agua de refrigeración (y calefacción) puede constituir una fuente de contaminación térmica en caso de descargarse. Los contaminantes tóxicos potencialmente detectables en las aguas residuales de proceso descargadas mediante los procesos de refrigeración y calentamiento por contacto incluyen ftalatos (por ejemplo, ftalato de dietilhexil [DEHP]).

El agua empleada en las labores de limpieza puede presentar niveles significativos de demanda bioquímica (DBO_5) y química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión (TSS), total de carbono orgánico (TOC), aceite y grasa, fenoles totales y cinc. El agua de acabado puede contener niveles significativos de TSS y aditivos solubles en agua (por ejemplo, ftalatos).

Las opciones recomendadas para prevenir la contaminación por aguas residuales de contacto, limpieza y acabado incluyen:

- Adoptar prácticas de buen mantenimiento;

- Para el agua de contacto y acabado, instalar un proceso de carbón activado para eliminar las sustancias orgánicas solubles, incluidos los ftalatos (especialmente importantes en la fabricación de PVC plastificado);
- Utilizar plastificantes biodegradables siempre que sea posible;
- En el caso del agua de limpieza y acabado, reciclar el agua de proceso mediante unidades de sedimentación / asentamiento y extraer los sólidos totales en suspensión, aceites y grasa.

El agua de refrigeración puede aumentar los índices de consumo del agua, así como el vertido de aguas a elevadas temperaturas, biocidas residuales y residuos procedentes de otros agentes antiincrustantes empleados en el sistema de refrigeración. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones para manejar el agua de refrigeración.

Cauchos

Las aguas residuales pueden originarse en las operaciones de refrigeración, calefacción, vulcanización y limpieza. Los sólidos en suspensión, el aceite y la grasa son contaminantes potenciales a tener en cuenta, además de los metales traza (por ejemplo, el cinc). Las aguas residuales proceden de múltiples procesos de producción (por ejemplo, la limpieza del látex estanques receptores de látex virgen y centrifugadoras entre otros). Los efluentes procedentes de los productos de caucho de látex obtenidos por inmersión pueden verse afectados por los aditivos empleados para procesar adecuadamente el caucho. Los olores pueden generarse durante un manejo inadecuado de las aguas residuales.

Los tratamientos recomendados incluyen el asentamiento de sólidos, el ajuste del pH o los sistemas de extracción de aceite cuando sea necesario. Las aguas residuales se atraparán en un

filtro de caucho, dejando que el caucho flote a la superficie para su reciclaje / reutilización. Las aguas residuales se transportarán a continuación hasta una planta de tratamiento. También se considerará la posibilidad de utilizar sistemas de refrigeración o calefacción de agua de circuito cerrado.

Residuos sólidos

La fabricación de plásticos y cauchos no suele generar cantidades considerables de residuos sólidos, dado que los materiales de desecho procedentes de las operaciones de conformación y acabado pueden reciclarse. El caucho chamuscado durante el mezclado, la molienda, el calandrado y el extrusionado puede constituir una fuente considerable de residuos sólidos, además del caucho residual producido durante las operaciones de moldeado, el material particulado de las bolsas filtrantes situadas en las zonas de preparación de compuestos, Banburys y trituradoras.

Además de las recomendaciones para el manejo y la eliminación de los residuos industriales descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, se recomiendan las siguientes medidas de manejo:

- Las corrientes de residuos se segregarán adecuadamente (por ejemplo, caucho sin curar, caucho curado y productos fuera de especificación);
- El caucho sin curar, así como el caucho residual levemente curado, se reciclará en mezcladores Banbury;
- El caucho residual curado y fuera de especificación se reciclará en las instalaciones o se reutilizará (mediante el fragmentado) para fabricar otros productos;
- Los desechos procedentes de los polímeros termoplásticos se volverán a moler y se mezclarán con materiales vírgenes;
- En caso de no ser posible la reutilización ni el reciclaje, el caucho residual (incluyendo aquellas partes de los polímeros de desecho excesivamente calentadas) se

eliminarán de acuerdo con las recomendaciones sobre manejo de residuos industriales en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

1.2 Higiene y seguridad ocupacional

Los riesgos que entraña la construcción de las plantas de fabricación de productos metálicos, plásticos y de caucho para la higiene y la seguridad en el trabajo son similares a los que se producen en la mayoría de las instalaciones industriales; su prevención y control se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

1.2.1 Metales

Los problemas asociados con la higiene y la seguridad en el trabajo durante la fabricación de productos metálicos incluyen entre otros:

- Riesgos de origen químico
- Riesgos físicos
- Ruido
- Radiación

Riesgos de origen químico

Los trabajadores pueden estar expuestos a riesgos de inhalación y contacto dérmico asociados con las sustancias químicas empleadas durante la fabricación de productos de metal, en particular durante la sinterización, preparación de superficies y acabado. Los riesgos de inhalación pueden incluir los humos que contienen metales, óxidos de metal, compuestos orgánicos e inorgánicos, partículas, polvo y COV. Los riesgos dérmicos pueden consistir en el contacto con elementos alérgicos (por ejemplo, cromo, níquel, plomo y berilio). Los riesgos de origen químico se manejarán en base a los resultados de un análisis de seguridad laboral y un estudio de higiene industrial, así como con las recomendaciones sobre

higiene y seguridad ocupacional descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Las medidas de protección incluyen capacitación de trabajadores, sistemas de permisos de trabajo y el uso de equipos de protección personal (EPP). La prevención y el control específicos de la exposición ocupacional a las emisiones a la atmósfera durante la fabricación de productos de metal incluyen:

- Utilizar equipos automatizados. En caso de requerirse un operador, se dispondrá de una cabina cerrada con ventilación de aire;
- Utilizar campanas móviles y máscaras durante las operaciones en las que los trabajadores se expongan a emisiones potencialmente nocivas (por ejemplo, soldadura);
- Utilizar sistemas de extracción y reciclaje de emisiones a la atmósfera (por ejemplo, durante el enfriamiento y el acabado de superficies).

