

MEDITERRÁNEO

Prevención de la
contaminación en el

Subsector del mecanizado del metal

producción

LIMPIA



Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



PNUMA



Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia



Ministerio de Medio Ambiente
España

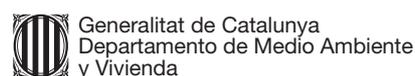


Generalitat de Catalunya
Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda

Prevención de la
contaminación en el
**Subsector del mecanizado
del metal**



Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



Nota: Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente, con fines educativos y no lucrativos sin permiso específico del Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), siempre y cuando se mencione el origen de la información. El CAR/PL agradecería recibir una copia de cualquier publicación donde este material sea usado como fuente.

No está permitido en uso de esta información con fines comerciales o de venta sin permiso escrito del CAR/PL.

Si considera que algún punto del estudio puede mejorarse o existe alguna imprecisión, le agradeceríamos nos lo comunicase.

Estudio terminado en abril 2005

Estudio publicado en septiembre 2005

Si desea solicitar copias adicionales o para cualquier información adicional, póngase en contacto con:

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)

C/ París, 184 – 3a planta
08036 Barcelona (España)
Tel.: +34 93 415 11 12 – Fax: +34 93 237 02 86
Correo electrónico: cleanpro@cema-sa.org
Web: <http://www.cema-sa.org>

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. ANTECEDENTES	7
1.2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA	8
1.3. METODOLOGÍA.....	8
2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DEL SUBSECTOR DEL MECANIZADO DEL METAL Y ASPECTOS AMBIENTALES ASOCIADOS	11
2.1. EL SUBSECTOR DEL MECANIZADO DEL METAL.....	11
2.2. LOS FLUIDOS DE CORTE	12
2.3. LAMINACIÓN EN FRÍO	14
2.3.1. Descripción general del proceso de laminación en frío	14
2.3.2. Descripción de la operación de laminado en frío y consideraciones ambientales	15
2.4. TREFILADO EN FRÍO.....	18
2.4.1. Descripción general del proceso de trefilado en frío	18
2.4.2. Descripción de la operación de trefilado en frío y consideraciones ambientales	19
2.5. ESTIRADO EN FRÍO	21
2.5.1. Descripción general del proceso de estirado en frío	21
2.5.2. Descripción de la operación de estirado en frío y consideraciones ambientales	22
2.6. TROQUELADO Y EMBUTICIÓN DE METALES	22
2.6.1. Descripción general del proceso de troquelado y embutición de metales.....	22
2.6.2. Descripción de las operaciones de troquelado y embutición de metales y consideraciones ambientales	23
2.7. PRODUCCIÓN DE PERFILES EN FRÍO POR CONFORMACIÓN POR PLEGADO	25
2.7.1. Descripción general del proceso de producción de perfiles en frío por conformación por plegado.....	25
2.7.2. Descripción de las operaciones de producción de perfiles en frío por conformación por plegado y consideraciones ambientales.....	25
2.8. MECANIZADO	27
2.8.1. Descripción general del proceso de mecanizado	27
2.8.2. Descripción de las operaciones de mecanizado y consideraciones ambientales	28
2.9. TRATAMIENTOS TÉRMICOS	31
2.9.1. Recocido.....	31
2.9.2. Temple	33
2.9.3. Revenido.....	34
2.10. OPERACIONES DE DESENGRASE	36

3. ASPECTOS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA DEL SUBSECTOR DEL MECANIZADO DEL METAL	39
3.1. CONSUMO DE AGUA	39
3.2. CONSUMO DE ENERGÍA	41
3.3. EFLUENTES LÍQUIDOS RESIDUALES	42
3.4. RESIDUOS SÓLIDOS.....	47
3.4.1. <i>Materia prima desechada</i>	47
3.4.2. <i>Lodos</i>	48
3.4.3. <i>Otros residuos</i>	49
3.5. EMISIONES A LA ATMÓSFERA	51
3.6. RUIDO.....	53
4. OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.....	55
4.1. MODIFICACIÓN DE PRODUCTO	58
4.2. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES.....	58
4.3. SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	64
4.4. CAMBIO TECNOLÓGICO.....	69
4.5. RECICLAJE EN ORIGEN	75
4.6. TRATAMIENTO FINAL	85
5. CASOS PRÁCTICOS.....	89
5.1. CASO PRÁCTICO 1: COMPONENTES MECÁNICOS, S.A.....	89
5.2. CASO PRÁCTICO 2: TECNOFORM, S.A.....	94
5.3. CASO PRÁCTICO 3: GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S.L.	96
6. CONCLUSIONES.....	101
7. BIBLIOGRAFIA.....	103
7.1. ESTUDIOS	103
7.2. PUBLICACIONES	104
7.3. REVISTAS TÉCNICAS	105
7.4. LIBROS	105
7.5. PÁGINAS WEB CONSULTADAS	105
7.6. EMPRESAS DEL SECTOR	106
8. AGRADECIMIENTOS.....	107
9. ANEXO. REPRESENTATIVIDAD DEL SECTOR METALÚRGICO EN LOS PAÍSES DEL PAM	109

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El subsector del mecanizado del metal pertenece a un sector industrial más amplio, el metalúrgico, en el que se distinguen dos grandes actividades: la producción y primera transformación de metales y la fabricación de productos metálicos.

El sector de la producción y primera transformación de metales incluye dos grandes apartados: la metalurgia férrea (producción y primera transformación de hierro y acero) y la metalurgia no férrea (transformación de aluminio, cobre, zinc, plomo, etc.).

La segunda gran actividad, la fabricación de productos metálicos, elabora productos que constituyen la materia prima de otros sectores industriales (productos metálicos intermedios), o bien da lugar a productos preparados para el consumo (productos metálicos finales). Las empresas incluidas en esta actividad industrial realizan principalmente procesos de deformación metálica, mecanizado y acabado.

En este sentido, el presente manual se centra en las actividades de fabricación de productos metálicos, excluyendo los procesos de acabado referentes al tratamiento de superficies.

Un aspecto importante que cabe tener en cuenta es el impacto ambiental asociado a la actividad industrial del mecanizado del metal. El más destacable corresponde al uso de fluido de corte en los procesos de conformación, dando lugar a fluidos de corte agotados, aguas aceitosas, residuos metálicos impregnados de este fluido, etc.

El aumento de la concienciación social en materia ambiental experimentado en los últimos años, se ha traducido por una parte en una mayor presión legislativa, así como en el impulso de iniciativas con el objetivo de promover acciones para la minimización de los impactos ambientales, y en general, para la preservación del medio ambiente.

En este contexto nace en 1975 el Plan de Acción para la Protección y el Desarrollo de la Cuenca del Mediterráneo (PAM), con el propósito de proteger y mejorar el medio ambiente y promover el desarrollo sostenible en la región mediterránea. Actualmente los países incluidos en el PAM son 21: Albania, Argelia, Bosnia-Herzegovina, Chipre, Croacia, Egipto, Eslovenia, España, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Marruecos, Mónaco, Serbia y Montenegro, Siria, Túnez y Turquía.

El Plan dispone de seis centros de actividad regional (CAR), cada uno de los cuales se ocupa de un área temática determinada. En 1996 el Centro para la Empresa y el Medio Ambiente (CEMA) fue seleccionado como Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL) y desde ese momento promueve las mejores prácticas ambientales y las tecnologías adecuadas para disminuir la contaminación producida por las industrias del Mediterráneo.

Los hechos anteriores han motivado al CEMA-CAR/PL a elaborar un manual de prevención integrada de la contaminación en el subsector del mecanizado del metal, que recoja las oportunidades disponibles en dicho sector, con el fin de promover en las empresas la aplicación de prácticas, técnicas y tecnologías encaminadas a prevenir en origen los impactos ambientales derivados de su actividad.

1.2. Objetivos y estructura

El principal objetivo de este manual es presentar a las empresas industriales del subsector del mecanizado del metal las oportunidades de prevención integrada de la contaminación disponibles en este subsector, con el fin de prever y minimizar el impacto ambiental asociado a su actividad y al mismo tiempo estimularlas en la búsqueda de nuevas oportunidades de prevención de la contaminación en sus instalaciones.

El manual se estructura en seis capítulos. A continuación se describe brevemente el contenido de cada uno de ellos.

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se presentan los antecedentes que motivan la redacción del presente manual, los objetivos, la metodología seguida para su realización y la estructura del mismo.

Capítulo 2. Procesos productivos

En este capítulo se describen las materias primas y recursos utilizados (principales y auxiliares), los procesos implicados (principales y auxiliares), los productos acabados y los aspectos ambientales asociados.

Capítulo 3. Aspectos ambientales

El capítulo 3 contiene una descripción más detallada de los aspectos ambientales asociados a cada proceso, incluyendo el análisis de las corrientes residuales generadas, así como de los principales impactos ambientales derivados de los procesos descritos en el capítulo anterior.

Capítulo 4. Oportunidades de prevención y reducción de la contaminación

Este capítulo contiene una descripción de las diferentes oportunidades de prevención integrada de la contaminación (OPC), incluyendo información de carácter técnico y económico, con el propósito de facilitar a los responsables de las industrias la evaluación de la posible aplicación de estas técnicas en sus instalaciones.

Capítulo 5. Casos prácticos

En este capítulo se muestran ejemplos reales de industrias que han mejorado sus procesos productivos, aplicando alternativas de prevención de la contaminación y, por tanto, minimizando los impactos ambientales de su actividad productiva.

Capítulo 6. Conclusiones

En el último capítulo se presentan las conclusiones generales extraídas durante el proceso de elaboración del presente manual.

1.3. Metodología

La metodología seguida para la realización de este manual incluye cuatro fases.

Fase I. Planteamiento inicial

La primera fase consiste en la elaboración de un primer planteamiento de la estructura del manual con el fin de orientar la recopilación de información necesaria para la elaboración del mismo.

Fase II. Recopilación y análisis de la información

En esta fase se realiza el análisis de información procedente de diferentes fuentes:

- Documentación referente a los procesos productivos del sector metalúrgico y en concreto del subsector del mecanizado del metal y de los aspectos ambientales asociados.
- Documentación relacionada con las alternativas de prevención de la contaminación en el subsector del mecanizado del metal.
- Casos reales de empresas del subsector del mecanizado del metal con experiencia en la implantación de alternativas de prevención de la contaminación.

Fase III. Definición de la estructura del manual

Una vez realizada la búsqueda y el análisis de la información, se procede a definir la estructura definitiva del manual y sus contenidos principales, y se revisa y valida el planteamiento inicial.

Fase IV. Redacción del manual

Esta fase consiste en la redacción efectiva de los capítulos que componen el manual, siguiendo los objetivos de éste, la información analizada previamente y el planteamiento realizado.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DEL SUBSECTOR DEL MECANIZADO DEL METAL Y ASPECTOS AMBIENTALES ASOCIADOS

En este apartado se realiza una descripción de los principales procesos productivos del subsector, de las materias primas utilizadas y de los productos obtenidos. Al final de cada punto se mencionan los aspectos ambientales asociados a cada proceso, los cuales son tratados en profundidad en el próximo capítulo.

2.1. El subsector del mecanizado del metal

El sector del metal comprende un conjunto de actividades que, en general, se pueden agrupar en cuatro grandes bloques en función de la fase del proceso metalúrgico en que se realicen. Estos cuatro bloques son los siguientes:

- **Industria básica metalúrgica.** Este bloque comprende las actividades de siderurgia y acería. Estas actividades consisten básicamente en la extracción de materiales y en una primera transformación en una forma de metal puro o aleación que se utiliza como materia prima en fases posteriores.
- **Primera transformación metalúrgica.** En este grupo se engloban principalmente los procesos de fundición, forja y sinterizado, el objetivo de los cuales es la fabricación mediante moldes de piezas metálicas con una determinada geometría y composición.
- **Fabricación de productos intermedios.** Las dos principales técnicas utilizadas en esta fase son la deformación y la mecanización, el propósito de las cuales es conformar los productos obtenidos en la primera transformación metalúrgica para obtener productos acabados. Cabe señalar que no todos los productos obtenidos en la primera transformación metalúrgica son sometidos a las técnicas propias de esta fase, ya que algunos pueden destinarse directamente a consumo final o a otras industrias.
- **Acabado de piezas.** Esta fase engloba los tratamientos térmicos (temple, recocido, etc.) y superficiales (desengrasado, decapado, galvanizado, etc.) a los que se someten las piezas ya transformadas para proporcionarles unas características de resistencia, dureza y aspecto específicas.

Los procesos descritos en el presente manual son los que se desarrollan en la fase de fabricación de productos intermedios. En este sentido, en el título del manual se emplea el término subsector del mecanizado del metal en sentido amplio, esto es, incluyendo en él tanto las técnicas de deformación como de mecanizado. Asimismo, se ha considerado conveniente describir también aquellos tratamientos térmicos (revenido, temple y recocido) que suelen acompañar a los procesos que recoge el manual.

La deformación consiste en modificar por ductilidad la forma de un cuerpo sólido con el objetivo de obtener una pieza acabada, sin que se produzca arranque de viruta. Existen varias técnicas para conformar por deformación los metales, siendo las más destacadas las siguientes:

- Laminado en frío
- Trefilado en frío
- Estirado en frío
- Embutición y troquelado
- Conformación de perfiles por doblado

El mecanizado, por otra parte, consiste en modificar la forma y el tamaño de una pieza metálica mediante el arranque de capas sobrantes, utilizando máquinas herramienta, con la finalidad de obtener una pieza acabada. Esta técnica se aplica cuando se pretende conseguir superficies de piezas muy precisas y lisas. Los diferentes procesos de mecanizado se tratan de forma conjunta en el punto 2.8. del manual a fin de evitar repeticiones en la descripción de las materias primas utilizadas y aspectos ambientales asociados.

2.2. Los fluidos de corte

El uso de aceites y lubricantes, comúnmente denominados fluidos de corte, está muy extendido en técnicas de deformación metálica como el laminado en frío y el trefilado en frío y en las operaciones de mecanizado en general. En concreto, el uso de dichos fluidos aporta al sistema:

- Lubricación

El fluido disminuye la fricción que se produce entre la superficie de incidencia de la herramienta y la superficie de la pieza, reduciendo, de esta manera, la fuerza necesaria para conformar la pieza y mejorando el acabado superficial.

- Refrigeración

El rozamiento entre la pieza y la máquina herramienta genera un aumento de temperatura, mitigado por el uso del fluido que actúa como refrigerante y que a la vez evita el deterioro prematuro de la herramienta.

- Retirada del material excedente

En aquellas operaciones en que existe arranque de viruta, el fluido arrastra las partículas arrancadas de la pieza y evita su acumulación en el área de corte, puesto que su presencia dificultaría la ejecución de la operación y la disipación natural del calor.

Los fluidos de corte están compuestos por aceite (mineral, vegetal o sintético) y por compuestos químicos (aditivos) utilizados para mejorar sus propiedades. Los principales aditivos, así como sus funciones, se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 1. Principales aditivos presentes en los fluidos de corte

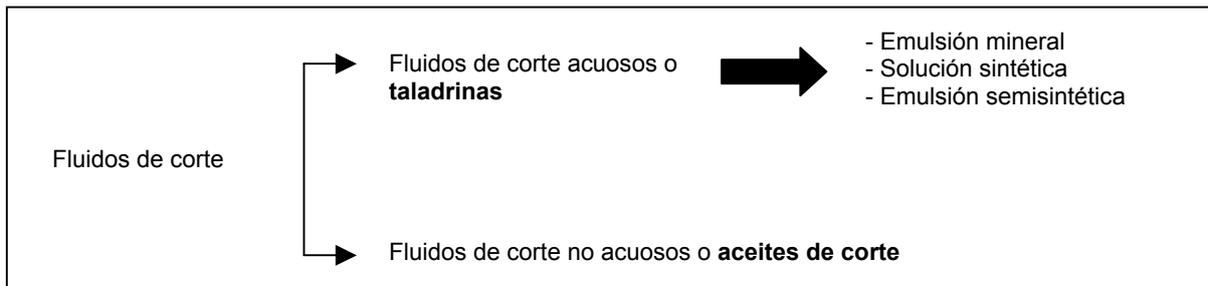
ADITIVOS	FUNCIÓN	COMPUESTOS QUÍMICOS
Emulgentes	Proporcionan estabilidad a la emulsión	Catiónicos Aniónicos (sulfonatos) No iónicos (trietanolamina, poliglicoléter, alilfenol oxietilo)
Inhibidores de corrosión	Protegen contra la corrosión de pieza y herramienta	Nitritos Aminas Boratos
Biocidas	Impiden el desarrollo de microorganismos en el fluido	Formaldehídos Fenoles Triazinas Isotiazolinas
Aditivos extrema presión	Forman una capa intermedia entre dos superficies metálicas, mejoran la lubricación y evitan el desgaste	Parafinas cloradas Compuestos azufrados Compuestos fosforados Aceites minerales y grasas Alcoholes
Humectantes o estabilizantes	Estabilizan el concentrado	Alcoholes Fosfatos Poliglicoles
Antiespumantes	Evitan la formación de espumas	Siliconas Ésteres grasos Hidrocarburos de peso molecular alto
Complejantes	Eliminan y previenen la formación de incrustaciones	Compuestos orgánicos diversos (EDTA)
Otros (detergentes, dispersantes, etc.)		Compuestos diversos

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE SA y de la página web de la fundación sindical autónoma de la Confederación Sindical de Comisiones Obreras (CC.OO.).

Además de aceite y aditivos, los fluidos de corte pueden estar también emulsionados en agua. En función de su contenido en agua, los fluidos de corte se clasifican en fluidos de corte acuosos o taladrinas y en fluidos de corte no acuosos o aceites de corte. A su vez, los fluidos de corte acuosos se dividen en emulsiones minerales, soluciones sintéticas y emulsiones semisintéticas tal como se observa en la figura 1.

Figura 1

CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE CORTE



Asimismo, en la tabla 2 se recoge la proporción aproximada de agua, aceite y aditivos de cada tipo de fluido de corte:

Tabla 2. Composición básica de los fluidos de corte

	% EN EL CONCENTRADO (VOLUMEN)		
	AGUA	ACEITE	ADITIVOS
Aceite de corte	-	96	4
Emulsión mineral	< 10	60 - 80	< 30
Emulsión semisintética	20 - 50	10 - 40	20 - 60
Solución sintética	40 - 60	< 5	40 - 60

Fuente: Datos extraídos del Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal, IHOBE S.A.

La elección del tipo de fluido de corte más adecuado depende de las exigencias y necesidades de cada proceso. Así, la principal propiedad aportada por las emulsiones de aceite es la lubricación, de manera que su uso se extiende sobre todo a operaciones de laminación en frío y embutición.

Por otro lado, las emulsiones semisintéticas se utilizan en aquellas operaciones en las que prima tanto la lubricación como la refrigeración como, por ejemplo, las operaciones de fresado y torneado.

Por último, las soluciones sintéticas se aplican en procesos como el rectificado, en el que es prioritaria la función refrigerante de la taladrina.

2.3. Laminación en frío

2.3.1. Descripción general del proceso de laminación en frío

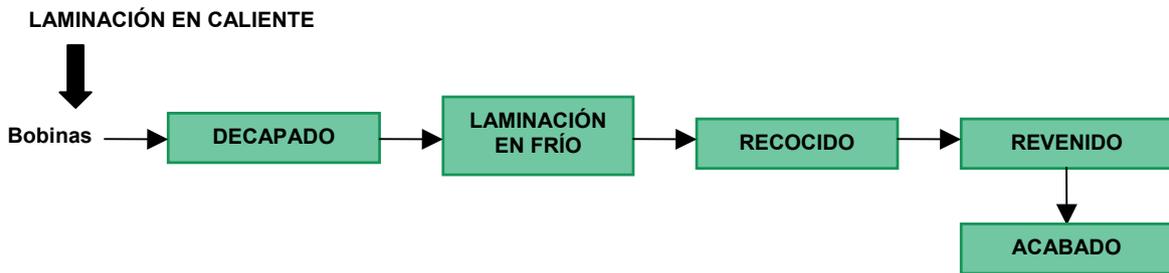
El proceso de laminación en frío consiste en deslizar una lámina de metal sin recalentar entre un par de rodillos, con el objetivo de reducir su espesor y producir una superficie suave y densa.