Riesgos físicos

Los riesgos físicos incluyen la exposición a las herramientas de corte y formación de metales y motores de maquinaria que producen cortes en las manos y las partículas metálicas aéreas (por ejemplo, virutas de metal procedentes de las operaciones de mecanización) que pueden provocar lesiones oculares. El estrés térmico (por calor o frío) y ergonómico puede provocar lesiones corporales. Los artículos pesados o las cubas que contengan tales artículos se trasladan a menudo con grúas o camiones elevadores. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre el control de los riesgos físicos.

Ruido

Las operaciones de fabricación de productos de metal son inherentemente ruidosas dada la gran cantidad de equipos y actividades mecánicas. En las **Guías generales sobre medio**

ambiente, salud y seguridad se proporciona orientación sobre el control del ruido.

Radiación

Los operadores pueden estar expuestos a la radiación generada durante la soldadura. Ciertas técnicas de soldadura (incluyendo todos los métodos de soldadura por arco, plasma, láser y haces electrónicos) utilizan un volumen significativo de energía y generan radiación que puede ser peligrosa para el operador. Cuando sea posible, se recurrirá a la automatización o equipos adecuados de protección personal para proteger al operador de la radiación. Otra fuente de radiación son las estaciones de rayos X destinadas a la supervisión continua de la calidad del producto. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las medidas recomendadas para el manejo de los riesgos de radiación ionizante.

1.2.2 Plásticos y caucho

Los problemas asociados a la higiene y la seguridad en el trabajo durante la fabricación de productos de plástico y caucho incluyen entre otros:

- Riesgos físicos
- Riesgos de origen químico

Riesgos físicos

Muchos riesgos físicos en el procesamiento del plástico y el caucho son similares a los experimentados en las industrias de fabricación de metal y se manejarán según describen las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Sin embargo, algunos riesgos físicos específicos de esta industria pueden manejarse como sigue:

- Utilizar sistemas eléctricos de desconexión y frenos mecánicos para detener la rotación de cuchillas cuando los

trabajadores estén muy cerca de piezas giratorias / cuchillas;

- Instalar interruptores de parada de emergencia dentro de las estaciones operativas;
- Utilizar protecciones para impedir el acceso a los orificios de suministro de materiales y puntos de descarga cercanos a rotores, rotors, cortadoras, cuchillas y tornillos / arietes hidráulicos. Para facilitar el mantenimiento, podrán utilizarse cierres de tiempo retardado que impidan el acceso a granuladores, aglomeradores y extrusionadores;
- Utilizar tamices o solapas para brindar protección frente a los materiales proyectados desde los orificios de suministro de la maquinaria;
- Utilizar procedimientos de bloqueo y etiquetado de seguridad, además de otras recomendaciones para la prevención y el control de riesgos físicos descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Riesgos de origen químico

Incendios y explosiones

Los incendios en las instalaciones de fabricación de plásticos pueden generar humos negros acres y gases venenosos, incluyendo monóxido de carbono. Los incendios pueden propagarse rápidamente y ser difíciles de extinguir. Las fuentes de ignición se controlarán mediante la prohibición de fumar y el trabajo a elevada temperatura en zonas de alto riesgo. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen información adicional sobre la planificación y respuesta de emergencia para incendios y evacuación.

Polvo polimérico: los granuladores producen polvo fino a menudo combustible. Al prenderse estando suspendido en el aire a altas concentraciones, puede producirse una explosión. La elevada concentración de polvos poliméricos puede

generarse cerca del granulador durante el tratamiento de plásticos celulares rígidos y durante la separación mecánica por tamizado de granulos gruesos y finos. Los polvos finos pueden acumularse en paredes verticales, así como en superficies horizontales fuera del alcance del mantenimiento convencional. Aunque siempre se forma algo de polvo polimérico, el riesgo se produce sólo cuando los materiales son rígidos (por ejemplo, cuando su temperatura de transición de vidrio se sitúa por encima de la temperatura de la sala). El riesgo es mayor cuando los materiales son espumosos, debido a su escasa resistencia a la fragmentación.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar este riesgo incluyen:

- Diseñar las instalaciones de modo que se evite o minimice la creación de superficies en las que pueda asentarse o adherirse el polvo de polímero (por ejemplo, a causa de las fuerzas electrostáticas);
- Minimizar la formación de polvo mediante el mantenimiento adecuado de las sierras y reguladores de corte;
- Eliminar las fuentes de ignición. Triturar las piezas metálicas para reducir la formación de chispas provocada por la electricidad estática. Prohibir el uso de llamas expuestas y fumar. Instalar un separador magnético para reducir el riesgo de acceso de las piezas de metal en el granulador.

Pentano: la perla de poliestireno expandible (EPS) bruto suele contener pentano, un gas extremadamente inflamable. El pentano se libera durante el almacenamiento y el transporte de EPS, así como el de productos acabados durante un breve período de tiempo después de su fabricación. Las medidas recomendadas para prevenir y controlar este riesgo incluyen:

- Establecer un sistema de permisos de trabajo en las zonas de almacenamiento de EPS;
- Prohibir fumar en los lugares donde se fabriquen, utilicen o almacenen perlas de EPS;
- Durante la expansión previa, mezclar el vapor de pentano con vapor para reducir su inflamabilidad. Ventear el pentano / vapor;
- Poner a tierra los conductos de transporte, haciendo circular el producto a baja velocidad para minimizar la generación de electricidad estática;
- Almacenar las perlas expandibles y las piezas en bruto en una zona bien ventilada. En los silos de maduración, las mezclas explosivas pueden generarse en el espacio frontal. Los silos se pondrán a tierra y ventilarán para mantener los niveles de pentano por debajo del límite explosivo inferior. Los artículos acabados también se conservarán en un lugar ventilado y a prueba de incendios después del moldeado;
- Instalar interruptores eléctricos, alumbrado, motores, ventiladores y dispositivos eléctricos portátiles aptos para su uso en zonas donde puedan existir vapores inflamables;
- El corte con hilo caliente puede provocar incendios. El sistema de transporte de bloques se interconectará de tal manera que al detenerse el transportador se interrumpa el suministro eléctrico al hilo;
- Utilizar un monitor de gas para identificar los probables 'focos calientes' de pentano y supervisar las concentraciones del mismo;
- Dotar las zonas de manejo de EPS de un sistema de extinción de incendios basado en los resultados de un análisis de riesgos.