Las materias primas para el proceso suelen ser bobinas de productos planos (bandas) laminadas en caliente y los productos típicos que se obtienen son bandas, chapas finas, chapa negra y pletinas de aceros al carbono o inoxidables.

Las bobinas a tratar pueden ser de acero de baja aleación y acero aleado (aceros al carbono) o de acero de alta aleación (acero inoxidable). En función de la calidad del acero tratado la secuencia de proceso varía, tal como se describe a continuación.

En el caso del proceso para **acero de baja aleación y acero aleado (aceros al carbono)**, previamente a la realización del laminado en frío es necesario practicar un decapado del material de partida con ácido clorhídrico, sulfúrico o una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico para eliminar la capa de óxido formada durante la laminación en caliente. Una vez realizado el decapado del material inicial, éste se lamina y a continuación se efectúa un proceso de recocido a fin de restablecer la ductilidad de la banda de acero perdida durante el proceso de laminado. Posteriormente se procede a la laminación de revenido o laminación de efecto superficial (*skin pass*) para conferir al material recocido el acabado superficial requerido. Finalmente se sueldan o cortan bobinas de diferente longitud según el producto demandado y se procede a su empaquetado.

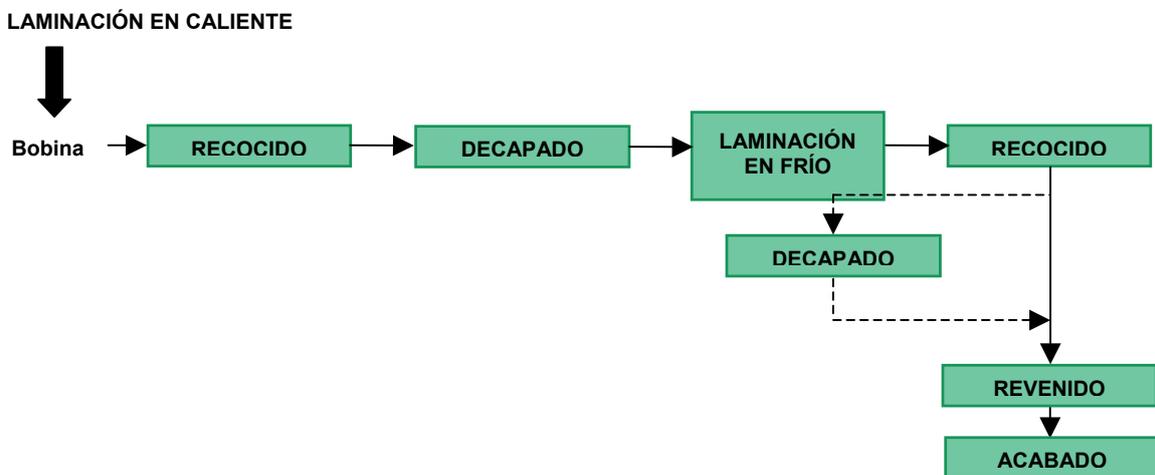
Figura 2
PROCESO DE LAMINACIÓN EN FRÍO PARA ACEROS AL CARBONO



El proceso de laminado de **acero de alta aleación (acero inoxidable)** presenta una secuencia similar, salvo la inclusión de algunos pasos adicionales:

- Recocido inicial, anterior al decapado, a causa de la mayor dureza del acero inoxidable en comparación con el acero al carbono.
- Decapado adicional en caso de que lo requiera el recocido final del material. Este paso adicional es necesario cuando la operación de recocido se realiza en una atmósfera rica en oxígeno, conocida como recocido brillante, que provoca la formación de una capa superficial de óxido que debe eliminarse.

Figura 3
PROCESO DE LAMINACIÓN EN FRÍO PARA ACERO INOXIDABLE



2.3.2. Descripción de la operación de laminado en frío y consideraciones ambientales

El proceso de laminación en frío se puede realizar mediante dos modalidades.

La primera modalidad consiste en el laminado mediante trenes reversibles, donde el producto se hace circular varias veces por el tren de laminado hasta conseguir el espesor deseado. Este tipo de proceso se denomina discontinuo.

La otra modalidad se realiza en laminadores continuos en línea, de manera que la banda se reduce al espesor final deseado en una sola pasada a través de la línea.

En el caso de los materiales compuestos por **aceros al carbono**, si el contenido en carbono del acero es bajo (aceros menos duros), los laminadores utilizados son continuos.

Concretamente se usan trenes multicaja tipo tándem, ya que su capacidad de producción es mayor. Estos trenes están formados por un conjunto de cajas de cuatro o seis rodillos superpuestos. En los trenes, el material se desplaza continuamente de caja a caja, reduciendo sucesivamente su sección hasta obtener el espesor deseado en la última caja.

El resto de aceros al carbono se conforman en laminadores discontinuos, que constan de una única caja con varios rodillos que laminan el material mediante diversas pasadas por la misma máquina. En este caso, es necesario volver a introducir la banda en el laminador en cada pasada.

El principal aspecto ambiental asociado al proceso de laminación de materiales que contienen aceros al carbono es la utilización de una emulsión del 0,5 al 4% de aceite en agua para lubricar, enfriar el material y la máquina, y eliminar las partículas de hierro. Esta emulsión está formada por aceite de laminación y agua desmineralizada.

En la laminación discontinua, esta emulsión se aplica mediante boquillas de pulverización sobre los rodillos y la banda. La laminación continua, en cambio, permite instalar varios sistemas de emulsión independientes. De esta manera, es posible aplicar una emulsión especial en la última caja para aumentar el efecto limpiador. Esta emulsión especial puede contener un detergente o una proporción baja de aceite, del 1% aproximadamente.

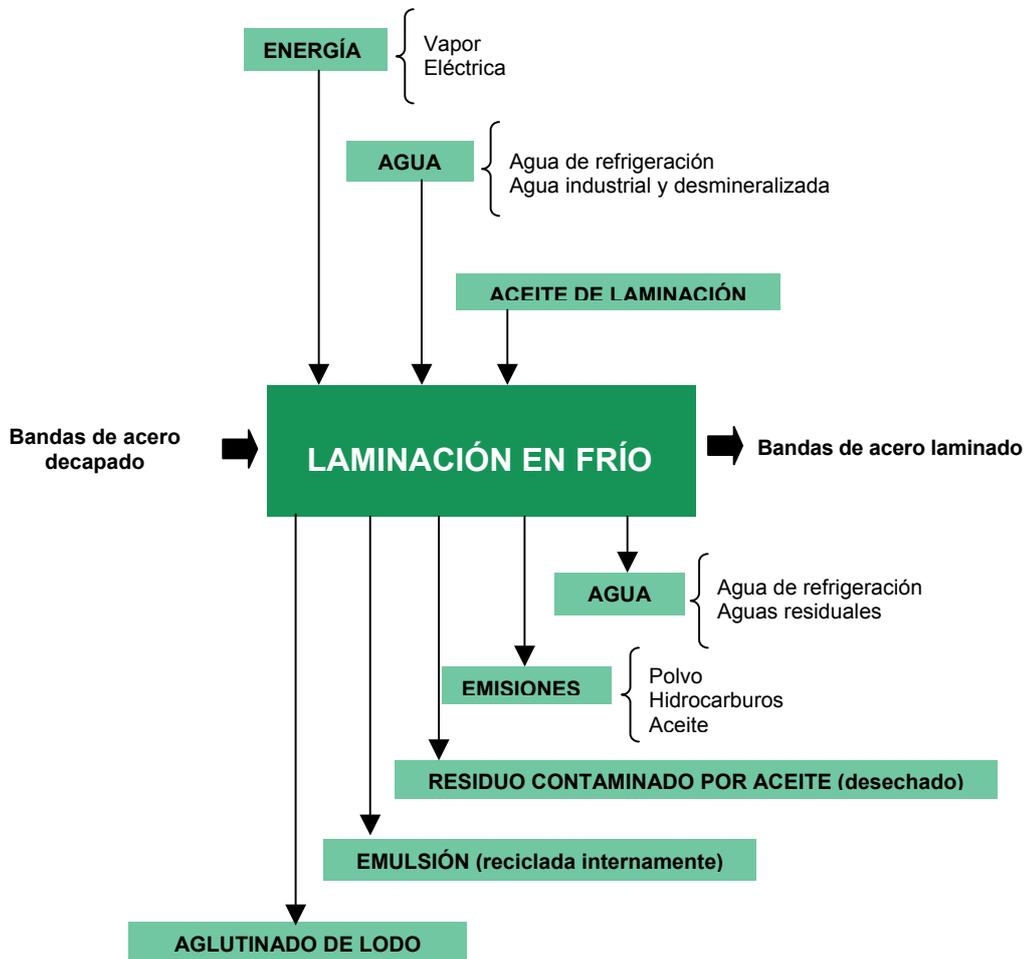
Es necesario tomar precauciones para evitar la contaminación de las emulsiones por aceites de la maquinaria, grasa o agua de enfriamiento para mantener en todo momento una limpieza óptima de la superficie de las bandas. Estas precauciones pueden consistir, entre otras, en el control regular del equipo hidráulico y los cojinetes de la máquina, o en la monitorización de parámetros de la emulsión como pH, índice de saponificación, concentración de ácido, etc.

El uso de estas emulsiones genera aguas residuales que pueden contener aceite y sólidos en suspensión, por lo que deben ser tratadas en plantas de separación de emulsiones. En estas plantas se obtienen lodos con aceite.

El proceso de laminación en frío requiere energía. Ésta suele ser eléctrica, aunque los trenes de laminación tándem con sistema de emulsión pueden utilizar también energía en forma de vapor para calentar la emulsión.

Por último, también cabe destacar las emisiones de polvo, hidrocarburos y partículas de aceite.

Figura 4
ASPECTOS AMBIENTALES DEL LAMINADO DE ACEROS AL CARBONO



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

El proceso de laminación para **aceros de alta aleación (acero inoxidable)** es prácticamente el mismo que el descrito anteriormente, exceptuando algunas diferencias.

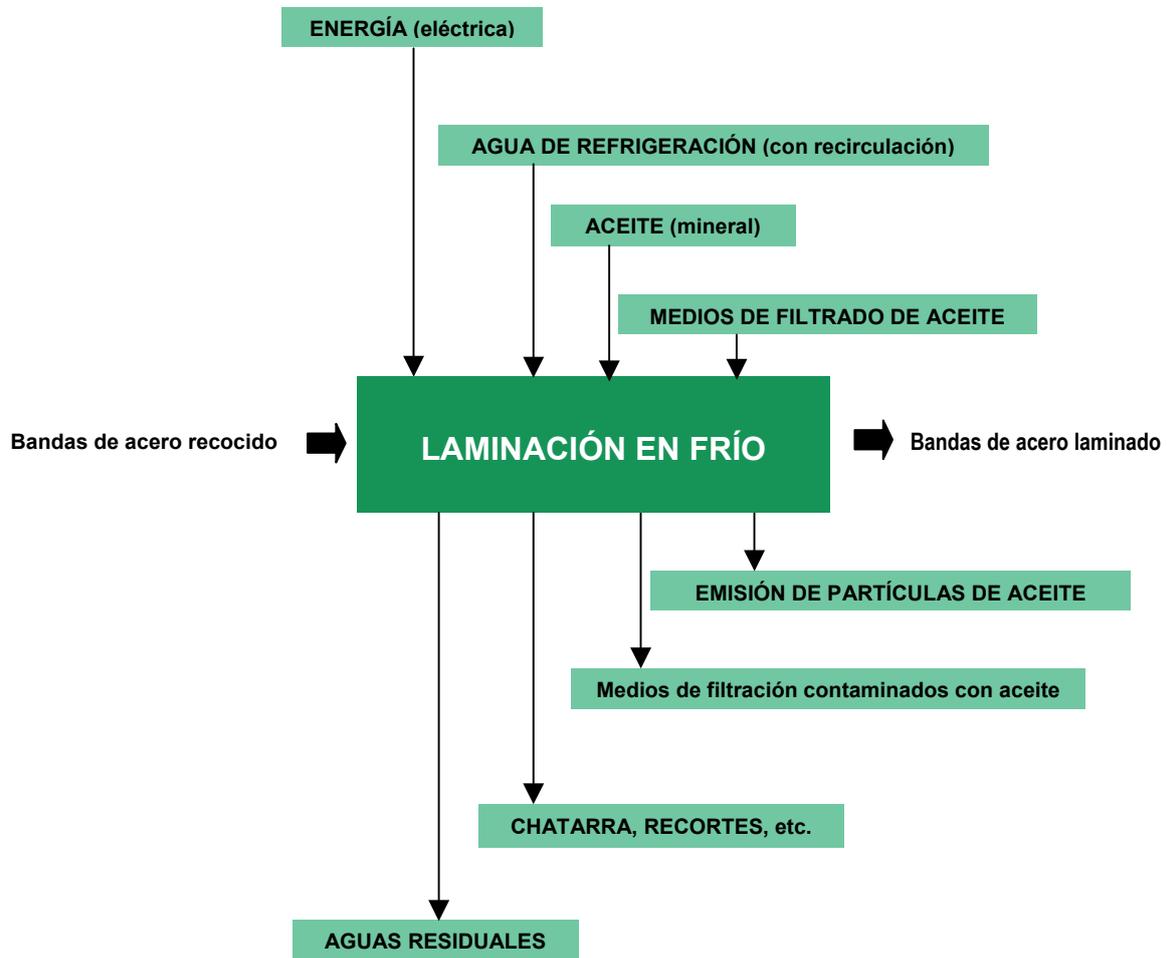
La más destacable radica en el fluido de corte utilizado, que suele ser aceite de laminación mineral. Para que el funcionamiento del proceso sea el adecuado es necesario un control estricto de su limpieza, que se consigue a través de circuitos de filtrado de aceite o sistemas similares.

Análogamente a lo descrito para el acero al carbono, en la laminación de acero inoxidable se consume fluido de corte, por lo que los aspectos ambientales derivados de su uso son similares. Cabe destacar que los circuitos de filtrado de aceite anteriormente citados generan además otro tipo de residuo, los medios de filtración contaminados por aceite.

De todas formas, también pueden utilizarse sistemas de enfriamiento con emulsiones similares a las usadas para los aceros al carbono. En estos casos es necesario tomar precauciones como las expuestas para los aceros al carbono para una correcta limpieza del aceite.

También se producen emisiones de partículas de aceite, por lo que los laminadores van equipados con campanas de extracción continua para eliminar esta niebla de aceite.

Figura 5
ASPECTOS AMBIENTALES DEL LAMINADO DE ACERO INOXIDABLE



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

2.4. Trefilado en frío

2.4.1. Descripción general del proceso de trefilado en frío

El trefilado en frío consiste en el estirado del material de partida a través de aberturas cónicas de menor sección, las denominadas hileras o trefilas, con el objetivo de reducir su sección. El material inicial suele ser alambroón con un diámetro entre 5,5 y 16 mm procedente de las plantas de laminación en caliente en forma de bobinas. El producto obtenido del proceso de trefilado es el alambre.

Este alambre se fabrica en calidades distintas de acero:

- Acero pobre en carbono con un contenido inferior o igual al 0,25%
- Acero rico en carbono con un contenido superior al 0,25%
- Acero inoxidable
- Otros aceros aleados

Según el tipo de acero, el alambre obtenido se utiliza para conformar diferentes productos: alambres para muelles, cuerdas de piano, resortes, cercas, redes, etc.

Los pasos que se siguen en el proceso de trefilado del alambre son similares a los del proceso de laminado en frío:

- Pretratamiento del alambrón (descascarillado mecánico, decapado)
- Estirado (trefilado)
- Tratamiento térmico (recocido continuo/discontinuo, temple, patenting, temple en aceite)
- Acabado (revestimiento superficial)

2.4.2. Descripción de la operación de trefilado en frío y consideraciones ambientales

El proceso de trefilado puede realizarse por dos vías: húmeda y seca.

El **trefilado seco** se utiliza para obtener alambre de diámetro entre 1 y 2 mm o incluso inferior. El material de partida es alambrón de más de 5,5 mm de diámetro. Éste se desplaza a través de una serie de trefilas de diámetro decreciente, y se consigue una reducción progresiva de su espesor inicial.

En este proceso, el alambrón se impregna, previamente al trefilado, en un lubricante seco. El lubricante suele estar formado a base de jabón, aunque en ocasiones se utilizan pastas o aceites que desarrollan la misma función.

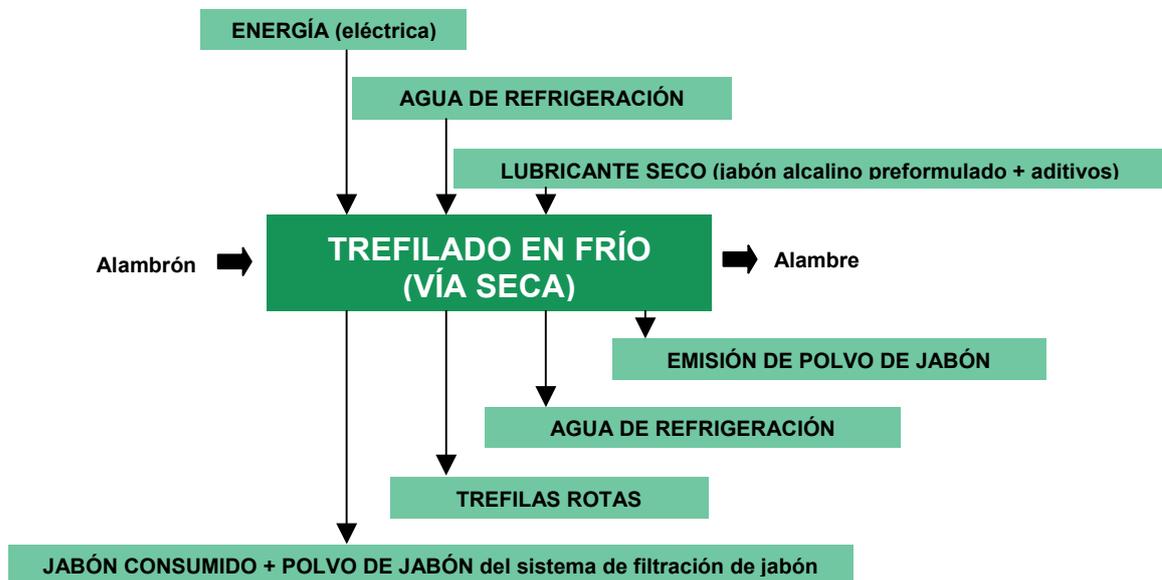
El proceso produce un calentamiento tanto del alambre como de la trefila a causa de la fricción, por ello es necesario utilizar agua de refrigeración para enfriarlos.

Los principales aspectos ambientales del proceso de trefilado seco son los asociados al lubricante consumido, la emisión de polvo de jabón, el agua de refrigeración consumida y los residuos de trefilas rotas. El polvo de jabón puede recogerse y filtrarse del aire extraído.

La siguiente figura recoge estos aspectos ambientales.

Figura 6

ASPECTOS AMBIENTALES DEL TREFILADO EN SECO



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

En el **trefilado húmedo** el material de partida tiene un diámetro entre 1 y 2 mm, de manera que se obtiene un producto final de menor sección.

En este proceso también se hace pasar el alambre por una serie de trefilas, pero en este caso el alambre, las trefilas y los cabrestantes se sumergen directamente en el líquido lubricante para proporcionar mayor lubricación y enfriamiento.

En el trefilado húmedo se suelen utilizar emulsiones acuosas de jabón o aceite, que se van contaminando durante el proceso al arrastrar productos presentes en los pasos anteriores, por lo que es necesario cambiar con una determinada frecuencia el lubricante.

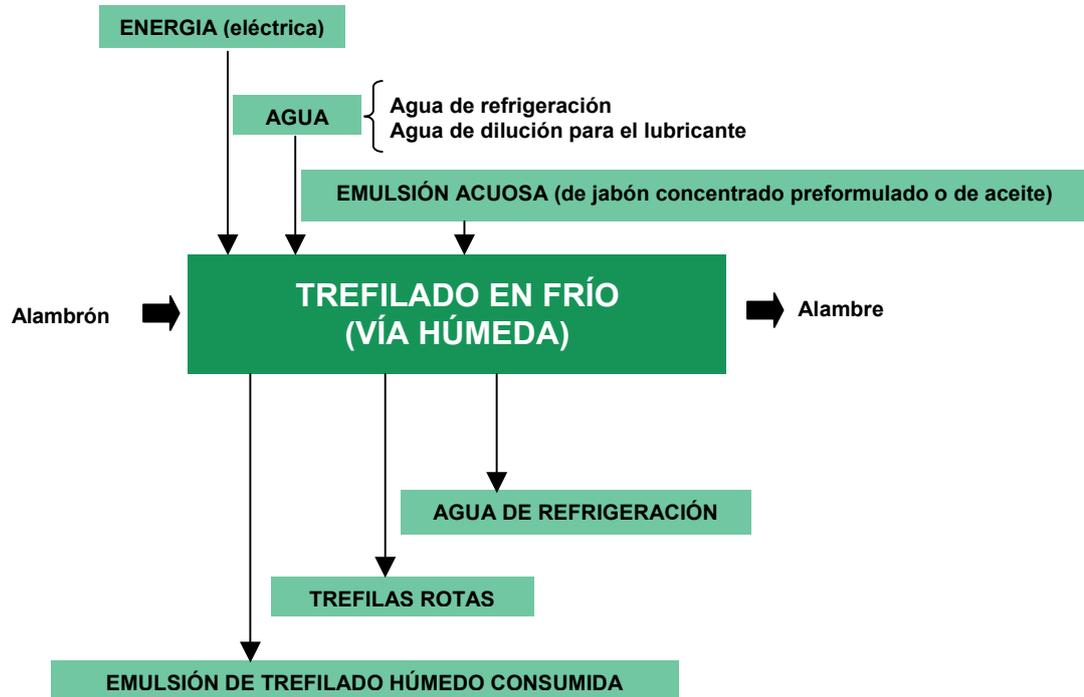
Como el lubricante absorbe el calor generado durante la operación, es necesario refrigerarlo con agua.

Además del lubricante consumido y del agua de refrigeración, otras fuentes de residuos son las trefilas rotas.

Los principales aspectos ambientales se reflejan en la figura que se muestra a continuación.

Figura 7

ASPECTOS AMBIENTALES DEL TREFILADO HÚMEDO



Fuente: Figura realizada a partir del Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

2.5. Estirado en frío

2.5.1. Descripción general del proceso de estirado en frío

El proceso de estirado en frío es muy similar al proceso de trefilado, ya que también consiste en estirar el material de partida hasta obtener el producto deseado. La diferencia radica en que este proceso no se limita a reducir la sección del material inicial, sino también a modificar su perfil. Además, en el estirado se parte de materiales con secciones y tamaños diversos, obteniendo formas y dimensiones determinadas. En cambio, el trefilado se aplica únicamente al alambre para obtener alambre, esto es, trabajando en todo el proceso con secciones circulares.

El material de partida son barras de acero que previamente han sido laminadas en caliente. El producto resultante del proceso de estirado son barras de acero pulido, con el perfil y las características demandadas por los usuarios; cuya sección transversal es habitualmente cuadrada, rectangular o hexagonal, aunque es posible producir secciones diferentes según la demanda.

Estos perfiles pueden tener diversas utilidades. Por ejemplo, los perfiles hexagonales se usan para fabricar tornillos y tuercas. Los perfiles de formas diversas sirven, normalmente, para la obtención de piezas sueltas por troceado transversal de la barra.

Los productos ya conformados son utilizados por las industrias de automoción, maquinaria, construcción, aparatos eléctricos y otros sectores, en los que es imprescindible una elevada calidad del material.

Las fases del proceso de estirado son similares a las del proceso de trefilado. Inicialmente se realiza un decapado del material para eliminar la suciedad y los óxidos superficiales. Posteriormente tiene

lugar el estirado. Este proceso endurece y aumenta la resistencia a la tracción del acero, al mismo tiempo que reduce su ductilidad. Por ello, dependiendo del producto requerido, es necesaria una etapa de recocido tras el estirado en frío. Finalmente, tiene lugar un proceso de acabado en el que se endereza y pule la barra y se corta el extremo afilado.

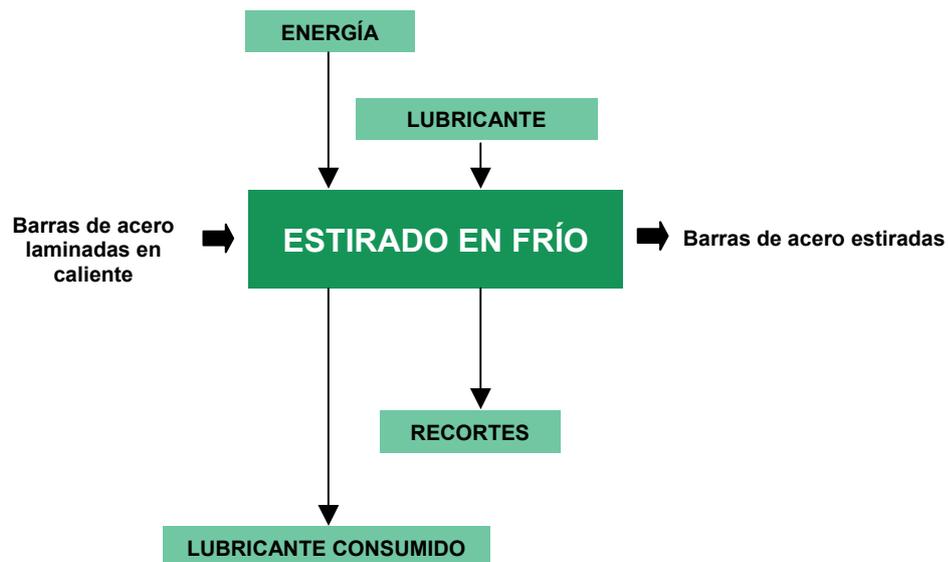
2.5.2. Descripción de la operación de estirado en frío y consideraciones ambientales

En el proceso de estirado en frío es necesario afilar previamente la punta de la barra, operación que se realiza por martillado rotativo o torneado. Después se pasa el extremo afilado a través de la matriz o hilera y se sujeta al carro móvil del banco de estirado mediante las tenazas de las que éste dispone. Finalmente se procede a la ejecución del proceso de estirado.

Los aspectos ambientales que deben considerarse en este proceso son muy similares a los mencionados en el trefilado en frío. También se consume lubricante para facilitar el proceso, por lo que una de las principales corrientes residuales generadas es el lubricante consumido. Asimismo, cabe destacar los residuos producidos por el corte del extremo afilado de la barra.

Estos aspectos se esquematizan a continuación.

Figura 8
ASPECTOS AMBIENTALES DEL ESTIRADO EN FRÍO



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

2.6. Troquelado y embutición de metales

2.6.1. Descripción general del proceso de troquelado y embutición de metales

Se ha considerado conveniente explicar conjuntamente el troquelado y la embutición de metales, debido a la similitud de la secuencia seguida en el proceso y de la herramienta utilizada, aunque la finalidad de cada técnica es distinta.

La **embutición** es la deformación del material de partida, mediante prensas equipadas con moldes o estampas (punzón y matriz), con el objetivo de obtener un cuerpo hueco sin alterar su espesor inicial.

El material de partida consiste en una chapa plana en forma de disco, rodaja, pletina, etc. de hierro, aluminio o latón. Como producto final se obtiene esta misma chapa, pero en lugar de plana, con una forma ahuecada o cóncava. A diferencia del troquelado, en este proceso no se alcanza el agujereado o recorte de la pieza inicial.

Si el material de partida son chapas de hierro, es necesario un recocido previo y un calentamiento posterior a la embutición para eliminar las posibles tensiones internas.

La operación de **troquelado** consiste en el agujereado o el recorte de una banda de chapa, mediante un útil formado por un punzón y una matriz. Éstos están fijados a una prensa balancín o excéntrica, que corta por presión.

Si el fragmento recortado de la chapa es la pieza que se aprovecha se habla de *recorte* y en este caso la operación realizada se denomina *corte*. Si el fragmento que se agujerea en la chapa es el residuo, entonces se crea un agujero y la operación realizada se trata del *punzonado*. En cualquier caso la pieza final tiene un tamaño más reducido respecto a la inicial.

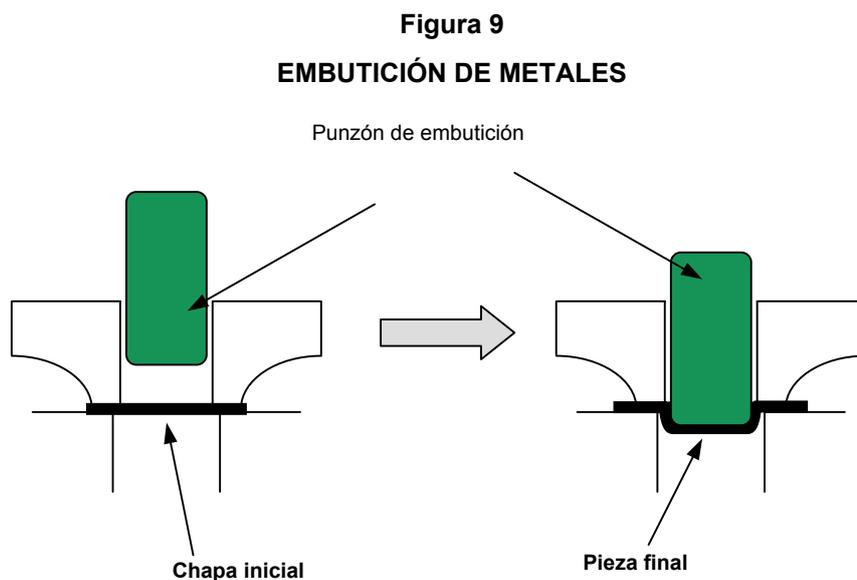
En este tipo de deformación tampoco varía el espesor de la chapa, excepto en aquellos casos en que se producen relieves sobre los recortes. En este caso, se habla de *acuñado*, proceso empleado principalmente para la fabricación de monedas.

2.6.2. Descripción de las operaciones de troquelado y embutición de metales y consideraciones ambientales

Para realizar el embutido de una pieza, ésta debe colocarse en un hueco situado entre el punzón y la matriz o estampa, que es ligeramente superior al espesor de la chapa.

El proceso consiste en hacer descender el punzón, de forma que se introduce la chapa en el espacio citado y, de este modo, se va deformando sin llegar a romperse. Una vez la pieza ya ha sido deformada, la extracción de ésta es efectuada mediante un resorte cuando el punzón deja de ejercer presión.

El proceso de embutición se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Figura realizada a partir de *Tecnología de los oficios metalúrgicos*, A. Leyensetter, 1987.

Si mediante el punzón se aplica una fuerza mayor que la que puede soportar la chapa, se produce el desgarro de ésta. De todas formas, se puede exceder la deformación máxima que puede soportar la chapa mediante embuticiones sucesivas entre las que se intercalan recocidos intermedios. El proceso consistiría en lo siguiente:

Embutido → Recocido → Nuevo embutido...

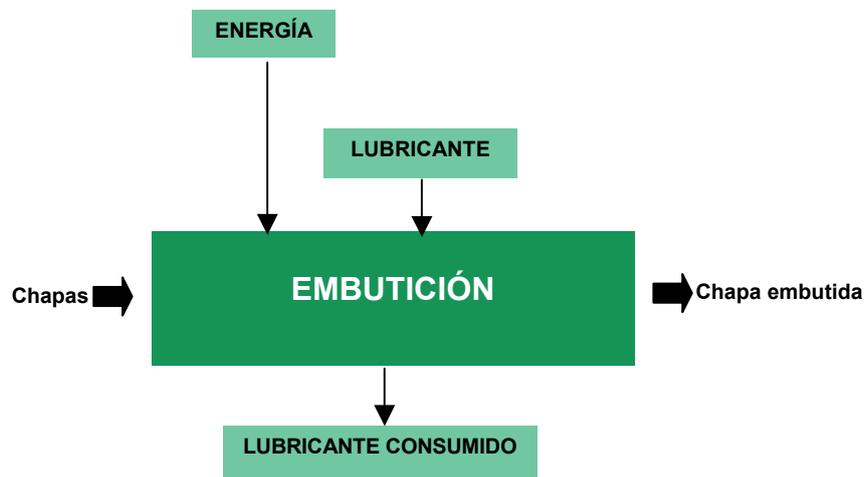
En todo momento las superficies de la chapa, de la estampa y del punzón deben permanecer muy lisas y adecuadamente lubricadas. La función del lubricante consiste en evitar el agarrotamiento del material contra la matriz y disminuir la fuerza necesaria para la embutición. Los tipos de lubricantes utilizados son aguas con jabón y emulsiones de aceites vegetales en agua.

En el caso del **troquelado** el proceso es similar al de embutición, ya que se coloca la chapa en una matriz y se presiona con un punzón, pero en este caso se ejerce una presión mayor, de forma que se consigue el desprendimiento de la pieza final del material de partida. Cuando el punzón penetra en el material, éste inicialmente se abomba hacia abajo pero al seguir actuando el punzón, se sobrepasa el límite de fluencia del material y se produce su rotura.

La operación de troquelado no suele utilizar lubricante, aunque podrá usarse algún tipo de fluido según la tipología de la pieza que hay que obtener.

La siguiente figura muestra los principales aspectos ambientales del proceso de embutición que, como puede observarse, se derivan del uso de fluido de corte.

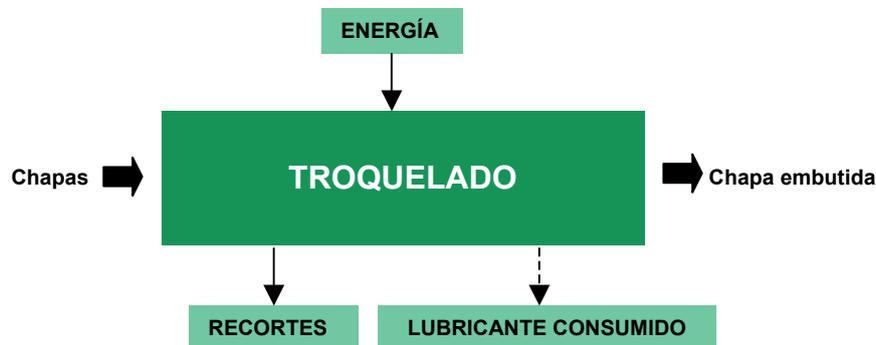
Figura 10
ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN



El aspecto ambiental más destacado asociado al proceso de troquelado es el residuo metálico final que se origina por los recortes.

Figura 11

ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE TROQUELADO



2.7. Producción de perfiles en frío por conformación por plegado

2.7.1. Descripción general del proceso de producción de perfiles en frío por conformación por plegado

Este proceso consiste en modificar mediante fuerzas de flexión la forma del material inicial, con el objetivo de obtener piezas con un determinado perfil.

El material de partida son chapas, tubos y alambres que, realizado el proceso, dan lugar a piezas con un perfil determinado.

En el caso de utilizar como material de partida chapas de acero procedentes de laminación en caliente es conveniente realizar un decapado químico previo para eliminar el óxido, y en ocasiones un recocido para reblandecer el material.

2.7.2. Descripción de las operaciones de producción de perfiles en frío por conformación por plegado y consideraciones ambientales

Existen diferentes procesos para obtener perfiles en frío mediante plegado en función de la herramienta utilizada. A continuación se describen los más significativos:

- **Plegado libre:**

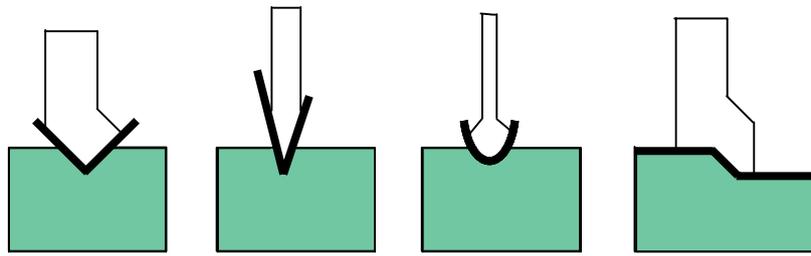
Se proporciona libremente una forma a la pieza inicial por plegado a mano o en tornillo de banco. En el caso de curvado de tubos, para evitar que resulten aplastados, es necesario rellenarlos previamente o bien utilizar una guía adecuada en la máquina curvadora de tubos.

- **Plegado con bigornia**

Este proceso es similar al de embutición, explicado anteriormente. También interviene un punzón o troquel que dobla la pieza por presión contra la bigornia o yunque, dando lugar a perfiles diversos, tal como muestra la figura 12.

Mediante esta técnica también se realiza el redondeado y el acanalado. En el redondeado, la pieza se comprime contra una zona redonda de la estampa, comenzando por uno de los bordes de la pieza, de manera que ésta adopta la forma redonda mediante un curvado gradual. En el acanalado, el troquel produce una acanaladura en la pieza.

Figura 12
DIFERENTES PERFILES OBTENIDOS POR EL PLEGADO CON BIGORNIA



Fuente: Figura realizada a partir de *Tecnología mecánica y metrotécnica*, J. M. Lasheras, 1997.

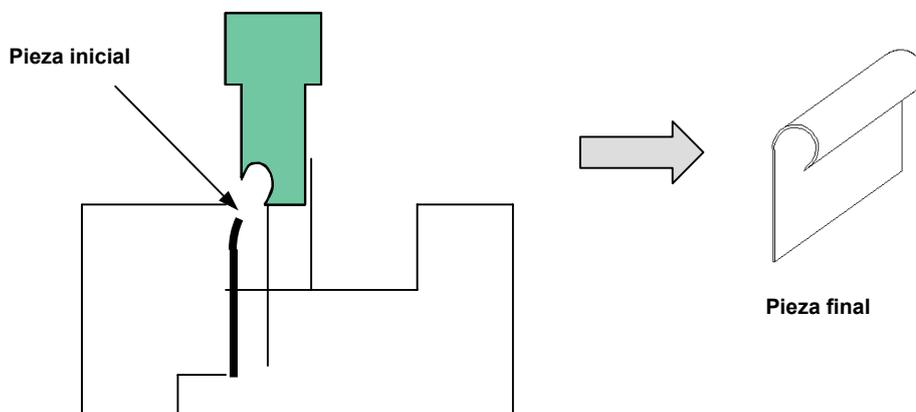
▪ **Plegado por arrollamiento**

Mediante esta técnica, la pieza se curva continuamente empujándola a través de una herramienta cuya superficie activa es curva. Así se doblan alambres, chapas, tubos, etc.

En primer lugar se debe doblar un extremo de la pieza y posteriormente se introduce la pieza con el curvado inicial en la parte inferior de la matriz de arrollamiento con el canto doblado hacia arriba para proceder al doblado completo.

Este proceso se muestra en la siguiente figura.

Figura 13
PLEGADO POR ARROLLAMIENTO



Fuente: Figura realizada a partir de *Tecnología de los oficios metalúrgicos*, A. Leyensetter, 1987.

▪ **Perfilado**

Este proceso transforma gradualmente una chapa plana en la tira de perfilado deseada mediante el deslizamiento de la misma por una serie de pares de rodillos que la hacen avanzar a la vez que la conforman.

Los aspectos ambientales principales del proceso de producción de perfiles por conformación por plegado se derivan del consumo de energía, ya que el proceso no necesita fluido de corte ni agua para lubricar o refrigerar el material y la maquinaria.

En caso de que se haya producido algún recorte de la pieza para la conformación definitiva del perfil, se obtiene un residuo metálico del proceso.