Calidad del aire y exposición dérmica

El polvo puede generarse durante el mecanizado y acabado de las piezas curadas y durante la reparación de las piezas

dañadas. La preparación de compuestos a temperatura ambiente para los procesos no reactivos puede generar emisiones de polvo. Los polvos pueden ser muy finos y potencialmente inhalables. La presencia de monómeros sin reaccionar puede plantear algunos problemas, especialmente en el caso de las resinas derivadas del estireno.

Las fuentes principales de emisiones de COV incluyen ingredientes con bajo punto de ebullición (por ejemplo, disolventes, monómeros atrapados) y la descomposición térmica de los compuestos más lábiles. La importancia de las emisiones de COV aumenta con la temperatura.

Los polímeros termoplásticos no suelen considerarse nocivos para la salud de los trabajadores. Las formulaciones de resinas en procesos reactivos destinados a la fabricación de productos plásticos termoestables contienen sin embargo materiales potencialmente peligrosos. Los epóxidos y agentes de curación o endurecedores tienen una escasa presión de vapor y no suelen presentar riesgos aéreos a menos que la mezcla se pulverice o se cure a altas temperaturas. No obstante, las probabilidades de exposición dérmica son con frecuencia elevadas, especialmente para las aminas aromáticas, que pueden permear muchos de los guantes protectores comúnmente empleados.

Los isocianatos presentes en los poliuretanos pueden representar un riesgo respiratorio significativo, además de un riesgo dérmico. En el caso de las resinas fenólicas y aminadas, tanto el fenol como el formaldehído constituyen un riesgo de exposición. Las resinas de urea y melamina-formaldehído plantean riesgos similares. Se precisa prestar una atención especial en los procesos donde se produzca la descomposición por calor de los productos de poliuretano, como son la soldadura, la extracción por calor de los barnices aislantes eléctricos y el corte con hilo caliente de espumas.

Durante el procesamiento reactivo de termoendurecibles puede registrarse la presencia de una serie de disolventes. Estos pueden introducirse en el lugar de trabajo como parte de la resina o del agente de curación durante el proceso de fabricación o bien como parte del proceso de limpieza.

Algunas de las medidas recomendadas para prevenir y controlar la exposición ocupacional consisten en:

- Adoptar el aislamiento (por ejemplo, el almacenamiento aislado, las zonas de proceso separadas, el confinamiento, los sistemas cerrados) y la ventilación local de escape como controles primarios de ingeniería en los procesos de fabricación de plásticos y caucho. Implementar controles en las zonas de preparación de compuestos y mezclado; en las zonas de curación con calor, incluyendo los autoclaves; en las zonas de acabado y reparación; y controlar los gases emitidos por los exotérmicos;
 - Instalar sistemas adecuados de control de ventilación y extracción de gases de escape con absorbedores de carbón activado para prevenir la exposición de los operadores a sustancias tóxicas, polvos y fibras. Proporcionar una ventilación adecuada que suponga no menos de seis cambios de aire por hora;
 - Utilizar una ventilación adecuada en las zonas de trabajo para mantener la concentración de isocianatos por debajo del 25 por ciento de la concentración que pueda provocar efectos nocivos;
 - Establecer tiempos de residencia y temperaturas de procesamiento en la formulación de polímeros en el barril que minimicen el sobrecalentamiento de los plásticos e impidan la generación de humos;
 - El 'agotamiento' de boquillas, terrajas bloqueadas, inyectoras, válvulas de transferencia de material, placas rompedoras de criba, y la quema del material solidificado se realizará bajo extracción, empleando unidades de pirólisis y otros métodos que impidan la exposición de humos;
- Durante el procesamiento de materiales sensibles al calor (por ejemplo, acetal y PVC), elaborar procedimientos claros de emergencia, incluida la posible evacuación del área potencialmente afectada. El vertido potencial de formaldehído o cloruro de hidrógeno (HCl) puede originarse en la rápida degradación del polímero en el barril;
 - Supervisar y regular las temperaturas en todas las secciones de la línea de producción. Instalar termopares adecuados y fiables para verificar el procesamiento de los materiales a la temperatura adecuada. Se recomiendan los reguladores proporcionales-diferenciales-integrales o sistemas de calefacción controlada por ordenador para minimizar la fluctuación cíclica de la temperatura responsable de las inestabilidades y el vertido de humos.
 - Llevar guantes, indumentaria protectora, protección ocular y otros EPP relevantes, especialmente cuando se trabaje con resinas, agentes de curación y disolventes;
 - Llevar a cabo una selección, uso, mantenimiento y limpieza adecuados de los EPP. La disponibilidad de guantes adecuados es especialmente importante debido a las características permeables de las sustancias químicas industriales;
 - Utilizar respiradores cuando el nivel de disolventes y polvo en el aire pueda ser elevado (por ejemplo, durante el mezclado de resinas y las actividades de acabado / reparación), cuando existan grandes superficies y una cantidad significativa de labores manuales implicadas, en caso de experimentarse exotérmicos y cuando los materiales derivados del poliuretano se produzcan o manejen a temperaturas capaces de degradar el polímero;
 - Los operadores dispondrán de Hojas de Datos de Seguridad (MSDS) suministradas por los proveedores / distribuidores de la formulación específica empleada.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Las consecuencias que la construcción, la operación y el desmantelamiento de las instalaciones dedicadas a la fabricación de productos de metal, plástico y caucho pueden acarrear para la higiene y seguridad en la comunidad son comunes a la mayoría de los establecimientos industriales, y se explican en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

2.1 Medio ambiente

Guías sobre emisiones y efluentes

Los cuadros 5 y 6 presentan las guías sobre emisiones y efluentes para la fabricación de productos de metal, plástico y caucho. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95% del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden

establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recolección de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Las guías sobre emisiones son aplicables a las emisiones procedentes de la combustión. Las guías sobre emisiones procedentes de la combustión relacionadas con centrales de generación de vapor y energía a partir de fuentes con una capacidad igual o inferior a 50 MW se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, y las guías sobre emisiones procedentes de centrales de mayor capacidad se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad para centrales térmicas**. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