El siguiente cuadro muestra estos aspectos ambientales.

Figura 14
ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PERFILES EN FRÍO POR CONFORMACIÓN POR PLEGADO



2.8. Mecanizado

2.8.1. Descripción general del proceso de mecanizado

La mecanización consiste en la conformación de piezas procedentes de una primera transformación metalúrgica, a través del arranque de capas sobrantes o virutas, con el fin de obtener piezas de una configuración geométrica determinada.

Normalmente, la materia prima son piezas moldeadas, forjadas, estampadas y laminadas; por lo tanto, el mecanizado completa procesos de conformación anteriores.

El fundamento del mecanizado es el corte del metal y se puede realizar manualmente o mediante una máquina herramienta (el mecanizado propiamente dicho).

Las máquinas herramienta arrancan las capas sobrantes mediante:

- Cuchillas
- Abrasivos
- Chispas eléctricas
- Ultrasonidos
- Chorro electrónico (volatiliza el material)
- Electrólisis dirigida

En función de la precisión del acabado de la pieza, se pueden distinguir tres tipos de mecanizado:

▪ Desbastado

La finalidad de este tipo de mecanizado es aproximar las dimensiones de la pieza a la medida final, por lo que el material eliminado tiene un tamaño del orden de milímetros o décimas de milímetros.

- **Acabado**

En este caso, el objetivo es obtener las medidas finales de la pieza y a la vez minimizar la rugosidad en la superficie, de manera que el material eliminado es del orden de centésimas de milímetro.

- **Superacabado o rectificad**

Se obtienen piezas de medidas muy precisas y un acabado superficial muy esmerado. En este caso, el material desechado tiene un tamaño del orden de milésimas de milímetro.

2.8.2. Descripción de las operaciones de mecanizado y consideraciones ambientales

Las principales operaciones de mecanizado son:

- **Torneado**

Es la más importante de las operaciones de mecanizado. Se basa en el arranque de viruta, mediante una herramienta de corte, a una pieza que gira alrededor de su eje. Por lo tanto, los productos obtenidos son cuerpos de revolución.

El proceso de torneado consta de dos etapas en función de la cantidad de material arrancado. En primer lugar, se realiza el desbastado de la pieza y posteriormente el acabado de ésta, arrancando partículas de tamaño inferior a las de la etapa anterior.

Fotografía 1

TORNO



Cortesía de Canaletas, S.A

- **Fresado**

Esta operación se basa en el uso de otra máquina herramienta, la fresa, la cual consta de unos filos de corte múltiples, en forma de cuerpos de revolución. La fresa actúa sobre la pieza girando alrededor de su eje.

Para realizar la operación se suelen hacer varias pasadas. Las primeras se realizan con fresas de desbaste de dientes robustos para arrancar una cantidad considerable de material. Las últimas pasadas, de acabado, se realizan con fresas que contienen un mayor número de dientes de menor robustez que los anteriores.

Mediante esta técnica se obtienen superficies planas y curvadas, de ranuras rectas, de ranuras espirales y de ranuras helicoidales, así como roscas.

▪ **Taladrado**

En este proceso la herramienta utilizada, la broca, produce un agujero cilíndrico en la pieza, que permanece inmóvil durante el desarrollo de todo el proceso.

La broca dispone de dos filos para el arranque de viruta, aunque excepcionalmente pueden ser cuatro para realizar agujeros de gran diámetro.

Normalmente el tipo de broca utilizada es helicoidal.

▪ **Roscado**

Se conoce como roscado el proceso de adaptación de los agujeros de una pieza fabricada para utilizarlos como rosca. En función de la superficie roscada distinguimos dos tipos de productos:

- Tuercas: se rosca la superficie interna
- Tornillos: se rosca la superficie externa

La siguiente fotografía muestra la operación de roscado mediante una roscadora y la generación de viruta derivada del proceso.

Fotografía 2
OPERACIÓN DE ROSCADO



Cortesía de Gamor, S.L.

▪ **Mandrinado**

El mandrinado consiste en el ensanchamiento de un agujero existente hasta el diámetro requerido. Este agujero ha sido realizado previamente mediante un taladro o por procesos de fundición o forja; sistemas poco precisos, por lo que se requiere el uso de esta técnica.

Del mismo modo que en el torneado, el proceso de arranque de viruta sigue una trayectoria helicoidal. Sin embargo, a diferencia del torneado, la pieza no gira alrededor de su eje sino que únicamente efectúa un movimiento de avance.

▪ **Brochado**

Esta operación consiste en arrancar, lineal y progresivamente, viruta de la superficie de la pieza mediante una herramienta llamada brocha.

La brocha consta de una gran cantidad de filos, incluso más de cien, dispuestos de forma que cada uno de ellos es ligeramente más alto que el anterior para ir arrancando progresivamente el material de la pieza. El movimiento de la herramienta es rectilíneo y se realiza una única pasada.

Esta herramienta tiene habitualmente un coste elevado, por lo que deben producirse grandes cantidades de piezas para amortizar la inversión. Este tipo de piezas realizadas en grandes cantidades, se suelen destinar a la industria del automóvil.

▪ **Rectificado**

El propósito de esta operación es el arranque de viruta de dimensiones muy reducidas para lograr un acabado de la pieza de elevada precisión.

La herramienta utilizada en este proceso es la muela, que se compone de dos elementos principales. Uno de ellos es el abrasivo, cristal de elevada dureza y reducida dimensión, encargado de la función de arranque de viruta. El otro elemento importante es el aglomerante, que da forma geométrica y resistencia a la muela, manteniendo fijo al mismo tiempo el elemento abrasivo.

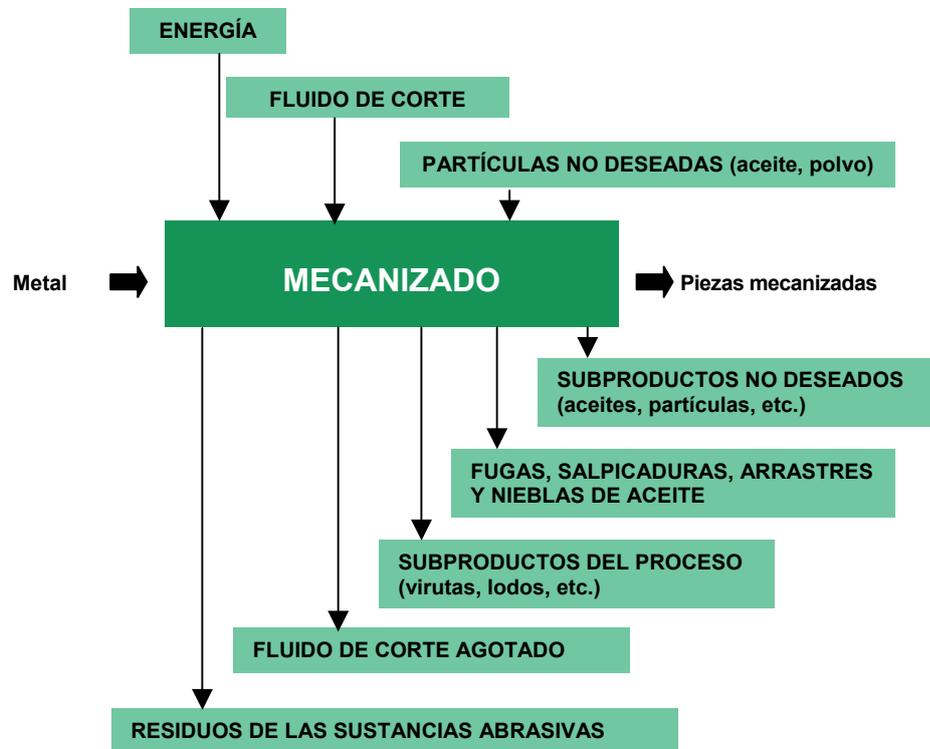
El rectificado es la operación de mecanizado más importante que utiliza abrasivos, pero existen otras de procedimiento similar como el desbarbado, el pulido y el afilado.

En cuanto a los aspectos ambientales generados durante el proceso de mecanizado, se pueden destacar el consumo de energía y, en especial, de fluido de corte, necesario para refrigerar tanto el material como la herramienta y vencer el rozamiento en el proceso de mecanizado.

Básicamente, las corrientes residuales generadas son el fluido de corte agotado, las emisiones atmosféricas (vapores de aceite) y la chatarra y virutas impregnadas de aceite o fluido de corte.

En el cuadro siguiente se esquematizan estos aspectos ambientales.

Figura 15
ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE MECANIZADO



Fuente: Figura realizada a partir del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE SA

2.9. Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son procesos que se caracterizan por la modificación de las propiedades mecánicas de las piezas mediante ciclos de calentamiento y enfriamiento del material. Como tratamientos térmicos principales se puede distinguir entre recocido, temple y revenido.

2.9.1. Recocido

El recocido consiste en el calentamiento de la pieza hasta aproximadamente una temperatura entre 800 y 925 °C, variable en función del contenido en carbono del acero, seguido de un enfriamiento lento. Mediante este tratamiento se logra aumentar la ductilidad de la pieza, al mismo tiempo que se reduce su dureza.

Las características proporcionadas a las piezas por el recocido, hacen que éste sea un proceso realizado previamente al mecanizado y la embutición, puesto que facilita su conformado al homogeneizar su estructura, afinar el grano y ablandar en general el material.

Por otra parte, las operaciones realizadas en frío como el laminado, el trefilado, el estirado y, en ocasiones, el plegado, suelen ir seguidas de un proceso de recocido para eliminar la acritud y las tensiones internas que produce el trabajo en frío. En estos casos, se realiza un tipo especial de recocido, *recocido de relevado de esfuerzos*, calentando la pieza a una temperatura inferior a la usual, que se sitúa alrededor de los 500 °C, aunque según la composición del material puede ser más elevada, alrededor de los 700 °C. De esta manera, la estructura interna modificada durante el estirado

de la pieza vuelve a recuperarse, ya que los granos recuperan su condición original de blandos y dúctiles. En ocasiones, este tipo de recocido se realiza en un recipiente cerrado, provisto de gas inerte para prevenir la oxidación de la superficie, tratándose entonces de *recocido brillante*.

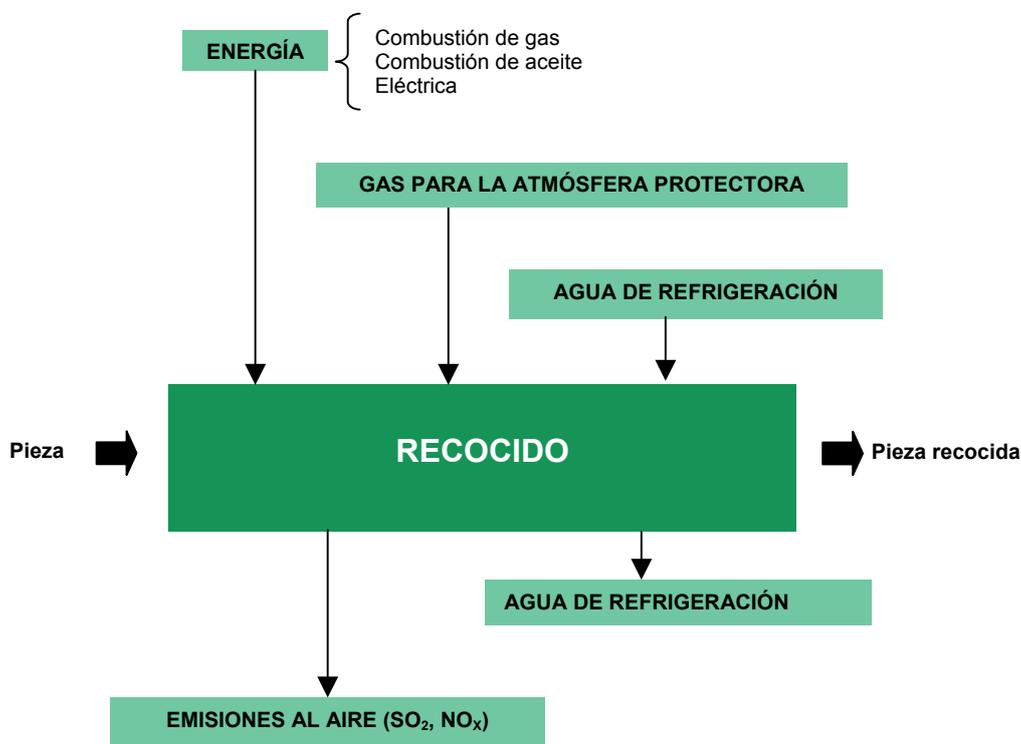
El calentamiento del proceso de recocido se realiza en los denominados *hornos de recocido*, alimentados por energía eléctrica o combustible. Normalmente, suele mantenerse dentro del horno una atmósfera protectora de gas inerte, con el fin de evitar la reacción de las partículas presentes en el gas con la superficie del material, o bien atmósferas reductoras compuestas de N_2 . El proceso dura aproximadamente unas cuatro horas.

Según lo expuesto anteriormente, el calentamiento del material en el proceso de recocido va seguido de una fase de enfriamiento de éste, que es más lenta cuanto más dúctil se quiera obtener el material, pero que en general dura cuarenta y ocho horas. Este enfriamiento puede realizarse en el mismo horno de recocido, sepultando el metal caliente en arena seca, cenizas o caliza, o bien dejándolo enfriar al aire. También es posible potenciar el efecto del enfriamiento en el horno mediante la pulverización de agua sobre la cubierta protectora del horno, introduciendo aire sobre la misma o utilizando un sistema de refrigeración que enfríe la atmósfera protectora.

Los principales aspectos ambientales asociados al proceso de recocido son el consumo de energía del horno y las emisiones derivadas de la combustión de los gases. En el caso de que se utilice agua para acelerar el enfriamiento de la pieza, existe consumo de ésta y generación de aguas residuales. Estos aspectos quedan recogidos en la siguiente tabla.

Figura 16

ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE RECOCIDO



Fuente: Figura realizada a partir del Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

2.9.2. Temple

El objetivo del temple es el endurecimiento y aumento de la resistencia al desgaste de una pieza mediante un calentamiento a una temperatura entre 850 y 1.000 °C y un enfriamiento rápido posterior. El temple se realiza, normalmente, a continuación del proceso de trefilado del alambre en frío.

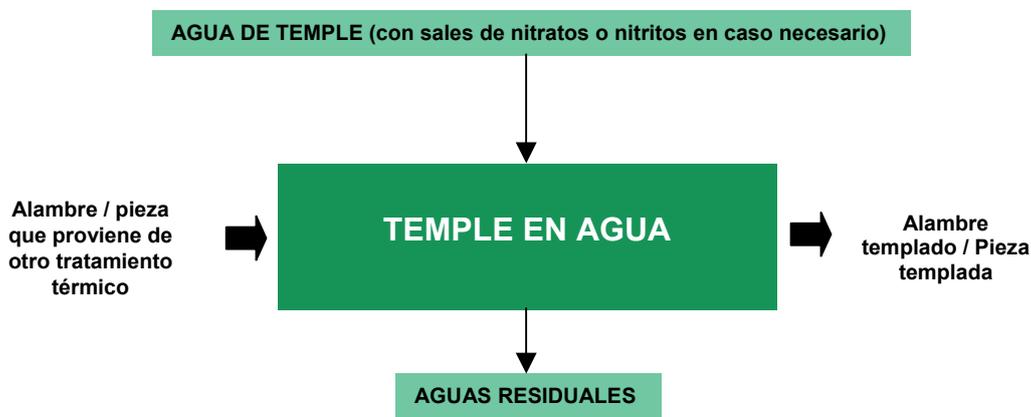
El endurecimiento conferido por el temple se produce porque a estas temperaturas el carbono contenido en el material empieza a disolverse en el hierro, formando una solución sólida llamada austenita, que al enfriarse repentinamente, genera una nueva estructura conocida como martensita, muy dura y a la vez frágil, con una resistencia a la tracción más elevada que la inicial. La inestabilidad generada en la pieza por este proceso requiere un tratamiento posterior de revenido que disminuya los esfuerzos internos, y que regenere la ductilidad de la pieza.

Como se ha descrito anteriormente, el proceso de temple se inicia con una etapa de calentamiento que se efectúa normalmente bajo atmósfera protectora utilizando electricidad o gases de combustión. El enfriamiento posterior suele realizarse en aceite aunque también pueden utilizarse en otros medios como agua o agua con aditivos. El medio utilizado para realizar el enfriamiento depende de las propiedades que se desee conferir a la pieza:

- El enfriamiento con agua es más brusco debido a que la velocidad de enfriamiento en este medio es más rápida, y confiere así mayor dureza a la pieza y al mismo tiempo mayor fragilidad. Para proporcionar una dureza máxima a la pieza se añaden al agua sales de nitratos o nitritos.
- El temple en aceite consiste en enfriar la pieza en un tanque de aceite y debido a la velocidad de enfriamiento en éste, más lenta que la del agua, la dureza final de la pieza es ligeramente inferior a la obtenida en el temple con agua, y consigue en cambio, una reducción del riesgo de distorsión y agrietamiento. Esta técnica es esencial para el temple de piezas de formas complejas, es decir, compuestas por partículas finas y gruesas.

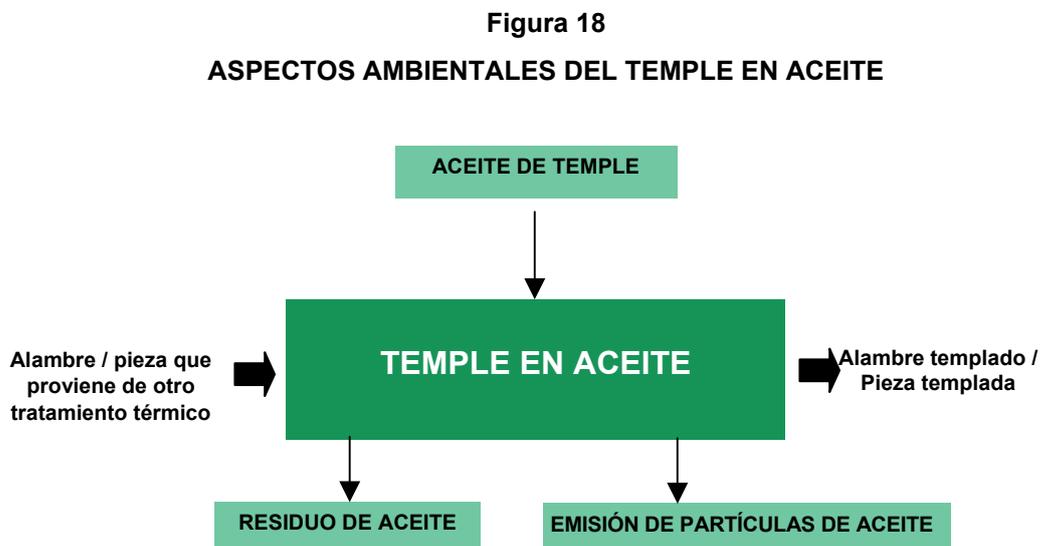
Los aspectos ambientales propios del temple en agua se derivan del agua consumida y del agua residual obtenida después del proceso.

Figura 17
ASPECTOS AMBIENTALES DEL TEMPLE EN AGUA



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

En el caso del temple en aceite, los principales aspectos ambientales consisten en el consumo de aceite como medio de temple, en el residuo final de aceite y en las emisiones al aire de aerosoles de aceite.



Fuente: Figura realizada partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

2.9.3. Revenido

El revenido es un tratamiento habitual en piezas que previamente han sido templadas que, aplicado con el objetivo de disminuir la dureza y resistencia conferida por el temple y de eliminar las tensiones creadas, mejora la tenacidad de la pieza.

El proceso de revenido consiste en el calentamiento de la pieza a una temperatura (temperatura de revenido) variable según la resistencia y ductilidad que se desee conferir a la pieza y su posterior enfriamiento en aire o agua y en ocasiones, baños líquidos de aceite, sales fundidas o metales fundidos.