Cuadro 5: Niveles de emisiones al aire para la fabricación de productos de metal, plástico y caucho

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
COV – limpieza de superficies	mg/Nm ³	20-75 ⁽¹⁾
COV – recubrimiento de metales y plásticos	mg/Nm ³	100 (hasta 15 ton/año de consumo de disolventes) 75 (más de 15 ton/año de consumo de disolventes) 50 (procesos de secado)
COV – conversión del caucho	mg/Nm ³	20 ⁽²⁾
COT – vulcanización del caucho	mg/Nm ³	80
Hidrocarburos halogenados volátiles – tratamientos de superficie de metal	mg/Nm ³	20
Material particulado – tratamientos de superficie de metal	mg/Nm ³	5
Material particulado – procesamiento de plásticos	mg/Nm ³	3
Cloruro de hidrógeno	mg/Nm ³	10
Óxidos de nitrógeno⁽³⁾	mg/Nm ³	350

Amoniaco	mg/Nm ³	50
<p>NOTAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Como valor medio en 30 minutos de fuentes contenidas. 20 mg/Nm³ para los gases residuales procedentes de la limpieza de superficies empleando COV clasificados de carcinógenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción (frase de riesgo R45, R46, R49, R60, R61) con un flujo de masa superior o igual a 10 g/hora; y / o COV halogenados clasificados con frase de riesgo R40 y con un flujo de masa superior o igual a 100 g/hora); 75 mg/Nm³ para los gases residuales procedentes de otras labores de limpieza de superficies 2. Instalaciones que registren un consumo de disolventes superior a las 15 toneladas/año. 3. Aire seco de O₂ al 11 por ciento 		

Cuadro 6: Niveles de efluentes para la fabricación de productos de metal, plástico y caucho

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
pH	S.U.	6 – 9
DQO	mg/L	250
SST	mg/L	50 25 (galvanoplastia)
Aceite y grasa	mg/L	10
Aluminio	mg/L	3
Arsénico	mg/L	0,1
Cadmio	mg/L	0,1
Cromo (total)	mg/L	0,5
Cromo (hexavalente)	mg/L	0,1
Cobre	mg/L	0,5
Hierro	mg/L	3
Plomo	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,5
Plata	mg/L	0,2
Estaño	mg/L	2
Cinc	mg/L	2
Cianuros (total)	mg/L	1
Cianuros (libres)	mg/L	0,2
Amoniaco	mg/L	10 20 (galvanoplastia)
Fluoruros	mg/L	20
Fenoles	mg/L	0,5
Nitrógeno total	mg/L	15
Fósforo total	mg/L	5
Sulfuro	mg/L	1
Halógenos volátiles orgánicos (VOX)	mg/L	0,1
Toxicidad	A determinar en cada caso	
Aumento de temperatura	°C	<3ª

a Al borde de una zona de mezcla científicamente establecida que toma en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los receptores potenciales y la capacidad de asimilación.

Uso de los recursos

El Cuadro 7 contiene ejemplos de indicadores de consumo de recursos de energía y agua para el sector. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente con fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas.

Cuadro 7 – Consumo de recursos y energía

Insumos por unidad de producto	Unidad carga de masa	Valor de referencia de la industria
Energía (metal fabricado)		
Pulvimetalurgia	GJ/t pieza acabada	28-30
Extrusión fría/caliente	GJ/t pieza acabada	40-42
Forja caliente	GJ/t pieza acabada	50
Mecanizado	GJ/t pieza acabada	80
Uso de calor específico – Forjado de acero	MJ/ton/K	7
Consumo de electricidad – Calentamiento de metal	Kg/kWh	2,7 – 3,5
Soldadura (unión de placa de acero de 4mm)	kJ/m	500 – 2.500
Energía		
Consumo de energía específica (productos plásticos)	kWh/kg	2,8 – 3,0
Preparación de compuestos	kWh/kg	0,6-1,0
Extrusión y película soplada	kWh/kg	1,0
Inyección y moldeo por presión de líquido	kWh/kg	3,0
Termoformado en vacío	kWh/kg	6,0 – 6,5
Extrusión de espumas	kWh/kg	0,3
Caucho		
Consumo de energía específica		
Eléctrica	kWh/ton	750
Térmica (combustible)	Mcal/ton	1.25
Agua		
Consumo de agua (promedio por planta)	MI/día	2 - 3
Fuentes: US DoE. 2003; Rubber Association of Canada. 1997; US EPA. 2005; EIPPCB. 2006		

Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en

indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

2.1 Higiene y seguridad ocupacional

Guía sobre higiene y seguridad ocupacional

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre la materia que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)⁴, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)⁵, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)⁶, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea⁷ u otras fuentes similares.

Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)⁸.

Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados⁹ como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

⁴ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>.

⁵ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

⁶ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

⁷ Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

⁸ Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

⁹ Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1974. Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part 428 – Rubber Manufacturing Point Source Category. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1981. Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part 413 – Galvanoplastia Point Source Category. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1983. Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part 433 – Metal Finishing Point Source Category. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1984. Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part 463 – Plastics Molding and Forming Point Source Category. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1993. Code of Federal Regulations. Title 40: Protection of Environment. Part 60 - Standards of Performance for New Stationary Sources. 1 de julio de 1993. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1994. Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment. Part 63 – National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories. Washington, DC. Office of the Federal Register. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-l.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1995. Profile of the Fabricated Metal Products Industry. EPA Office of Compliance Sector Notebook Project. EPA/310-R-95-007. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/fabmetnsnpt1.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2005. Profile of the Rubber and Plastics Industry. 2nd Edition. EPA Office of Compliance Sector Notebook Project. Profile EPA/310-R-05-003. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/rubplasn.pdf>

Comisión Europea. 1999. Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28029b.htm>

Comisión de Helsinki (HELCOM). 2002. Reduction of Discharges and Emissions from Metal Surface Treatment. Recommendation 23/7. Helsinki: HELCOM. Disponible en: http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec23_7/

Departamento de Energía de Estados Unidos (United States Department of Energy). 2003. Supporting Industries Energy and Environmental Profile. Prepared for Oak Ridge National Laboratory and US Department of Energy, Industrial Technologies Program. Disponible en: http://www.eere.energy.gov/industry/energy_systems/pdfs/si_profile.pdf

Environment Australia. 1999. National Pollution Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Galvanizing, Version 1.1, 8 de febrero de 2001. Canberra: Commonwealth of Australia. Disponible en: http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/galvanising.pdf

Environment Australia. 1999. National Pollution Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Galvanoplastia and Anodising. Canberra: Commonwealth of Australia. Disponible en: http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/felectro.pdf

Environment Australia. 1999. National Pollution Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Surface Coating. Canberra: Commonwealth of Australia. Disponible en: http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/fsurfc.pdf

Industrial Accident Prevention Association (IAPA). An Industry Analysis by Firm Size (2002 versus 2001), EIW Snapshot Data as of 12/2002 and 12/2001. Mississauga, ON: IAPA. Disponible en: http://www.iapa.ca/business/sb_industry_stats.asp#industry

NorthEast Waste Management Officials Association (NEWMOA). 1998. Pollution Prevention in Metal Painting and Coating Operations. Boston, MA: NEWMOA. Disponible en: <http://www.newmoa.org/publications/#hw>

NorthEast Waste Management Officials Association (NEWMOA). 1998. Pollution Prevention in Metal Finishing. Boston, MA: NEWMOA. Disponible en: <http://www.newmoa.org/publications/#hw>

NorthEast Waste Management Officials Association (NEWMOA). 1998. Pollution Prevention in the Primary Metals Industry. Boston, MA: NEWMOA. Disponible en: <http://www.newmoa.org/publications/#hw>

Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). 2001. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de mejores prácticas disponibles en la industria de procesos de metales ferreos. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). 2001. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de mejores prácticas disponibles en la industria de procesos de metales no ferreos. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). 2006. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de mejores prácticas disponibles en el tratamiento de superficies de metales y plásticos. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). 2007. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de mejores prácticas disponibles en el tratamiento de superficies utilizando disolventes orgánicos. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

The Rubber Association of Canada. 1997. Energy Efficiency Opportunities in the Canadian Rubber Industry. En colaboración con Natural Resources Canada. Mississauga, Canada. Disponible en: <http://oe.e.nrcan.gc.ca/infosource/pdfs/M92-137-1997E.pdf>

United Kingdom Health and Safety Executive (HSE). 2005. Table 1: List of approved workplace exposure limits. EH40/2005 Workplace exposure limits. Londres: HSE. Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/coshh/>

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Fabricación de productos de metal

Las operaciones de fabricación de metal descritas en las presentes guías pueden agruparse en dos fases principales: la formación (incluidos los tratamientos térmicos) y el acabado (incluidos los tratamientos de superficies, la limpieza y el recubrimiento de metales). El moldeado de metales se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad para fundiciones**.

Tratamientos térmicos y formación

Los tratamientos con calor implican la modificación de las propiedades físicas del producto de metal mediante la aplicación de ciclos controlados de calentamiento y refrigeración (por ejemplo, enfriamiento, temple y normalización). El metal puede trabajarse en caliente, en frío o de las dos maneras para producir formas específicas. Durante la deformación fría, un tratamiento de calor intermedio (por ejemplo, el recocido) puede aplicarse para eliminar el endurecimiento y mantener la maleabilidad del material metálico, pudiendo repetirse este paso en función de las características concretas de la aleación. Después del tratamiento con calor, la superficie se limpia de óxido, escalas y desechos. Los procesos de fabricación de metal suelen emplear fluidos de corte (por ejemplo, glicol de etileno), disolventes desengrasantes y limpiadores, ácidos, álcalis y metales pesados. Los aceites suelen emplearse para formar y cortar los metales.

Soldadura

La soldadura es la técnica principal empleada para unir piezas metálicas separadas. Existen más de veinte técnicas de soldadura, aunque las dos tecnologías principales, que representan aproximadamente el 70 por ciento de todas las

actividades de soldadura, son la soldadura manual por arco de metales (que emplea un electrodo recubierto de fundente) y la soldadura por arco protegido con gas (por ejemplo, TIG o MIG / MAG), donde el electrodo se protege con gas de la atmósfera exterior. Otras técnicas de soldadura incluyen el horno y la llama de oxiacetileno, la antorcha de plasma, el láser y el rayo de electrones.

Preparación de superficies

Antes de los tratamientos de acabado (por ejemplo, el recubrimiento, la pintura y la deposición química), las superficies metálicas se preparan mediante la limpieza y otras técnicas para crear las condiciones químicas adecuadas para el tratamiento de acabado. La preparación de superficies puede emplear la limpieza simple con abrasivos utilizando agua a alta presión (con polvos abrasivos, como alúmina o sílice), una corriente de aire y / o papel abrasivo (con o sin agua como lubricante y refrigerante).

Las soluciones limpiadoras alcalinas consisten en tres componentes básicos: 1) potenciadores (por ejemplo, hidróxidos de álcali y carbonatos), que constituyen el grueso del limpiador; 2) aditivos orgánicos o inorgánicos, que promueven una mayor limpieza o sirven para afectar la superficie metálica de algún modo; y 3) agentes tensioactivos. La limpieza alcalina se sirve a menudo de la acción mecánica, ultrasonidos o potencial eléctrico (por ejemplo, la limpieza electrolítica). La limpieza alcalina también puede servir para extraer los residuos orgánicos.

La limpieza o decapado ácido puede emplearse para preparar la superficie de los productos de metal mediante la extracción química de óxidos y cascarilla de la superficie del metal. Los ácidos empleados incluyen el ácido clorhídrico, sulfúrico,

fluorhídrico y nítrico. Por ejemplo, la mayor parte del acero al carbono se decapa con ácido sulfúrico o clorhídrico, mientras que el acero inoxidable se decapa con ácido clorhídrico o fluorhídrico. Aunque similar, el decapado con ácido se utiliza normalmente para extraer la cascarilla de los productos semiacabados, mientras que la limpieza ácida se emplea para la preparación casi final de las superficies metálicas antes de la galvanoplastia, la pintura y otros procesos de acabado.