El revenido se aplica a continuación del temple efectuado en el proceso de trefilado en frío. En este revenido en concreto, el alambre se somete a temperaturas de entre 300 y 500 °C, mediante un horno con calentamiento eléctrico o calentamiento directo con gas de combustión, aunque también es posible utilizar calentamiento por inducción.

Otro proceso de conformado en el que tiene lugar una operación de revenido es la laminación en frío. En este proceso se realiza una operación especial de revenido, revenido por laminación, que consiste en someter la banda a una ligera laminación superficial mediante trenes de revenido, consiguiendo una reducción del espesor entre el 0,3 y el 2%. El objetivo final de esta operación es modificar las propiedades mecánicas del acero y obtener el acabado superficial deseado.

El material de entrada en los trenes de revenido son bandas previamente recocidas, obteniéndose esta misma banda pero más plana y con el acabado superficial deseado.

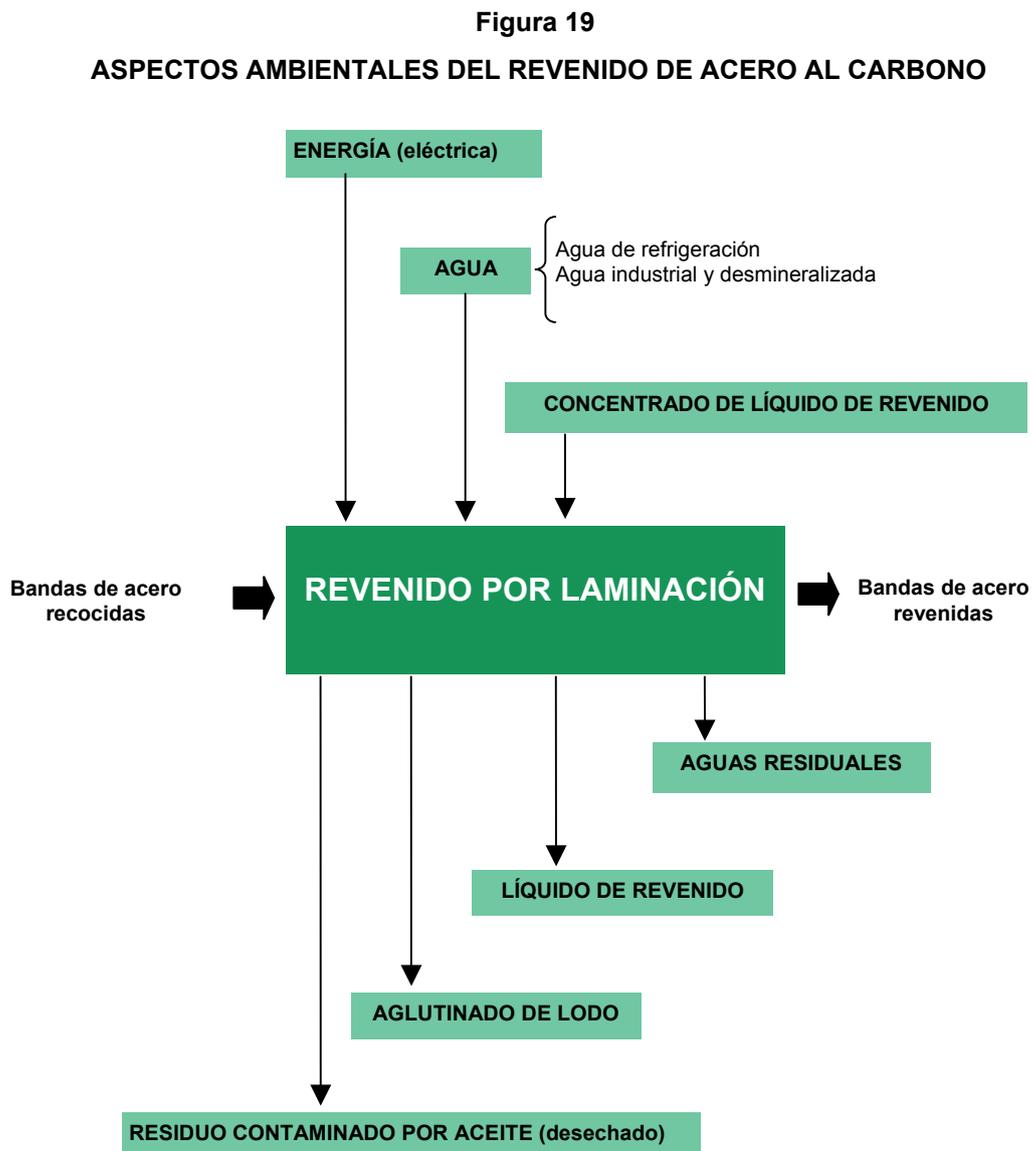
La banda se introduce en el tren de revenido con una temperatura inferior a 50 °C y allí se desplaza a través de unos rodillos. El tren se compone normalmente de una o dos cajas de cuatro cilindros superpuestos, aunque también se utilizan cajas con dos o seis rodillos superpuestos. Los rodillos y

cilindros disponen de un acabado superficial muy preciso con el fin de controlar la rugosidad final de la banda de acero.

El revenido del acero inoxidable se realiza normalmente en seco, sin necesidad de aplicar aceite o líquido para enfriar. En cambio, en el revenido de acero al carbono se utiliza un líquido consistente en una solución al 5% de agente de laminación de revenido húmedo que elimina los posibles residuos de proceso presentes en la banda.

En el proceso también se requiere energía eléctrica para el funcionamiento del tren de laminado y para el sistema hidráulico.

Estos aspectos ambientales del proceso quedan recogidos en la siguiente tabla.



Fuente: Figura realizada a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

En el caso del acero inoxidable no existe aporte de agua de refrigeración y de líquido de revenido, por lo tanto no se generan las corrientes residuales derivadas de estos consumos (residuo contaminado

con aceite, líquido de revenido y aglutinado de lodo). La siguiente figura resume los principales aspectos ambientales del proceso de revenido del acero inoxidable.

Figura 20
ASPECTOS AMBIENTALES DEL REVENIDO DE ACERO INOXIDABLE



Fuente: Figura realizada partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

2.10. Operaciones de desengrase

Debido al uso de fluido de corte en las operaciones de deformación y mecanizado, las piezas obtenidas en estos procesos resultan impregnadas de restos de este fluido, por lo que es necesaria una etapa final de desengrase para eliminar los restos de aceite y grasas adheridas a su superficie. De esta forma, se obtiene una pieza limpia y preparada para posteriores tratamientos superficiales, como el pintado o el galvanizado.

En el proceso de desengrase se utiliza inicialmente un tanque de limpieza, normalmente agitado para aumentar el efecto limpiador, que contiene una solución desengrasante y posteriormente se enjuaga la pieza con agua.

En función de la composición de la solución desengrasante se distinguen los dos tipos de operaciones de desengrase utilizadas con más frecuencia: el desengrase químico y el desengrase electrolítico.

En el caso del **desengrase químico**, el tanque de limpieza, además de agua, puede contener dos tipos distintos de desengrasantes: disolventes y detergentes.

Los disolventes utilizados normalmente son disolventes clorados que se aplican directamente en forma líquida o mediante vapor. Los más utilizados en este proceso son los siguientes:

- Tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno
- Cloruro de metileno
- Triclorofluoroetano
- Cloroformo

Por lo que respecta a los detergentes, los elementos tensoactivos presentes en su composición permiten eliminar los aceites y grasas adheridos a la superficie de la pieza, realizándose el proceso en un medio alcalino. En este tipo de medios se encuentra usualmente la siguiente formulación:

- Sosa cáustica
- Carbonato sódico
- Fosfato trisódico 12·H₂O
- Metasilicato sódico 5·H₂O
- Humectantes
- Complejos metálicos

El otro tipo de desengrase, el **desengrase electrolítico**, consiste en someter a las piezas a un proceso de electrólisis en una solución alcalina. Las partículas presentes en dicha solución atacan a las grasas adheridas a la superficie de la pieza que actúa como cátodo, de manera que las grasas son liberadas de la superficie y se solubilizan en el baño de desengrase. En el proceso también se generan óxidos metálicos a causa de la reducción que provocan las partículas de hidrógeno. La solución alcalina se compone principalmente de:

- Sosa cáustica
- Fosfato trisódico 12·H₂O
- Gluconato sódico

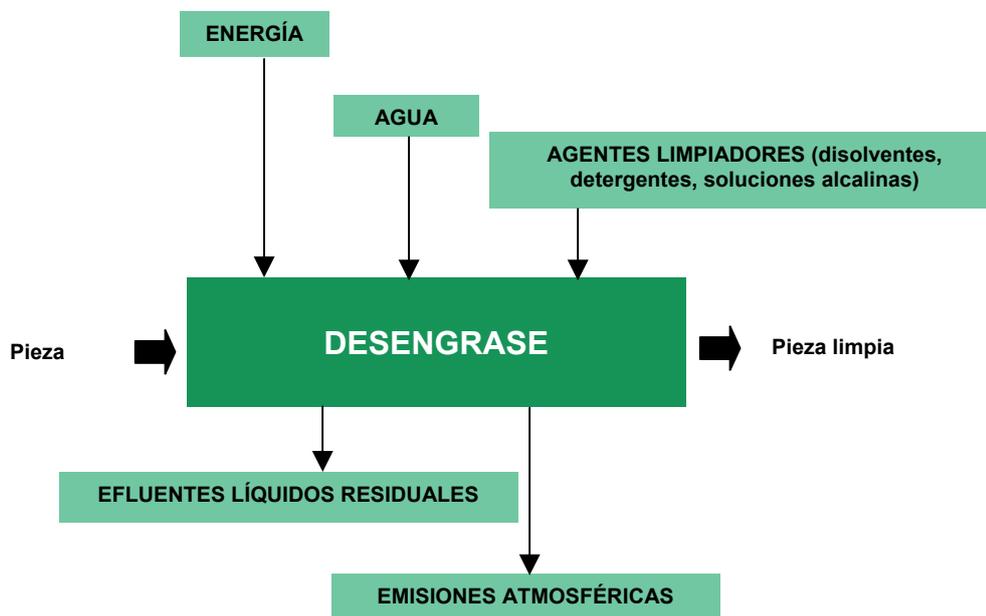
Los principales aspectos ambientales del proceso de desengrase consisten en la generación de efluentes líquidos residuales y en las emisiones a la atmósfera, tal como muestra la figura 21.

Los efluentes líquidos residuales provienen de los baños de desengrase y del enjuague con agua de la pieza una vez ha sido desengrasada. Estos efluentes, además de agua, aceites, grasas y pequeñas partículas, contienen disolventes halogenados o sales sódicas con tensoactivos, en función del tipo de desengrase efectuado.

Por otra parte, las emisiones a la atmósfera generadas contienen compuestos orgánicos volátiles (COV) debido al uso de disolventes halogenados y vapor de agua cuando el baño se realiza en caliente.

Los principales aspectos ambientales originados en el proceso de desengrase se resumen de forma esquemática en la siguiente figura.

Figura 21
ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE DESENGRASE



Fuente: Figura realizada partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

3. ASPECTOS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA DEL SUBSECTOR DEL MECANIZADO DEL METAL

Los aspectos ambientales tratados en este punto consisten en el consumo de agua, el consumo de energía, los efluentes líquidos residuales, los residuos sólidos y las emisiones atmosféricas, presentes en los procesos descritos en el punto 2 del manual. Además se ha considerado también oportuno exponer brevemente el aspecto del ruido.

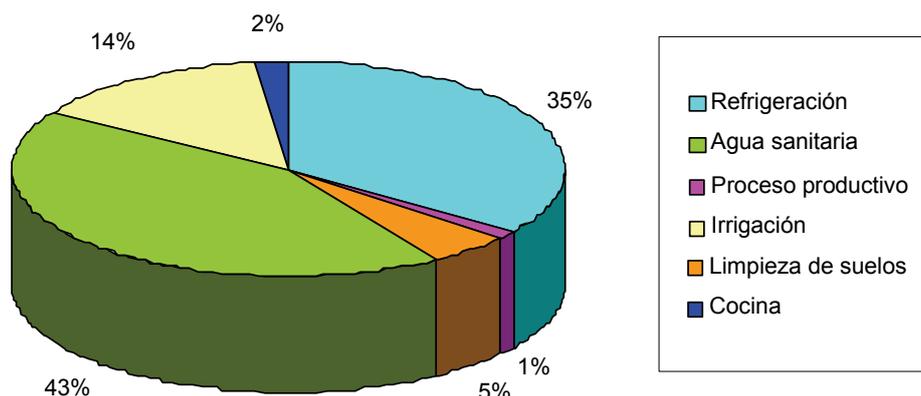
3.1. Consumo de agua

El consumo de agua en el sector del mecanizado del metal oscila sensiblemente de una empresa a otra en función de su dimensión y de la actividad llevada a cabo. El agua procede generalmente de la red pública, sin embargo, se utiliza en menor proporción agua desmineralizada para la preparación de los fluidos de corte acuosos.

El principal consumo se deriva del agua sanitaria y de refrigeración de la instalación y el resto se destina a operaciones auxiliares de limpieza de la línea y del suelo industrial, así como al proceso productivo propiamente dicho.

La siguiente figura ilustra estos consumos en una empresa del sector del mecanizado del metal que dispone además, de zona ajardinada y cocina.

Figura 22
CONSUMO DE AGUA EN UNA EMPRESA DE MECANIZADO DEL METAL (EJEMPLO)



Fuente: Figura realizada a partir de los datos de Componentes Mecánicos, S.A.

En el ejemplo resulta patente que el consumo de agua de proceso en este sector no es elevado, ya que los principales usos se asocian a actividades comunes a cualquier tipo de empresa: sanitario y refrigeración.

Por lo que respecta al agua utilizada en los procesos de conformación de piezas, su consumo se divide básicamente en:

- **Preparación de emulsiones oleosas**

Operaciones como el laminado en frío, la embutición, el taladrado y el fresado que utilizan fluido de corte en base acuosa, consumen agua desmineralizada para su preparación.

- **Tratamiento térmico**

Los tratamientos térmicos como el recocido, el temple y el revenido, en ocasiones utilizan agua en la etapa de enfriamiento de la pieza.

- **Operaciones de desengrase**

Existe consumo de agua de proceso en las etapas de lavado y desengrase de las piezas impregnadas de aceite, debido al uso extendido de fluidos de corte en las operaciones típicas del mecanizado y a la presencia de procesos de temple en aceite.

- **Refrigeración del proceso**

Los procesos en los que se genera un aumento de la temperatura, consumen agua para refrigerar transformadores, motores y maquinaria en general o bien para eliminar la carga térmica absorbida por el fluido de corte.

Cabe destacar que los consumos de agua de proceso especificados no son elevados, ya que tanto las emulsiones oleosas, como los baños de enfriamiento y de lavado suelen reutilizarse, aplicando asimismo algunas empresas técnicas para optimizar su mantenimiento y aumentando, por tanto, su vida útil.

La limpieza de la planta requiere una mención especial, siendo el consumo de agua destacado si se compara con el de agua de proceso. Las fugas, salpicaduras y derrames de fluido de corte, y las pérdidas por goteo de éste durante el trasiego de las piezas hacen necesaria una limpieza periódica del entorno de trabajo con agua y detergentes.

A continuación se muestran datos sobre consumos de agua en los procesos de laminación en frío y trefilado en frío, tanto en lo que se refiere a agua utilizada en la refrigeración del sistema, como a agua desmineralizada para la preparación de emulsiones y datos sobre consumos de agua en el recocido de acero previamente laminado en frío.

Tabla 3. Consumos de agua en el laminado en frío y trefilado en frío

PROCESO	AGUA DE REFRIGERACIÓN DEL PROCESO	AGUA DESMINERALIZADA
Laminado de aceros al carbono en laminador tándem	5 - 6,5 m ³ /t	0,014 - 0,04 m ³ /t
Laminado de aceros al carbono en trenes reversibles	3,2 - 3,5 m ³ /t	0,02 - 0,06 m ³ /t
Laminado de acero inoxidable en trenes reversibles	20 - 35 m ³ /t (el agua es recirculada)	-
Trefilado seco	No disponible (gran variación)	-
Trefilado húmedo	No disponible (gran variación)	0,02 - 0,25 m ³ /t
PROCESO	AGUA DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO DEL RECOCIDO	
Recocido continuo de aceros al carbono	23 m ³ /t	
Recocido discontinuo de aceros al carbono	5 - 10 m ³ /t	
Recocido de acero inoxidable	0,15 - 1,1 m ³ /t	

Fuente: Datos extraídos a partir de los datos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

La tabla muestra consumos reducidos de agua desmineralizada en comparación con el agua utilizada en la refrigeración del proceso, puesto que para la dilución de aceites no es preciso un consumo elevado de agua. Asimismo puede observarse la ausencia de este tipo de consumo en aquellas operaciones que no utilizan emulsiones de aceite como el trefilado en frío seco, donde el lubricante consiste en jabón más diversos aditivos y el laminado en frío de acero inoxidable que consume habitualmente aceite en vez de emulsiones.

Por lo que respecta al consumo de agua en el recocido, éste varía según el método seguido para enfriar la pieza.

3.2. Consumo de energía

Las empresas del sector utilizan dos fuentes de energía, la energía eléctrica, que constituye la fuente principal, y el gasoil o gas natural, que se utilizan como fuente secundaria.

En el proceso de fabricación, estas fuentes dan lugar a dos tipos de consumos:

- El consumo de energía eléctrica para el funcionamiento de la maquinaria utilizada en los diferentes procesos de deformación y mecanizado (trenes de laminado, máquinas trefiladoras, prensas, tornos, fresas, etc.), para equipos complementarios como lavadoras de desengrase, centrífugas para la recuperación de aceite de piezas y virutas, etc., y por último, para bombas, transmisiones, ventiladores, etc.
- El consumo de gas o fuel para los hornos y calderas utilizados en los tratamientos térmicos.

A continuación se muestran los consumos de energía en los procesos de laminado en frío y recocido posterior.

Tabla 4. Consumos de energía en el laminado en frío

PROCESO	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	CONSUMO DE ENERGÍA POR VAPOR
Laminado de aceros al carbono en laminador tándem	0,2 - 0,3 GJ/t	0,01 - 0,03 GJ/t
Laminado de aceros al carbono en trenes reversibles	0,24 - 0,245 GJ/t	-
Laminado de acero inoxidable en trenes reversibles	0,6 - 0,8 GJ/t	-

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

Tabla 5. Consumos de energía en el recocido posterior al laminado en frío

PROCESO	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	CONSUMO DE ENERGÍA CALÓRICA
Recocido discontinuo del laminado en frío de aceros al carbono	0,06 - 0,12 GJ/t	0,62 - 0,75 GJ/t
Recocido continuo del laminado en frío de aceros al carbono	0,173 - 0,239 GJ/t	0,775 - 1,483 GJ/t
Recocido del laminado en frío de acero inoxidable	0,3 - 0,4 GJ/t	1,0 - 1,5 GJ/t

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

En la tabla 4 puede observarse un consumo de energía adicional en forma de vapor en el laminado de aceros al carbono del laminador tándem, debido al calentamiento de la emulsión, si bien esta operación no siempre se realiza.

3.3. Efluentes líquidos residuales

Los efluentes líquidos residuales generados en el subsector del mecanizado del metal tienen una composición variable según el proceso en el que se generan, aunque habitualmente se caracterizan por la elevada presencia de aceites y grasas, sólidos en suspensión y materia orgánica disuelta o no, procedentes del uso de fluidos de corte. En general pueden clasificarse en::

- Efluentes líquidos residuales de los procesos de deformación y mecanizado: los fluidos de corte agotados

Como se describe en el capítulo 2 del manual, en la mayoría de técnicas de deformación y las operaciones de mecanizado en general, destaca como característica principal el uso de fluidos oleosos para lubricar y refrigerar el sistema.

A continuación se muestra información sobre consumos de este tipo de fluido en procesos de deformación como laminado en frío y trefilado en frío, y tipologías del fluido consumido.