Por último, los procesos complejos de limpieza química en múltiples etapas implican la aplicación de disolventes orgánicos para desengrasar la superficie del metal. Por ejemplo, la limpieza en emulsión utiliza disolventes orgánicos comunes (por ejemplo, queroseno, aceites minerales y glicoles) dispersos en un elemento acuoso.

Acabado de metales

Anodización

La anodización es un proceso electrolítico que convierte la superficie de metal en un recubrimiento óxido insoluble. El aluminio es el material anodizado de uso más frecuente. Los procesos más habituales de anodización de aluminio incluyen la anodización con ácido crómico, sulfúrico y bórico-sulfúrico. El proceso con ácido sulfúrico es el método más común. Después de la anodización, las piezas de metal suelen aclararse y sellarse. Los aislantes más habituales incluyen el ácido crómico, el acetato de níquel, el acetato de níquel-cobalto y el agua caliente.

Revestimiento de conversión química

El revestimiento de conversión química incluye las operaciones de cromatación, fosfatación, coloreado de metales y pasivación. Los revestimientos de conversión por cromatación se producen en varios metales mediante el tratamiento químico o electroquímico. Las soluciones, normalmente peligrosas, que contienen cromo hexavalente y otros compuestos, reaccionan a

la superficie de metal formando una capa que consiste en una mezcla compleja de compuestos, incluyendo cromo, otros compuestos y metales comunes. Los revestimientos de fosfato pueden formarse mediante la inmersión del acero, el hierro o el acero chapado en cinc en una solución diluida de sales de fosfato, ácido fosfórico y otros reactivos que acondicionan las superficies para su posterior procesamiento.

Galvanoplastia

La galvanoplastia es la producción de un revestimiento superficial de un metal sobre otro mediante la electrodeposición. Las actividades de galvanoplastia implican la aplicación de revestimientos sobre todo inorgánicos en las superficies. Los metales y aleaciones galvanizados con mayor frecuencia incluyen el latón (cobre-cinc), cadmio, cromo, cobre, oro, níquel, plata, estaño y cinc. Durante la galvanoplastia, los iones metálicos en la solución acuosa se reducen en las piezas metalúrgicas sometidas a la galvanización. Los iones metálicos en la solución suelen reponerse mediante la disolución de metal procedente de los ánodos sólidos metálicos o mediante la reposición directa de la solución con sales u óxidos de metal. El cianuro, normalmente en forma de sodio o cianuro de potasio, se utiliza a menudo como agente complejante en la galvanoplastia del cadmio y metales preciosos y, en menor medida, para otras soluciones como son los baños de cobre y cinc.

Pintura

La pintura consiste en la aplicación de revestimientos sobre todo orgánicos sobre una pieza con fines protectores y / o decorativos. La pintura se aplica en distintos formatos, incluyendo polvo seco, formulaciones diluidas en disolvente y formulaciones acuosas. Se utilizan varios métodos de aplicación (por ejemplo, la pintura por pulverización y la electrodeposición).

Otras técnicas de acabado de metales

El pulido es una operación abrasiva empleada para eliminar o alisar los defectos superficiales que puedan afectar negativamente la apariencia o función de una pieza. Después de las operaciones de pulido, la limpieza y el lavado de la zona pueden producir aguas residuales que contengan metales. El revestimiento por inmersión en caliente consiste en recubrir una pieza metálica con otro metal para proporcionar una película protectora por inmersión en un baño de fundido. La galvanización (la inmersión en un baño caliente de cinc) es una forma habitual de revestimiento por inmersión en caliente. El agua se utiliza para el aclarado después de la limpieza previa y para el enfriamiento después del revestimiento. Las aguas residuales generadas por estas operaciones contienen a menudo metales.

Fabricación de productos de plástico y caucho

Plásticos

La fabricación de productos de plástico puede o no implicar reacciones químicas entre componentes. Los *procesos no reactivos* están relacionados con los polímeros termoplásticos donde el producto se obtiene mediante una serie de fases que implican el calentamiento de las materias primas hasta su fusión; la conformación mediante una matriz o en un molde; y el enfriamiento a temperatura ambiente para obtener un producto sólido.

Los *procesos reactivos* implican una reacción de polimerización en el molde entre componentes de bajo peso molecular (monómeros o prepolímeros) en presencia de catalizadores adecuados y aditivos. Los procesos reactivos son necesarios para fabricar productos que impliquen el uso de polímeros termoendurecibles. La fabricación de poliamidas termoplásticas mediante la rápida polimerización aniónica de lactamas con la

tecnología de moldeo por inyección de reacción (RIM) también pertenece a la corriente de procesos reactivos.

Ejemplos típicos de las dos familias de materiales poliméricos descritas anteriormente incluyen:

- **Termoplásticos:** Poliolefinas: polietilenos (HDPE, LDPE, LLDPE), polipropilenos, estirénicos (HIPS, ABS), vinilos (PVC), acrílicos (PMMA), celulósicos, fluoroplásticos (Teflón, PVDF), poliésteres (PET, PBT), policarbonatos, poliéteres, poliamidas (Nylon 6, Nylon 6,6), poliacetales, cauchos termoplásticos (SBS, SIS) y poliamidas;
- **Plásticos termoestables:** poliuretanos, poliésteres no saturados, epóxidos, fenólicos.

Procesos no reactivos de fabricación de plásticos

Se trata del procedimiento más habitual para la fabricación de polímeros e implica todo tipo de procesamiento durante el cual los productos se obtienen a partir de procesos "no reactivos". La principal materia prima, el polímero, se suministra en forma de pelets o polvos obtenidos a partir de reacciones de polimerización llevadas a cabo como procesos químicos separados, normalmente en instalaciones de producción a gran escala. Cuando el polímero no contiene de antemano los aditivos necesarios, la preparación de compuestos del polímero con la formulación adecuada se lleva a cabo antes del moldeo y a menudo en un emplazamiento distinto.

Los aditivos se mezclan con los materiales plásticos en la fase de preparación de compuestos / mezclado de la cadena de producción para dotar al producto final de las características deseadas (algunos de estos aditivos también pueden aplicarse al producto conformado durante el proceso de acabado). A continuación se enumeran los aditivos plásticos y sus funciones en términos de efectos sobre el producto final:

- Los lubricantes facilitan el flujo del plástico durante los procesos de moldeo y extrusión;
- Los antioxidantes inhiben la oxidación de los materiales plásticos;
- Los antiestáticos dotan al compuesto plástico de cierto grado de conductividad eléctrica, evitando la acumulación de carga electrostática en el producto acabado;
- Los agentes de soplado (agentes espumantes) producen una estructura celular dentro de la masa de plástico;
- Los colorantes dan color a la resina plástica;
- Los agentes de nucleación y los clarificadores aceleran el proceso de solidificación durante el enfriamiento del polímero fundido y aumentan la transparencia del producto cuando el polímero sea cristalizabile;
- Los agentes ignífugos reducen el riesgo de inflamabilidad;
- Los termoestabilizantes ayudan a mantener las propiedades químicas y físicas del plástico al protegerlo frente a los efectos del calor;
- Los modificadores de impacto reducen la fragilidad y aumentan la resistencia del plástico a las grietas;
- Los peróxidos orgánicos inician o controlan la velocidad de polimerización en termoendurecibles y termoplásticos;
- Los plastificantes incrementan la flexibilidad y la aptitud para el moldeo del producto plástico;
- Los estabilizadores ultravioleta (absorbentes de rayos UVA) absorben o filtran la radiación ultravioleta, evitando la degradación del producto plástico.

Los principales procesos empleados en la fabricación de productos termoplásticos incluyen: 1) dotar a la resina plástica de las propiedades adecuadas mediante aditivos químicos; 2) convertir mediante operaciones de moldeo los materiales plásticos en forma de pelets, gránulos, polvos, planchas, fluidos o preformas en formas o piezas de plástico intermedias o finales; y 3) aplicar los tratamientos de acabado al producto. Los granuladores se utilizan para reducir las piezas y materiales

desechados sin degradar y sin contaminar virutas o pelets con dimensiones aptas para su procesamiento en el extrusionador (mezclándose con la materia prima virgen).

Una vez añadidos los aditivos necesarios, se forma la mezcla de plástico en productos plásticos intermedios o finales. Para formar productos plásticos sólidos se utilizan distintos procesos de moldeo que se describen a continuación.

Moldeo por inyección: Los gránulos o pelets de plástico se calientan y homogeneizan mediante un tornillo de Arquímedes, girando en un cilindro caldeado (el barril), que a su vez bombea el polímero fundido hacia el extremo del tornillo. Una vez obtenido suficiente fluido, un ariete hidráulico inyecta el fluido en un molde relativamente frío donde el plástico adopta la forma del molde al solidificarse.

Extrusión: los pelets o gránulos plásticos se fluidizan, homogeneizan y forman continuamente a medida que la extrusionadora los suministra a través de una boquilla. La extrusión se combina a menudo con procesos posteriores a la extrusión (por ejemplo, soplado, termofoldado o perforación).

Moldeo por soplado: Durante el moldeo por soplado, un tubo de plástico extrusionado se ajusta a un molde hueco, inyectándose aire comprimido para que el plástico fundido se adapte a la forma del molde. Una vez formado, el producto sólido se extrae del molde.

Las películas se forman extrusionando un tubo que luego se hincha para formar una delgada burbuja vertical de película, enfriándose y enrollándose para el siguiente procesamiento.

Termomoldeo: el calor y la presión (o el vacío) se aplican a las planchas de plástico colocadas sobre los moldes para que la plancha adopte la forma del molde.

Rotomodelado: los polvos plásticos triturados se calientan en un molde giratorio para obtener una colada de escasa viscosidad. Cuando la superficie interna del molde giratorio está revestida de forma uniforme con la resina fundida, el molde se enfría, obteniéndose un producto hueco sin residuos.

Moldeo por compresión y transferencia: el polvo plástico o una pieza de plástico preformada se conecta a la cavidad de un molde y se comprime a presión y con calor hasta adoptar la forma de la cavidad. El moldeo por transferencia es similar, aunque en este caso el plástico se licúa en una cámara para luego inyectarse en la cavidad de un molde cerrado por medio de un pistón percutor hidráulico.

Calandrado: las piezas de plástico se introducen entre dos rodillos para formar una película delgada y continua.

Procesos reactivos de fabricación de plásticos

Para producir materiales plásticos termoendurecibles, se combinan resinas líquidas con un catalizador. A la mezcla de ingredientes sigue una fase de curación diseñado para producir una pieza curada o acabada. Una vez curada, la pieza no podrá cambiarse ni reformarse, aunque sí podrá someterse a los tratamientos de acabado. Las resinas empleadas para fabricar los productos plásticos termoestables incluyen resinas uretánicas, epoxidicas, de poliéster, acrílicas, fenólicas y amínicas. Las cargas y los aditivos se añaden a la mezcla de resina-catalizador antes del moldeo para aumentar la fuerza y rendimiento del producto y reducir los costos. La mayor parte de los productos plásticos termoestables contienen grandes cantidades de cargas (hasta el 70 por ciento por peso). Los rellenos más habituales son fibras minerales, arcilla, fibras de vidrio, fibras de madera y negro de carbón. Se utilizan otros muchos ingredientes, como por ejemplo agentes de curación, aceleradores, diluyentes reactivos y pigmentos.

Para crear el producto termoestable intermedio o final se utilizan distintos tipos de moldeo, incluyendo el moldeo por vacío, prensado y el rotomoldeo, la laminación manual, el fundido y la encapsulación, el moldeo por proyección, el moldeo por transferencia de resinas, el enrollamiento de filamentos, el moldeo por inyección, el moldeo por inyección con reacción química y la pultrusión.