Tabla 6. Consumo de fluido para la conformación metálica en diversos procesos

PROCESO	CONSUMO DE FLUIDO	TIPO DE FLUIDO	SALIDA DE EMULSIÓN RECICLADA INTERNAMENTE
Laminado de aceros al carbono (tándem)	0,3 - 2 kg/t ¹	Aceite de laminación	5.000 - 13.200 kg/t
	0,014 - 0,04 m ³ /t	Agua desmineralizada	
Laminado de aceros al carbono (reversible)	0,1 - 0,11 kg/t	Aceite de laminación	8,5 - 9, 0 m ³ /t
	0,02 - 0,06 m ³ /t	Agua desmineralizada	
Laminado de acero inoxidable (reversible)	1,5 - 6,0 l/t	Aceite mineral	-
Trefilado en seco	1 - 4 kg/t	Jabón alcalino + aditivos	-
Trefilado húmedo	1 - 10 kg/t	Emulsión de jabón preformulado o aceite	20 - 250 l/t ²
	20 - 250 l/t	Agua de dilución	
¹ El dato incluye el consumo de aceite de la línea de decapado.			
² El dato incluye el lodo eliminado por filtrado/decantación.			

Fuente: Datos extraídos del Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

Respecto a los datos de la tabla, no aparecen valores de salida de emulsión reciclada internamente en el laminado de acero inoxidable y trefilado seco, ya que no se añade agua al lubricante utilizado en dichos procesos.

Con el tiempo, el fluido de corte utilizado en los procesos de deformación y mecanizado pierde las propiedades que poseía inicialmente y se contamina con aceites externos, lubricantes, aceites hidráulicos, partículas sólidas, microorganismos, polvo, etc. que reducen su eficacia. Para mantener la calidad de éste y alargar su vida útil, es necesario su control y mantenimiento y el reemplazo por fluido de corte nuevo cuando su naturaleza física y química se degrada de tal manera que no puede cumplir las funciones básicas para las que fue aplicado. Este proceso genera un residuo final, el fluido de corte agotado, que puede ser tratado en la propia empresa, aunque normalmente se almacena en bidones para ser recogido posteriormente por una empresa autorizada y ser tratado.

Como se ha descrito en el punto 2.2. del manual, los fluidos de corte contienen aditivos que, o bien son sustancias peligrosas para el medio ambiente, o son precursoras de alguna sustancia que lo sea.

Los contaminantes habituales presentes en los fluidos de corte se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 7. Contaminantes habituales en la composición de los fluidos de corte

TIPO DE FLUIDO DE CORTE	CONTAMINANTES
Aceite de corte	Metales pesados ¹ Partículas metálicas ¹ Parafinas cloradas Aceites azufrados, fosforados y sulfoclorados Compuestos policíclicos
Fluido de corte acuoso	Metales pesados ¹ Partículas metálicas ¹ Nitritos ² Aminas Derivados del boro Hidrocarburos solubilizados Aceites libres Fenoles
¹ Los metales pesados y partículas metálicas son contaminantes presentes en el fluido de corte como consecuencia del proceso y no inherentes al fluido. ² Los nitritos no se emplean actualmente como compuesto inicial, sino que se generan por la degradación de las aminas.	

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

El impacto ambiental de los fluidos de corte agotados se genera por la emisión a la atmósfera de partículas contaminantes por incineración y por los vertidos de aguas residuales que contienen estos fluidos. En este último caso, los fluidos de corte acuosos o taladrinas son más problemáticos, ya que al dispersarse con facilidad en medio acuoso transmiten a este medio los contaminantes presentes en su composición. Los aceites de corte, en cambio, no son solubles en medio acuoso, aunque un contacto prolongado con agua favorece la dispersión de parte de sus contaminantes. Además, en medio acuoso los aceites presentes en los fluidos de corte se disponen en la capa superficial del fluido dificultando la oxigenación de éste y favoreciendo el crecimiento de bacterias anaeróbicas.

La tabla siguiente resume de forma general los principales impactos ambientales asociados a los fluidos de corte.

Tabla 8. Principales impactos ambientales de los fluidos de corte

ASPECTO AMBIENTAL DE LOS FLUIDOS DE CORTE	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS FLUIDOS DE CORTE
Emisión a la atmósfera	Contaminación atmosférica
Vertidos de aguas residuales	Contaminación de ecosistemas acuáticos
Fugas y salpicaduras	Contaminación de suelos

Cabe destacar que una parte del fluido de corte se pierde a través de fugas y salpicaduras, arrastres en piezas y virutas y nieblas de aceite.

Las fugas y salpicaduras pueden tener una importancia variable dependiendo de las características de la maquinaria y equipamiento de las instalaciones. Las fugas, en concreto, se deben a fallos en el plan de mantenimiento del sistema de suministro de fluido de corte o a la inexistencia de éste, y provocan contaminación del suelo industrial.

Las salpicaduras, por otro lado, se originan por las altas velocidades a las que se producen los procesos de deformación y mecanizado, que proyectan determinadas cantidades de fluido de corte fuera de la máquina o herramienta. Este efecto se ve agravado en caso de ausencia de carenados en las máquinas aunque, en general, las más modernas suelen incorporar algún sistema de retención en su estructura. Los aceites de corte, al ser más viscosos, se adhieren con mayor facilidad a la superficie de la pieza y de la herramienta, por lo que generan menos salpicaduras que los fluidos de corte acuosos.

Por otra parte, el arrastre de fluido de corte en piezas y virutas provoca también una pérdida de este fluido, efecto que se ve agravado por la complejidad en la estructura de algunas piezas y la posición de éstas durante los procesos de mecanizado. A diferencia del fenómeno de las salpicaduras, los arrastres de fluido de corte en piezas y virutas son más importantes cuanto mayor es la viscosidad del fluido, por lo que este efecto cobra especial protagonismo con la utilización de aceites de corte.

A continuación se muestra la proporción de fluido de corte en cada una de las corrientes residuales.

Tabla 9. Distribución de las pérdidas de fluido de corte

ASPECTO AMBIENTAL	% DEL FLUIDO DE CORTE INICIAL	
	FLUIDO DE CORTE ACUOSO	ACEITE DE CORTE
Fluido de corte agotado	15 - 25	40 - 65
Fugas	30 - 40	1 - 5
Salpicaduras		
Arrastres	30 - 35	30 - 35
Nieblas de aceite	1	4 - 6

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

- Efluentes líquidos residuales procedentes del sistema de refrigeración

La mayoría de empresas del sector utilizan un circuito cerrado para minimizar el consumo de agua de refrigeración. Por lo tanto, los efluentes residuales generados en este proceso proceden de la purga que se realiza para el correcto mantenimiento del agua. En cualquier caso, el volumen de agua que se evacua es reducido.

Para poder reutilizar el agua de refrigeración mediante circuitos cerrados, ésta debe ser enfriada y tratada. El enfriamiento se realiza mediante torres de refrigeración, intercambiadores de calor o torres de refrigeración híbridas. Posteriormente, el agua es tratada para evitar su degradación mediante inhibidores de corrosión, estabilizadores de dureza, dispersantes y biocidas, por lo que la composición del agua evacuada periódicamente se caracteriza por la presencia de dichos elementos.

En caso de que la refrigeración del sistema se realice mediante un circuito abierto o la aplicación directa de emulsión sobre las piezas y la maquinaria, el efluente líquido resultante tiene las mismas características que los efluentes de proceso descritos anteriormente, es decir, contiene aceites y grasas procedentes del uso de fluidos de corte y virutas, partículas metálicas, partículas de polvo, etc. que se hayan podido arrastrar en el proceso.

- Efluentes líquidos residuales de los procesos de desengrase

Los efluentes líquidos residuales procedentes de las operaciones de desengrase se caracterizan por una composición que varía según el tipo de desengrasante utilizado, ya sean disolventes halogenados o desengrasantes acuosos en medio básico.

En el caso del desengrase con disolventes halogenados contiene, además de los disolventes, grasas, partículas metálicas, etc. presentes en las piezas antes de su desengrase.

Por otro lado, las aguas que provienen del desengrase mediante desengrasantes acuosos en medio básico, contienen, además de grasas y aceites, sales sódicas como hidróxidos, carbonatos, fosfatos y metasilicatos y también elementos tensoactivos y complejantes (EDTA, NTA, etc.) de naturaleza orgánica.

El volumen de efluentes residuales generados en el proceso de desengrase, puede reducirse mediante la regeneración de las soluciones utilizadas. Dichas soluciones suelen ser recicladas al proceso a través de un circuito cerrado, pero periódicamente deben ser evacuadas al perder sus propiedades limpiadoras. El efluente residual obtenido de los procesos de desengrase debe tratarse, dado su contenido en detergentes y disolventes.

- Aguas residuales del proceso de limpieza de las instalaciones

La composición de las aguas residuales producidas en las operaciones auxiliares de limpieza de las instalaciones, se caracteriza por la presencia de aceites procedentes de fugas o salpicaduras de fluido de corte, además de los detergentes utilizados.

Cabe destacar que únicamente un pequeño porcentaje de empresas del sector disponen de estación depuradora, normalmente fisicoquímica, para tratar las aguas residuales que generan. En general, las operaciones realizadas en estas estaciones consisten en la homogeneización de los efluentes residuales y en la decantación de metales disueltos mediante un coagulante o floculante. Estos procesos generan unos lodos, gestionados normalmente por empresas externas, habiendo reducido previamente su porcentaje de humedad mediante un filtro prensa o una centrifugadora.

A continuación se muestra una tabla con los valores de aguas residuales generadas en procesos de laminado en frío y recocido.

Tabla10. Aguas residuales de diversos procesos

PROCESO	AGUA RESIDUAL	OBSERVACIONES
Laminado de aceros al carbono (tándem)	0,003 - 0,015 m ³ /t	Procedente del mantenimiento de la emulsión
Laminado de aceros al carbono (reversible)	0,006 - 0,07 m ³ /t	Procedente del mantenimiento de la emulsión
Recocido discontinuo del laminado en frío de aceros al carbono	2,04 E-4 m ³ /t	Agua contaminada con aceite (desechada)
Recocido continuo del laminado en frío de aceros al carbono	0,118 m ³ /t	
Recocido del laminado en frío de acero inoxidable	0,4 - 0,5 m ³ /t	Incluye agua utilizada en el decapado

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.*

A continuación se exponen datos referentes a la evacuación de agua total de una planta de laminación en frío, es decir, considerando, la suma del agua residual procedente de las diferentes operaciones (laminado, recocido, desengrase, etc.).

Tabla 11. Aguas residuales en una planta de laminación en frío (ejemplo)

	PLANTA DE LAMINADO EN CONTINUO DE ACERO AL CARBONO	PLANTA DE LAMINADO REVERSIBLE DE ACERO AL CARBONO	PLANTA DE LAMINADO REVERSIBLE DE ACERO INOXIDABLE
Evacuación de aguas residuales	0 - 40 m ³ /t	0 - 6 m ³ /t	(~0) - 35 m ³ /t
Evacuación de aguas residuales del proceso de tratamiento de aguas residuales (excluida la refrigeración sin recirculación)	0 - 12 m ³ /t	–	–
Total sólidos en suspensión	7 - 120 mg/l 3 - 520 g/t	(~0) - 2.210 mg/l (~0) - (~160) g/t	0 - 60 mg/l 0 - (~180) g/t
DQO	19 - 5.300 mg/l	15 - 100 mg/l	10 - 2.000 mg/l

Fuente: Datos extraídos del *Documento de Referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

La tabla muestra la disminución del volumen de agua residual generada en el laminado en continuo de acero al carbono, cuando esta agua es tratada y por tanto, una parte recirculada al sistema, reduciéndose así el consumo de agua nueva.

3.4. Residuos sólidos

Los procesos de deformación y mecanizado, generan diversidad de residuos sólidos que pueden clasificarse en:

- Materia prima desechada
- Lodos
- Medios de filtrado con aceite o disolvente
- Trapos sucios
- Muelas y material de esmerilado usado
- Cartón, plástico y madera de embalaje

3.4.1. Materia prima desechada

Durante los procesos de deformación y mecanizado se generan residuos que provienen de la materia prima utilizada, como recortes, chatarra, limaduras y virutas, etc. Estos residuos se pueden aprovechar en la propia empresa como materia prima o en otras empresas como subproductos, separándolos previamente según su composición.

El principal problema para la reutilización de estos residuos radica en el hecho de que suelen ir impregnados de fluido de corte, por lo que es necesario separar previamente el aceite de los residuos metálicos para su posterior uso. Sin embargo si se ha trabajado con fluido de corte especialmente

viscoso, aunque el período de decantación sea prolongado, el fluido de corte puede representar todavía de un 30 a un 40% del peso de la viruta, según la geometría de ésta.

Por último, el residuo metálico suele ser gestionado por recuperadores de chatarra y se recicla principalmente en las acerías.

La producción de este tipo de residuos depende del proceso y del producto final realizado en la empresa, pero en general representa el porcentaje más elevado de los residuos generados.

3.4.2. Lodos

Es posible distinguir diferentes tipos de lodos según el proceso en el que se hayan generado, aunque su composición es similar debido al uso de fluidos de corte en la mayoría de operaciones.

Una clase de lodos proviene de los procesos de regeneración de los fluidos de corte utilizados en las operaciones de deformación y mecanizado cuyo tratamiento final suele ser la incineración. La siguiente fotografía muestra el lodo obtenido de la limpieza, mediante un filtro de papel, del fluido de corte que se reintroduce en el sistema.

Fotografía 3

LODO OBTENIDO DE LA REGENERACIÓN DEL FLUIDO DE CORTE



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

Por otra parte, los procesos de depuración de aguas residuales generan un lodo procedente de la purga de las instalaciones de tratamiento de esta agua, con un alto contenido en aceite.

Otra clase de residuo generado son los lodos procedentes de la regeneración de disolventes halogenados utilizados en las operaciones de desengrase, explicadas en el apartado 2.10. del manual.

Finalmente, aquellos procesos de mecanizado que emplean herramientas con una geometría no definida como por ejemplo las operaciones de rectificado, producen unos lodos que contienen pequeñas partículas metálicas arrancadas de la pieza, fluido de corte y material abrasivo. La composición de estos lodos es muy variable, ya que el fluido de corte puede llegar a representar hasta un 50% de su peso, sin embargo en otras ocasiones se encuentra en proporciones reducidas, frente a porcentajes de material abrasivo o de partículas metálicas de hasta un 75 y un 90% respectivamente.

A continuación se muestra una tabla con datos sobre el aglutinado de lodo generado en procesos de laminado en frío, revenido y recocido.

Tabla 12. Aglutinado de lodo en diferentes procesos

PROCESO	AGLUTINADO DE LODO
Laminado de aceros al carbono (tándem)	0,9 - 1,5 kg/t
Laminado de aceros al carbono (reversible)	1,9 - 2,0 kg/t
Recocido continuo del laminado en frío de aceros al carbono	0,018 - 0,047 kg/t
Revenido del laminado en frío de acero de alta y baja aleación	2,0 - 4,0 kg/t

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

El lodo de los procesos de laminado se genera en la limpieza de las emulsiones utilizadas. El lodo obtenido del recocido se deriva del uso de agentes de laminación de revenido húmedo necesarios para las pasadas de desbaste previas al recocido y al uso de aceite anticorrosivo. Por último, el aglutinado de lodo de los procesos de revenido del laminado en frío proviene del uso de soluciones al 5% de agentes de laminación de revenido húmedo.

Los lodos no deben ser vertidos sin un tratamiento previo, dado que los elementos presentes en su composición pueden ocasionar la contaminación del suelo y afectar también a las aguas subterráneas y superficiales al ser filtrados o arrastrados por aguas de lluvia. En la tabla 13 se pueden observar los diferentes tratamientos que reciben los lodos según su composición.

3.4.3. Otros residuos

Otros tipos de residuos generados en los procesos descritos en el manual son:

- Filtros utilizados en el mantenimiento del fluido de corte, en los sistemas de extracción de partículas y en la filtración del disolvente usado en las operaciones de desengrase. Para reducir la generación de este residuo se puede trabajar con filtros reutilizables.
- Trapos utilizados en procesos de limpieza.
- Muelas y material de esmerilado usado.
- Residuos generales de fábrica como son los cartones, plásticos y maderas que proceden del embalaje de la materia prima.

Seguidamente, se muestra una tabla que recoge los residuos mencionados según la clasificación proporcionada por el Catálogo europeo de residuos (CER).

Tabla 13. Residuos del moldeo y tratamiento físico y mecánico de superficie de metales

Actividad	Tipo de residuo	CER	Clase	POSIBLES VÍAS DE GESTIÓN	
				Valorización	Tratamiento y deposición del rechazo
PROCESOS DE DEFORMACIÓN Y MECANIZADO	Limaduras, virutas, polvo y partículas de metales féreos	12 01 01 12 01 02	No peligroso	Reciclaje y recuperación de metales o compuestos metálicos	- Deposición de residuos no especiales
	Aceites minerales de mecanizado que contienen halógenos (excepto las emulsiones o disoluciones)	12 01 06	Peligroso	-	- Incineración de residuos halogenados - Tratamiento por evaporación
	Aceites minerales de mecanizado sin halógenos (excepto las emulsiones o disoluciones)	12 01 07	Peligroso	Regeneración de aceites minerales	- Incineración de residuos no halogenados
	Emulsiones y disoluciones de mecanizado que contienen halógenos	12 01 08	Peligroso	Regeneración de aceites minerales	- Incineración de residuos halogenados - Tratamiento por evaporación
	Emulsiones y disoluciones de mecanizado sin halógenos	12 01 09	Peligroso	Regeneración de aceites minerales	- Incineración de residuos no halogenados - Tratamiento por evaporación - Tratamiento fisicoquímico y biológico
	Aceites sintéticos de mecanizado	12 01 10	Peligroso	Regeneración de aceites minerales	- Incineración de residuos no halogenados - Incineración de residuos halogenados - Tratamiento por evaporación
	Lodos de mecanizado que contienen sustancias peligrosas	12 01 14	Peligroso	Reciclaje y recuperación de metales o compuestos metálicos	- Tratamiento por evaporación - Incineración de residuos no halogenados - Incineración de residuos halogenados - Estabilización - Deposición de residuos especiales
	Lodos de mecanizado distintos de los especificados en el código 12 01 14	12 01 15	No peligroso	-	- Tratamiento por evaporación - Incineración de residuos no halogenados - Estabilización - Deposición de residuos especiales
	Lodos metálicos (lodos de esmerilado, rectificado y lapeado) que contienen aceites	12 01 18	Peligroso	Regeneración de aceites minerales Reciclaje y recuperación de metales o compuestos metálicos	- Incineración de residuos no halogenados
	Aceites de mecanizado fácilmente biodegradables	12 01 19	Peligroso	Regeneración de aceites minerales	-
	Muelas y materiales de esmerilado usados que contienen sustancias peligrosas	12 01 20	Peligroso	-	- Deposición de residuos especiales
	Muelas y materiales de esmerilado usados distintos de los especificados en el código 12 01 20	12 01 21	No peligroso	-	

				POSIBLES VÍAS DE GESTIÓN	
Actividad	Tipo de residuo	CER	Clase	Valorización	Tratamiento y deposición del rechazo
PROCESOS DE DESENGRASE	Líquidos acuosos de limpieza	12 03 01	Peligroso	–	- Tratamiento fisicoquímico y biológico - Tratamiento por evaporación - Incineración de residuos no halogenados
	Residuos de desengrase al vapor	12 03 02	Peligroso	–	- Tratamiento por evaporación - Incineración de residuos no halogenados
	Otros disolventes y mezclas de disolventes halogenados	14 06 02	Peligroso	Regeneración de disolventes Utilización como carga en otros procesos	- Incineración de residuos halogenados
	Otros disolventes y mezclas de disolventes	14 06 03	Peligroso	Regeneración de disolventes Utilización como carga en otros procesos	- Incineración de residuos no halogenados
	Residuos de desengrasado que contienen sustancias peligrosas	11 01 13	Peligroso	Regeneración de ácidos o bases	- Tratamiento fisicoquímico y biológico
	Residuos de desengrasado distintos a los especificados en el código 11 01 13	11 01 14	No peligroso		

Fuente: Datos extraídos del *Catálogo europeo de residuos (CER)* y del *Catálogo de residuos de Cataluña*.

3.5. Emisiones a la atmósfera

Las emisiones producidas por los procesos descritos en el manual pueden agruparse principalmente en:

- Nieblas de aceite y partículas volátiles derivadas del uso de fluido de corte

Las emisiones más destacables de los procesos que utilizan fluidos de corte son las nieblas de aceite. En estas operaciones, la elevada velocidad de giro alcanzada por las máquinas y/o herramientas, unida a la presión de suministro de fluido de corte provocan la formación de gotas microscópicas o aerosoles de aceite que se dispersan en la atmósfera.

Además, el fluido de corte contiene hidrocarburos que se pueden volatilizar por el calor absorbido durante el proceso. Este fenómeno suele producirse por la utilización de compuestos alifáticos y naftalénicos.

En ambos casos existe un riesgo ambiental derivado de la ingesta de estas partículas por vía respiratoria, con el consiguiente peligro para la salud.

- Compuestos orgánicos volátiles y vapor de agua de los procesos de desengrase

Otra de las emisiones que debe ser considerada es la de compuestos orgánicos volátiles (COV), derivados del uso extendido de disolventes halogenados en los procesos de desengrase por su elevada eficacia. Estos compuestos presentan una temperatura de volatilización próxima a la temperatura ambiente, por lo que suelen evaporarse con facilidad.

Las operaciones de desengrase, además, generan emisiones difusas de vapor de agua a la atmósfera en aquellos casos en que los baños se realizan en caliente. Las emisiones varían según la temperatura y la densidad de la solución utilizada, tal como se muestra en la siguiente tabla. Los valores indicados son orientativos del agua perdida por evaporación, puesto que los valores exactos dependen de las características concretas de cada solución.

Tabla 14. Evaporación de agua procedente de los baños de desengrase

DENSIDAD (g/cm ³)	TEMPERATURA (°C)	VALOR DE EVAPORACIÓN (l·m ² /h)
1	50	1
	70	9
	90	23

Fuente: Datos extraídos del *Manual de ecogestión nº 6. Prevención de la contaminación en el sector del tratamiento de superficies*, Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña, 2002.

- Emisiones procedentes de los hornos de los tratamientos térmicos
Las emisiones procedentes de la combustión de los hornos de recocido consisten, generalmente, en hidrocarburos, SO₂, NO_x, CO y CO₂.
- Partículas producidas en el proceso de mecanizado derivadas del desgaste de rodillos, hierro en polvo, etc.

Según lo expuesto anteriormente, las nieblas y emisiones afectan al entorno de trabajo, por lo que algunas empresas disponen de captadores de polvo, extractores, aspiradores y sistemas similares para recoger estas partículas, incluso filtros y ciclones para eliminar las partículas sólidas del proceso de mecanizado que suelen estar incorporados en la misma máquina. Mediante estos equipos se reduce el impacto de las nieblas sobre la salud de las personas.

La siguiente tabla muestra el volumen de emisiones producidas en los procesos de laminado en frío y su composición. Puede observarse que la emisión de partículas de aceite puede llegar a ser muy elevada en comparación con las emisiones de polvo e hidrocarburos.

Tabla 15. Emisiones del proceso de laminado en frío

PROCESO	AIRE RESIDUAL	EMISIONES AL AIRE		
		POLVO	HC	ACEITE
Laminado de aceros al carbono (tándem)	1.800 - 2.000 m ³ /t	96 g/t	7 g/t	0,6 - (~150) g/t
		10 - 50 mg/m ³	5 - 20 mg/m ³	0,1 - 15 (34)* mg/m ³
Laminado de aceros al carbono (reversible)	180 - 850 m ³ /t	-	8,4 - 10,1g/t	0,4 - (~150)g/t
			10 - 12 mg/m ³	0,1 - ~6 mg/m ³
Laminado de acero inoxidable (reversible)	3.000 - 12.000 m ³ /t	-	-	50 - 80g/t
				10 - 20 mg/m ³

* Cifra extrema

Fuente: Datos extraídos a partir del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

3.6. Ruido

Habitualmente, el ruido es frecuente en los talleres de deformación y mecanizado, a causa de la manipulación de productos como bandas y perfiles de gran diámetro, de los ventiladores de extracción de los hornos y de los quemadores de éstos, y del funcionamiento de la maquinaria al cortar, perforar, laminar o en general conformar las piezas.

Estas operaciones suelen realizarse en el interior de una nave, por lo que el impacto fuera de ésta queda minimizado, y el ruido generado raramente resulta un problema en el exterior. En casos concretos, como cuando existen fuentes de ruido fuera de la nave, ya sean instalaciones de ventilación o instalaciones auxiliares y el proceso, además, se sitúa cerca de una zona residencial, se deben tomar medidas para reducir este impacto.

Estas medidas consisten por una parte, en el revestimiento de paredes y techos mediante la instalación de aislantes acústicos naturales de madera aglomerada o bien placas de yeso, de espuma de polietileno expandido o de lana de roca. Por otra parte, se pueden aplicar medidas a los equipos de trabajo para reducir el ruido producido por los golpes de prensas y el mecanizado de la pieza tales como pantallas acústicas, silenciadores y cerramientos, sin embargo, la normativa aplicable a máquinas nuevas exige un diseño que reduzca al máximo la emisión de ruido y vibraciones.

Finalmente, el ruido generado repercute claramente en la salud de los trabajadores de la fábrica, de manera que complementariamente a las medidas anteriores, puede ser necesario tomar precauciones para proteger a los empleados a través de equipos de protección individual como protectores auditivos (tapones, orejeras) o cascos antirruído.

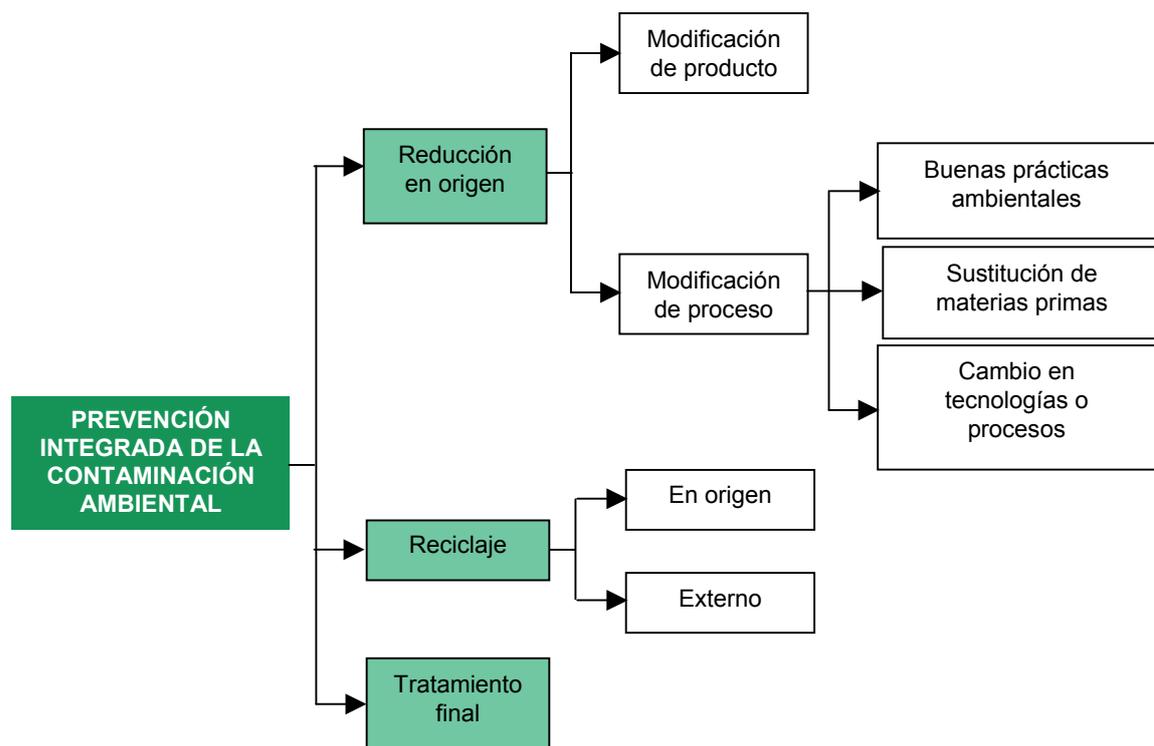
4. OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Los procesos productivos desarrollados en la actividad industrial generan una serie de impactos ambientales que pueden comportar un riesgo para el medio ambiente y la salud de las personas. Para minimizar dichos impactos se pueden aplicar una serie de oportunidades de prevención integrada de la contaminación que aportan diversos beneficios ambientales.

La estrategia de prevención de la contaminación en la empresa implica la implantación de un conjunto de acciones encaminadas a prevenir y reducir la contaminación que pueden clasificarse tal como se muestra a continuación.

Figura 23

CLASIFICACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN INTEGRADA DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL



En primer lugar, las alternativas denominadas de reducción en origen de la contaminación tienen como objetivo evitar, o en su defecto, disminuir tanto en cantidad como en peligrosidad, las corrientes residuales antes de su generación, hecho que se consigue mediante la modificación de la composición del producto o bien a través de cambios en el proceso productivo.

En cambio, las oportunidades de reciclaje no actúan sobre el origen del residuo, sino que consisten en la reutilización de una corriente residual una vez ya ha sido generada. Dicho residuo se puede reutilizar en el mismo centro productivo, tratándose entonces de una alternativa de reciclaje en origen o en otro centro distinto, alternativa conocida como de reciclaje externo. En este último grupo de oportunidades, se consideran también las referentes a la recuperación de un recurso material o energético presente en el residuo (valorización).

Por último, el tratamiento final de residuos hace referencia a cualquier método, técnica o proceso que modifique las características de un residuo con el objetivo de neutralizarlo o convertirlo en un residuo inerte, es decir, que resulte menos peligroso, que sea apto para su almacenaje, o bien que se reduzca en volumen.

De entre las oportunidades expuestas, únicamente la reducción y el reciclaje en origen se consideran alternativas de minimización de residuos ya que efectivamente generan una disminución en la producción de éstos.

A continuación se enumeran las oportunidades de prevención integrada de la contaminación para el subsector del mecanizado del metal descritas en el presente manual.

Tabla 16. Relación de oportunidades de prevención integrada de la contaminación

OPORTUNIDAD DE PREVENCIÓN INTEGRADA DE LA CONTAMINACIÓN	
OPP-1	Rediseño de la pieza
OPP-2	Impartición de un plan formativo para trabajadores
OPP-3	Establecimiento de un plan de control del fluido para deformación y corte de metales
OPP-4	Diseño y ejecución de un plan de mantenimiento del circuito de suministro del fluido para deformación y corte de metales
OPP-5	Compatibilización de productos de fluidos de corte
OPP-6	Desinfección del circuito de suministro de fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte de metales
OPP-7	Aireación del fluido utilizado en los procesos de deformación y corte de metales
OPP-8	Optimización del posicionamiento de la pieza durante el mecanizado
OPP-9	Optimización de las condiciones de aplicación de fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte de metales
OPP-10	Sustitución del fluido de corte por otros menos contaminantes
OPP-11	Sustitución de agentes de desengrase por otros menos peligrosos
OPP-12	Minimización de las creces de material
OPP-13	Mecanizado en seco
OPP-14	Mecanizado utilizando la mínima cantidad de lubricante (tecnología MQL)
OPP-15	Depósito centralizado de suministro de fluido para la deformación y corte de metales
OPP-16	Carenado de máquinas
OPP-17	Laminación en continuo en lugar de laminación en discontinuo convencional para acero de baja aleación y acero aleado
OPP-18	Recocido discontinuo 100% con hidrógeno
OPP-19	Utilización de quemadores de bajo nivel de NO _x para la reducción de las emisiones de NO _x en hornos de recocido
OPP-20	Reutilización de los gases residuales para el precalentamiento del aire de combustión en hornos de recocido
OPP-21	Reintroducción del fluido de corte procedente del escurrido de piezas y virutas al sistema
OPP-22	Limpieza y reutilización de los fluidos utilizados en los procesos de deformación y corte de metales
OPP-23	Limpieza y reutilización de la solución desengrasante alcalina
OPP-24	Uso de material filtrante reutilizable
OPP-25	Implantación de equipos auxiliares de separación de fluido de corte de piezas y virutas
OPP-26	Implantación de equipos auxiliares de extracción de nieblas y otras emisiones ambientales
OPP-27	Tratamiento de fluidos de deformación y corte o baños de desengrase consumidos

4.1. Modificación de producto

Dentro de este grupo se incluyen aquellas alternativas que suponen una readaptación de las propiedades de los productos fabricados, teniendo en cuenta los recursos (agua, energía y materiales) que se requieren y los impactos ambientales que se generan, desde que se comienza la fabricación del producto hasta su disposición final.

OPC-1: Rediseño de la pieza	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (torneado, fresado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Arrastre de fluido de corte en piezas y virutas.	
Descripción: Esta alternativa consiste en optimizar el diseño de la pieza con el objetivo de que su geometría ofrezca unas posibilidades de arrastre de fluido de corte mínimas. Esto se consigue evitando rebordes y cantos innecesarios en la morfología de la pieza que favorecen la retención del fluido.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del arrastre de fluido de corte en piezas y virutas y, en consecuencia, mejora de la calidad de éstas. - Reducción del consumo de fluido de corte. - Reducción de la necesidad de desengrase y limpieza de las piezas. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de compatibilizar la geometría adecuada para minimizar el arrastre de fluido con la funcionalidad de la pieza conformada.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del impacto ambiental derivado de la manipulación de piezas y virutas impregnadas de fluido de corte. - Reducción del impacto ambiental procedente de las operaciones de desengrase de las piezas (consumo de agua y desengrasantes, tratamiento de la solución desengrasante). 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en I+D para el rediseño de la pieza. - Reducción de costes en consumo de fluido de corte y operaciones de desengrase.

4.2. Buenas prácticas ambientales

Las buenas prácticas ambientales consisten en cambios en la gestión, control y organización de los procesos y actividades industriales, así como en la actuación del personal laboral de la empresa, encaminados a la minimización de residuos y emisiones. Este tipo de prácticas suelen caracterizarse por su sencilla aplicación y bajo coste, a la vez que requieren una implicación y cambio de actitud de todo el personal.

OPC-2: Impartición de un plan formativo para trabajadores	
Proceso donde se aplica: Todos los procesos.	
Aspecto ambiental afectado: Todos los aspectos ambientales.	
Descripción: Los planes formativos se basan en la concienciación sobre la problemática ambiental asociada a la actividad de la empresa con el fin de que los trabajadores sean capaces de identificar y reconocer los impactos ambientales relacionados con su puesto de trabajo y adquieran conocimiento de las instrucciones y procedimientos adecuados para minimizarlos.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora del funcionamiento del sistema. - Mejora en la aplicación de medidas de prevención de la contaminación. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Formación del personal de la empresa. - Necesidad de concienciación e implicación por parte de los trabajadores.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la generación de impactos ambientales en general. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en formación del personal. - Reducción de costes al mejorar el funcionamiento del proceso y disminuir las corrientes residuales generadas.
Ejemplos de aplicación: Una empresa de mecanizado de latón y aluminio para la obtención de piecerío destinado a equipos de pintado y similares implantó un plan formativo de buenas prácticas en proceso para gestionar correctamente el disolvente clorado (percloroetileno) utilizado en el desengrase. Este compuesto, ocasionalmente y por error, se vertía junto con el fluido de corte agotado, hecho que imposibilitaba un tratamiento específico para este residuo y aumentaba los costes generados en gestión de residuos. La empresa invirtió 2.100 € en un sistema de identificación y señalización de la planta y en 10 bidones donde depositar el disolvente residual, además de 1.500 € en un curso de formación a operarios. La medida, con un periodo de amortización de 7 meses, permitió reducir los costes anuales en gestión de residuos en aproximadamente 5.100 €. (Fuente: IHOBE)	

OPC-3: Establecimiento de un plan de control del fluido para deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte (laminación en frío, fresado, torneado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido y fluido agotado.	
Descripción: Esta alternativa consiste en el control periódico de un conjunto de parámetros que definen la calidad del fluido utilizado en los procesos de conformación de metales y, por tanto, informan de su estado de degradación y contaminación, con el objetivo de ejecutar las medidas correctoras más adecuadas. Los parámetros a controlar varían según la naturaleza del fluido (aceite de corte, fluido de corte acuoso, emulsiones de laminación, etc.).	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la vida útil del fluido: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aceite de corte → puede superar los 8 años. ▪ Fluidos de corte acuoso → entre 6 meses (depósito de suministro individual) y 2 años (depósito de suministro centralizado). - Evita paros de producción imprevistos para cambiar el fluido. - Disminución del riesgo de afección a los trabajadores. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de definir un plan de medidas correctoras según los resultados obtenidos en el control de la calidad del fluido. - Necesidad de una reorganización interna del proceso de control del fluido y establecimiento de responsabilidades. - Posibilidad de subcontratación de las operaciones de control debido a la variedad de medios técnicos requeridos para la valoración de cada parámetro.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de fluidos de corte y agua. - Reducción de la producción de residuos hasta en un 60%. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de costes debidos a los consumos y gestión de residuos anteriores. - Inversión en aparatos de medición, mano de obra y laboratorio externo.
Ejemplos de aplicación: La misma empresa descrita en la alternativa anterior (OPC-2), implantó un sistema de control analítico del fluido de corte debido a la cantidad de residuos de este fluido que generaban (15.314 l/año). La medida representó una reducción del 40% del volumen de residuos generados y del 27% del total del fluido acuoso consumido anualmente. La inversión en equipamiento analítico, mano de obra y laboratorio externo supuso un coste de 2.700 €, recuperado en 7 meses. (Fuente: IHOBE)	

Observaciones:

El control analítico de los parámetros que determinan la degradación y contaminación de los fluidos utilizados en los procesos de deformación y corte contribuye a prolongar su vida útil. El control va encaminado a introducir las medidas correctoras necesarias para mantener el fluido de corte en condiciones óptimas.

En el caso de los aceites de corte utilizados en las operaciones de mecanizado, la degradación se debe, por una parte, al fenómeno de la fatiga térmica causado por las altas temperaturas alcanzadas en los procesos y, por otra, a las reacciones químicas con los elementos presentes en partículas ajenas al fluido de corte, como virutas y aceites hidráulicos.

La siguiente tabla muestra los parámetros más relevantes en el control del aceite de corte y las medidas correctoras a emplear en caso de que dichos parámetros deban ser corregidos.

Tabla 17. Parámetros a controlar en los aceites de corte

PARÁMETRO	MEDIDAS CORRECTORAS
Viscosidad	Adecuar las condiciones de suministro o sustituir el aceite de corte en caso de que exista una variación superior al 15% sobre el valor inicial.
Índice de acidez	Añadir neutralizadores.
Corrosión a los metales ligeros	Variable según la naturaleza del problema y a determinar mediante asesoramiento del suministrador.
Agua	Instalar filtros de deshumidificación.
Espectro infrarrojo	Variable según la modificación del espectro.
Insolubles	Filtrar el aceite de corte en caso de que éstos superen el 1%.
Análisis de aditivación	Variable según la naturaleza del aditivo.

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

Por otra parte, la pérdida de calidad de los fluidos de corte acuosos o taladrinas, causada por fatiga térmica y reacción química mencionados anteriormente, se ve agravada principalmente por la presencia de microorganismos que metabolizan los componentes del fluido de corte, modificando su estructura química. Además, la misma presencia de sólidos y aceites beneficia la proliferación de dichos microorganismos y, por tanto, la degradación del fluido.

En el caso de fluidos de corte acuosos, los parámetros a controlar se muestran a continuación.