Plásticos celulares

La fabricación de plásticos celulares implica unos procesos de formación levemente distintos de los descritos anteriormente. Los tres tipos de plástico celular son el soplado, sintáctico y estructural. La espuma soplada es una matriz expandida parecida a la esponja natural. La espuma sintáctica se obtiene mediante la encapsulación de esferas huecas de tamaño micro orgánicas o inorgánicas en la matriz plástica, mientras que la espuma estructural consiste en un alma de espuma rodeada de una piel externa sólida.

Los tres tipos de plásticos celulares pueden producirse empleando procesos como el moldeo por inyección, extrusión y compresión para crear productos espumosos en múltiples formatos como productos plásticos sólidos. El plástico celular estructural se obtiene mediante la inyección de resinas líquidas de moldeo que contienen agentes químicos de soplado. Una vez creada la forma del plástico sólido o celular, las operaciones posteriores a la formación, como por ejemplo la soldadura, el forrado por encolado, la mecanización y la decoración superficial (por ejemplo, la pintura), se emplean para rematar el producto.

Cauchos

Aunque la fabricación de productos de caucho implica procesos muy variados, existen varios métodos básicos y comunes que se describen a continuación.

Mezclado: el proceso de fabricación de productos de caucho comienza con la producción de una mezcla de caucho consistente en polímeros (por ejemplo, caucho natural y / o sintético), negro de carbón (el relleno primario para fabricar la mezcla de caucho), aceites y sustancias químicas varias. Dichas sustancias incluyen coadyuvantes de elaboración, agentes de vulcanización, activadores, aceleradores, agentes de resistencia al envejecimiento, rellenos, suavizantes y materiales específicos (incluyendo retardantes, colorantes, agentes de soplado, agentes de espolvorización y anti-odorizantes, entre otros).

Las mezclas de caucho difieren en función de las propiedades deseadas del producto. Los ingredientes adecuados se pesan y cargan en un mezclador interno conocido como mezclador Banbury. La zona donde se pesan y añaden las sustancias químicas en el mezclador se denomina la zona de preparación de compuestos. Los polímeros y otras sustancias químicas se introducen manualmente en la tolva del mezclador, mientras que el negro de carbón y los aceites se inyectan a menudo directamente en la cámara de mezclado desde los sistemas de almacenamiento a granel. Terminada la mezcla, se enfría el caucho.

Molturación: La masa de caucho mezclada se descarga en una trituradora u otro aparato que le da forma en tiras largas o planchas. El caucho caliente y pegajoso pasa luego por una solución acuosa "antiadherente" que impide que las planchas de caucho se peguen entre sí a medida que se enfrían a temperatura ambiente. Las planchas de caucho se colocan directamente en una cinta transportadora larga que, mediante la aplicación de aire o agua fríos, disminuye la temperatura de las planchas de caucho. Después de enfriarse, las planchas de caucho se envían a otra trituradora. Estas se encargan de calentar el caucho para su posterior procesamiento en extrusionadores y calandrias. Algunos extrusionadores admiten

planchas de caucho suministradas en frío, con lo que puede prescindirse de esta fase de molturación.

Extrusión: las extrusoras transforman el caucho en distintas formas o perfiles forzándolo a través de boquillas mediante un tornillo giratorio. Durante la extrusión el caucho se calienta y permanece caliente hasta acceder al baño de agua o al transportador de pulverización donde se enfría.

Calandrado: las calandrias reciben las tiras calientes de las trituradoras y las introducen entre fibras de refuerzo o matrices de fibras con apariencia de tela, formando delgadas planchas de materiales revestidos de caucho. Las calandrias se utilizan también para producir planchas no reforzadas de caucho de grosor controlado.

Formación: los componentes de caucho extrusionados y calandrados se combinan (en capas o en varias placas) con hilo, poliéster, aramida y otros materiales de refuerzo para producir distintos productos de caucho. Los adhesivos, denominados aglutinantes, se utilizan en ocasiones para aumentar la adherencia de las distintas capas de producto, o las superficies de caucho grabadas empleando disolventes para mejorar la adherencia. Los productos de metal/caucho aglomerado (por ejemplo, componentes de la suspensión de automóviles, cojinetes para motores) también se forman durante esta fase.

Vulcanización: La mayoría de los productos de caucho precisan de la vulcanización (curación) o reticulación. Este proceso tiene lugar en moldes de compresión caldeados, depósitos a presión calentados con vapor (autoclaves), hornos de aire caliente y hornos microondas o distintas unidades de lecho fundido y fluidizado. El producto ensamblado (por ejemplo, un neumático) se mantiene a elevadas temperaturas en un molde para facilitar la vulcanización una vez que el producto ensamblado adopte la forma del molde. Durante el proceso de curación, las cadenas

de polímero en la matriz de caucho se entrecruzan para formar un producto final de caucho duradero, elástico y termoestable. El reticulado en la matriz de caucho proporciona al material su característico comportamiento elástico altamente reversible.

Acabado: Las operaciones de acabado se utilizan para preparar los productos para la entrega al usuario final. Las operaciones de acabado en la fabricación de neumáticos incluyen el equilibrado, la trituración, la impresión, el lavado, la limpieza y el pulido.

Tecnología de látex por inmersión

Los productos de caucho (por ejemplo, guantes de goma, catéteres y otras aplicaciones quirúrgicas) se fabrican usando la tecnología de látex por inmersión con la estructura reticular del caucho natural isopreno. El látex concentrado se produce con cuatro técnicas: la centrifugación, la evaporación, el descremado y la electrodecantación. Se han desarrollado alternativas suaves y elastoméricas al látex de caucho natural que se utilizan actualmente, sobre todo para fabricar guantes. Éstas incluyen el caucho nitrílico, el látex sintético (que no contiene proteínas), el cloruro de polivinilo (PVC), los elastómeros estirénicos, el poliuretano y la silicona.

Para fabricar tanto el látex de caucho natural como el caucho sintético, es necesario mezclar los ingredientes coadyuvantes (por ejemplo, agentes de vulcanización, aceleradores de vulcanización, activadores, retardadores, autooxidantes, estabilizantes, espesantes y coagulantes) con el látex para obtener la clase adecuada de productos de calidad.