Tabla 18. Parámetros a controlar en los fluidos de corte acuosos

PARÁMETRO	MEDIDAS CORRECTORAS
Concentración	Añadir concentrado o agua desalinizada según el valor obtenido de concentración.
Valor pH	Por determinar en función del resultado conjunto de otros parámetros.
Aceites libres	Revisar el correcto funcionamiento de los equipos de separación de aceites.
Concentración de microorganismos	Ajustar la concentración de biocida y/o fungicida y en casos en que la concentración de microorganismos sea superior al valor límite recomendado, 10^6 gérmenes ml, sustituir el fluido de corte y desinfectar el sistema o depósito.
Conductividad	Sustituir el fluido de corte en caso de que la conductividad sea superior a 5.000 μ s.
Contenido de nitrito	Sustituir el fluido de corte en caso de que la concentración de nitrosaminas (formadas por la reacción de los iones nitrito con las aminas) supere el valor límite recomendado, 20 mg/l.
Contenido de biocida	Ajustar la dosificación a la concentración correcta.

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

Por lo que respecta a emulsiones utilizadas en el proceso de laminación, su degradación se debe básicamente a la presencia de microorganismos y a la contaminación del fluido por el arrastre de ácido de las líneas previas de decapado, la calidad del agua utilizada para enfriar la emulsión, las fugas de aceite utilizado en la maquinaria y la concentración de finos de hierro.

OPC-4: Diseño y ejecución de un plan de mantenimiento del circuito de suministro del fluido para deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte (laminación en frío, fresado, torneado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido y fluido agotado.	
Descripción: La medida consiste en establecer un control adecuado y metódico del circuito de suministro de fluido de corte y de sus condiciones de almacenamiento, con el objetivo de prevenir las fugas que podrían contaminar el suelo industrial. Además, el plan de mantenimiento se puede complementar con el control de juntas y conductos del circuito de suministro de otros aceites (lubricantes, aceite hidráulico) para evitar las fugas de éstos y, en consecuencia, la contaminación del fluido de corte.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de pérdidas de fluido asociadas a fugas y, por lo tanto, de su consumo. - Reducción en la frecuencia de sustitución del fluido de corte al evitar la contaminación de éste. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de definir responsabilidades del personal encargado del mantenimiento del circuito. - Establecer medidas correctoras en función de las anomalías detectadas.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo y generación de residuos de fluido de corte. - Disminución del riesgo de contaminación del suelo industrial. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Coste de implementación del plan de mantenimiento del circuito y posibles medidas correctoras. - Reducción de costes en limpieza, fluido de corte y gestión de residuos.

OPC-5: Compatibilización de productos de fluidos de corte	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte (laminación en frío, fresado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Fluido de corte agotado, consumo de materias primas.	
Descripción: La implantación de esta alternativa se basa en la aplicación de dos tipos de prácticas. La primera consiste en homogeneizar el uso de fluidos de corte en proceso, hasta alcanzar la utilización del menor número posible de compuestos diferentes. La segunda medida requiere la adecuada selección de productos como lubricantes o aceites hidráulicos, para que su influencia en el fluido de corte, en caso de fugas, sea mínima. Para estos últimos es necesario considerar la flotabilidad y miscibilidad de dichos productos, con el fin de prevenir la incidencia en el fluido de corte y favorecer su eliminación.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de fluido de corte. - Reducción de la necesidad de almacenamiento y simplificación del control del inventario de materias primas. - Mejora del rendimiento de las medidas de mantenimiento aplicadas. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de analizar previamente las características técnicas de los productos consumidos. - Necesidad de vincular a los suministradores en esta práctica por su conocimiento sobre la naturaleza del producto.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del residuo de fluido de corte agotado. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Coste económico prácticamente nulo. - Reducción de costes en consumo y gestión del residuo de fluido de corte.
Ejemplos de aplicación: Una empresa dedicada a la fabricación de elementos de fijación para automoción realizó un estudio para unificar los diferentes lubricantes utilizados en los procesos de estampación, punteado y roscado. La medida, además de una mejora en la sistemática de gestión y almacenaje de los aceites, comportó una reducción del 10% de su consumo. (Fuente: IHOBE)	

OPC-6: Desinfección del circuito de suministro de fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y mecanizado (laminado en frío, fresado, torneado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido y fluido agotado.	
Descripción: Además de un control periódico de la calidad del fluido con el fin de alargar su vida útil, es necesario proceder a su sustitución por fluido nuevo cuando ha perdido sus propiedades. Aprovechando el momento de cambio del fluido de corte agotado, se pueden aplicar productos como biocidas y funguicidas en el circuito de suministro, para eliminar los posibles microorganismos que puedan estar presentes.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Disminuye el riesgo de contaminación bacteriana del fluido y por tanto prolonga su vida útil. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Para que la medida comporte una prevención de la contaminación, es necesario el uso de un desinfectante que no comporte riesgos para el medio ambiente. - Generación de residuos derivados de las aguas de limpieza.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de fluido y del residuo generado en aproximadamente un 20%. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en operaciones de desinfección (agua de limpieza, desinfectante y mano de obra). - Reducción de costes en consumo de fluido de corte y gestión de residuos.

OPC-7: Aireación del fluido utilizado en los procesos de deformación y corte de metales

Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos de corte para favorecer los procesos de deformación y mecanizado (laminación en frío, fresado, torneado, etc.).

Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido y residuo generado.

Descripción: Esta práctica consiste en permitir periódicamente el acceso de oxígeno al compartimento donde se encuentra ubicado el fluido. Esta aireación se puede conseguir mediante la aplicación directa de oxígeno o accionando el sistema de bombeo de los circuitos de suministro de fluido de corte en períodos de descanso, aunque el efecto conseguido en este caso es de menor intensidad.

Ventajas:

- Aumento de la vida útil del fluido al evitar la proliferación de bacterias anaerobias que degradan su calidad.

Inconvenientes / requerimientos:

- Necesidad de ubicar una toma de aire comprimido.

Resultados ambientales:

- Reducción del consumo de fluido.
- Reducción de hasta un 10% de la cantidad de residuo generado.

Resultados económicos:

- Costes de instalación de circuitos de aire comprimido (inversión variable en función de las dimensiones y estructura del parque de máquinas).
- Reducción de costes de consumo de fluido y gestión de residuos.

OPC-8: Optimización del posicionamiento de la pieza durante el mecanizado

Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (roscado, torneado, brochado, etc.).

Aspecto ambiental afectado: Arrastre de fluido de corte en piezas, consumo de fluido de corte.

Descripción: Consiste en colocar la pieza durante el proceso de mecanizado de manera que se reduzca al máximo la retención de fluido de corte en el interior de ésta, evitando de este modo una parte de las pérdidas de fluido de corte por arrastre.

Ventajas:

- Reducción del arrastre de fluido de corte en las piezas.
- Mejora de las condiciones de limpieza y desengrase de las piezas.

Inconvenientes / requerimientos:

- Estudio previo para diseñar el proceso.
- Modificación del acceso de la herramienta.

Resultados ambientales:

- Reducción del impacto ambiental derivado del fenómeno de arrastre de fluido de corte en las piezas.

Resultados económicos:

- Reducción de costes en consumo de fluido y en limpieza y desengrase.

OPC-9: Optimización de las condiciones de aplicación de fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte (laminación en frío, torneado, fresado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido de corte, formación de nieblas de aceite.	
Descripción: Para garantizar un nivel adecuado de calidad en el proceso, se debe revisar la presión, dirección y caudal con el que se aplica el fluido de corte. Una reducción de la presión de suministro hasta el valor mínimo que asegure la calidad del proceso y una correcta dirección del fluido permiten minimizar el riesgo de salpicaduras y formación de nieblas.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Disminución del consumo de fluido de corte. - Reducción en aproximadamente un 50% de las pérdidas de fluido de corte por salpicaduras. - Reducción de la formación de nieblas de aceite. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de analizar las condiciones de aplicación del fluido de corte en el proceso para su optimización. - Necesidad de personal encargado de supervisar periódicamente las condiciones de aplicación del fluido.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la calidad del entorno de trabajo. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - No se requieren inversiones adicionales.

4.3. Sustitución de materias primas

Este apartado recoge aquellas alternativas de prevención de la contaminación consistentes en la sustitución de materias primas por otras menos contaminantes o peligrosas para el medio ambiente.

OPC-10: Sustitución del fluido de corte por otros menos contaminantes	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos de corte (torneado, fresado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Nieblas de aceite, riesgo ambiental y sobre la salud de las personas.	
Descripción: Para minimizar el impacto derivado del uso de fluidos de corte, se pueden utilizar fluidos con una composición menos nociva y más respetuosa con el medio ambiente. Éstos consisten en fluidos de corte biodegradables, fluidos con una aditivación especial que minimiza la formación de nieblas de aceite, o bien fluidos exentos de compuestos tóxicos (aminas, azufre, cloro, fenol, siliconas).	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la formación de nieblas de aceite y, por lo tanto, de las pérdidas de éste (fluidos con aditivación especial para minimizar la formación de nieblas de aceite). - Ausencia de compuestos peligrosos para el medio ambiente y la salud de las personas en el proceso, y sus corrientes residuales. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de realizar diferentes pruebas hasta hallar un fluido de corte que se adecue perfectamente al proceso.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la calidad del ambiente de trabajo. - Reducción de la carga contaminante de los residuos generados. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de aceite y de la gestión de residuos en el caso de fluidos que minimicen la formación de nieblas de aceite.
Ejemplo de aplicación: Una empresa de fabricación de piezas metálicas mediante procesos de embutición, estampación y conformación, sustituyó el aceite de corte utilizado en el proceso por otro exento de cloro y azufre. La medida requirió de la realización de numerosas pruebas hasta encontrar el aceite adecuado al proceso, que comportó la reducción de la carga contaminante de los residuos generados, así como la mejora de la calidad del entorno laboral. (Fuente: ficha P+N nº 14).	

Observaciones:

Un lubricante se considera biodegradable cuando su degradabilidad final a los 28 días es superior al 90%, conforme a la técnica OCDE 301D, que mide el consumo de oxígeno, o conforme al método 301B, que determina el contenido de CO₂.

Por lo que respecta a la toxicidad del producto, ésta se establece en valores EC/LC50 que no superen 1 mg/l.

Debido a la ausencia en la mayoría de países de normativa legal para regular la fabricación y uso de fluidos de corte, es necesario restringir la presencia de determinados compuestos al adquirir fluido de corte nuevo, de manera que se reduzca el riesgo para la salud de los trabajadores y se minimice el impacto ambiental. A continuación se muestra una tabla que recoge los criterios de selección de dichos fluidos según el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales español¹.

Tabla 19. Criterios de selección en la adquisición de fluidos de corte

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ACEITES DE CORTE	
CONTAMINANTE	VALOR LÍMITE
Carbonos aromáticos	< 10%
HAP (p.ej.: benzo(a)pireno)	< 0,03 mg/l
Cloro orgánico	< 0,1%
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TALADRINAS	
CONTAMINANTE	VALOR LÍMITE
Nitritos (p.ej.: NO ₂ ⁻)	< 1 mg/l
N-nitrosodietanolamina (NDELA)	< 0,03 mg/l
Derivados fenólicos (p.ej.: fenol)	< 0,05 mg/l
Cloro orgánico	< 0,1%
Formaldehído	Realizar ensayo de color positivo mediante ácido cromotrópico, de carácter orientativo y no excluyente. En caso de que resulte positivo, se debe controlar la atmósfera de trabajo.

Fuente: Datos extraídos de la página web del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales español (<http://www.mtas.es>).

¹ Ver *NTP 317: Fluidos de corte: criterios de control de riesgos higiénicos*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

OPC-11: Sustitución de agentes de desengrase por otros menos peligrosos	
Proceso donde se aplica: Operaciones de desengrase.	
Aspecto ambiental afectado: Emisión de COV, efluentes residuales de desengrase.	
Descripción: Existen agentes de desengrase que, debido a su peligrosidad o problemática ambiental, deben ser sustituidos por otros más respetuosos con el medio ambiente y la salud de las personas. El ejemplo más frecuente son los disolventes halogenados, especialmente los clorados que, debido a su efectividad, son utilizados en las operaciones de limpieza, pero que resultan tóxicos por la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) y por la generación de efluentes residuales clorados. Estos agentes pueden ser sustituidos por hidrofluoroéteres (HFE), mezclas a base de p-cimeno o soluciones acuosas de detergentes alcalinos. Con respecto a estos últimos, los desengrasantes que contienen derivados del EDTA, NTA y similares también resultan problemáticos debido a los elevados costes de depuración de las aguas residuales que generan, por lo que pueden reemplazarse por gluconato sódico.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de compuestos peligrosos para el medio ambiente en el proceso y en las corrientes residuales asociadas. - Mejora de las condiciones de seguridad en el trabajo. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Requerimiento de una correcta adecuación de la máquina existente al producto alternativo. En algunos casos es necesaria la sustitución de la maquinaria de limpieza. - Variación de la calidad del desengrasado de la pieza en función del tipo de producto utilizado. - Necesidad de comprobar la compatibilidad de los nuevos limpiadores con los sistemas de tratamiento de aguas de desecho.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedente del uso de desengrasantes halogenados. - Reducción de la carga contaminante de los efluentes residuales. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - El coste de compra de algunos desengrasantes alternativos puede resultar más caro (HFE), pero por otra parte se reducen los costes en la gestión del efluente residual. - Inversión si es necesario cambiar o modificar la máquina de limpieza existente.
Ejemplo de aplicación: Una empresa dedicada a la fabricación de piezas metálicas mediante corte de alta precisión, decidió sustituir el tricloroetileno utilizado en el desengrase por un agente limpiador no tóxico en base acuosa. La medida requirió de la instalación de dos máquinas de limpieza que incorporaban un sistema de separación de aceite y polvo para alargar la vida útil del baño. Esta medida permitió eliminar el consumo de tricloroetileno y la generación de lodos, con una inversión de unos 79.400 €, recuperados en 4,85 años. (Fuente: ficha P+ N nº 56).	

Observaciones:

Como se describe en el apartado 2.10 del manual, en las operaciones de desengrase se utilizan dos tipos de desengrasantes: los disolventes halogenados y los detergentes. A continuación, se describen algunas alternativas a la utilización de los desengrasantes más problemáticos incluidos en estos grupos.

Dentro del grupo de los disolventes halogenados, los más problemáticos son los disolventes clorados (tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, etc.) debido a la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera y a la generación de efluentes clorados. Los agentes alternativos identificados son **mezclas a base de p-cimeno** y los **hidrofluoroéteres (HFE)**, cuyas principales características se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 20. Agentes desengrasantes alternativos al uso de disolventes clorados

AGENTE DESENGRASANTE	VENTAJAS	INCONVENIENTES / REQUERIMIENTOS
Mezclas a base de p-cimeno	<ul style="list-style-type: none"> - Compuesto por agentes tensoactivos totalmente biodegradables. - No tóxico. - No altera la capa de ozono ni perjudica la atmósfera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Al utilizarse en vía húmeda, es necesario realizar una prueba previa para comprobar que no afecta a la calidad del producto final. - Requiere de un equipo automático de riego por aspersión y del movimiento de las piezas para favorecer el desengrase.
Hidrofluoroéteres (HFE)	<ul style="list-style-type: none"> - La pieza se obtiene seca. - Baja toxicidad. - Estabilidad térmica y química. - Baja viscosidad y tensión superficial. - Baja solubilidad en agua. - No inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede adquirir junto a un equipo de destilación para recuperar el líquido residual que genera. - Coste elevado en comparación con los disolventes halogenados pero rápida amortización.

Fuente: Datos extraídos del *Manual de ecogestión n.º 6. Prevención de la contaminación en el sector del tratamiento de superficies*, Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña, 2002.

Por otra parte, en el grupo del desengrase químico mediante detergentes, los que contienen derivados del EDTA, NTA y similares resultan problemáticos para el medio ambiente, ya que forman complejos con los metales presentes en la solución, que posteriormente han de ser separados y precipitados. La liberación de estos complejos requiere un prolongado tiempo de tratamiento, que provoca un aumento de los costes de depuración de las aguas residuales. Por lo tanto, una alternativa viable a estos agentes desinfectantes es el **gluconato sódico**, ya que el complejo metálico que origina es de menor fuerza, facilitando la posterior precipitación de los metales.

Finalmente, hay que mencionar que en el caso de que sea imprescindible el uso de disolventes orgánicos, debe primar su reutilización mediante un equipo de recuperación del disolvente a partir de un destilador. La medida obtiene ahorros de un 90% del disolvente consumido y el mismo porcentaje de reducción de la generación de efluentes halogenados residuales.

OPC-12: Minimización de las creces de material	
Proceso donde se aplica: Operaciones que generen recortes y virutas (troquelado, roscado, torneado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Materia prima desechada.	
Descripción: Mediante la optimización de las dimensiones de la materia prima inicial, es posible minimizar la cantidad de material excedente en forma de recortes, chatarra y virutas. Para ello es conveniente utilizar un material de partida lo más cercano posible al tamaño de la pieza final y en el caso de fabricación de piezas huecas, partir de material ya hueco, en vez de perforarlo posteriormente. Además, un calibrado adecuado de las prensas utilizadas en el proceso de corte de las chapas permite también reducir el volumen de chatarra generada.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del tiempo de mecanizado. - Reducción del consumo de materia prima. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de un control más exhaustivo de la calidad de la pieza de partida. - Necesidad de negociar previamente con el proveedor de las piezas para que proporcione las dimensiones deseadas de la pieza en bruto.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de residuos metálicos en forma de recortes, chatarra, virutas, etc. y del impacto ambiental que provocan, acrecentado si dicho residuo contiene fluido de corte adherido a su superficie. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del coste de la pieza en bruto y de la gestión de residuos.
Ejemplo de aplicación: Una empresa de mecanizado de metales de mediano tamaño aplicó esta OPC en el proceso de fabricación de casquillos para pasos de cable. La medida consistió en la adquisición de la materia prima (barras de latón hexagonales) ya hueca, en vez de las barras sólidas que se utilizaban anteriormente. La alternativa supuso una reducción de la producción de virutas y del consumo de energía, así como una reducción del tiempo de mecanizado en aproximadamente un 20%. (Fuente: IHOBE)	

4.4. Cambio tecnológico

OPC-13: Mecanizado en seco	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (fresado, torneado, roscado, mandrinado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido de corte, fluido de corte agotado, arrastre de fluido de corte en piezas y virutas, nieblas, fugas y salpicaduras de aceite.	
Descripción: La supresión del fluido de corte en las operaciones de mecanizado permite eliminar los impactos ambientales derivados de su uso. Esta alternativa implica la adopción de medidas adecuadas que asuman las funciones que realiza el fluido de corte (lubricación, refrigeración del sistema y arrastre del material excedente).	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Eliminación total del consumo de fluido de corte. - Reducción de la necesidad de limpieza de las piezas al finalizar el proceso de mecanizado. - Mejora de la calidad de los residuos metálicos como recortes y chatarra debido a la ausencia total de fluido de corte en éstos. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de un estudio previo para determinar la aplicabilidad de esta tecnología al proceso. - Necesidad de mantener la estabilidad térmica y el arrastre de viruta del sistema mediante vías alternativas al fluido de corte. La acción refrigerante se puede realizar mediante aire. - Necesidad de unas características determinadas en la herramienta como recubrimientos multicapa que reducen el rozamiento entre viruta y herramienta. - Limitaciones en procesos donde se requieren piezas con gran precisión dimensional o de forma.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de la producción de residuo de fluido de corte agotado. - Mejora del entorno de trabajo por la eliminación de nieblas, fugas y salpicaduras de aceite. - Eliminación del impacto ambiental derivado de las operaciones de limpieza de piezas y residuos metálicos. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de costes en consumo de fluido de corte, gestión de residuos y operaciones de limpieza y desengrase. - Inversión en sistemas adicionales para mantener la lubricación, refrigeración y arrastre de virutas del sistema.

Observaciones:

Al eliminar completamente el uso de fluido de corte es necesario tomar una serie de medidas para que otros medios realicen las funciones de evacuación de virutas, lubricación y refrigeración que usualmente ejercen los fluidos de corte. Estos medios deben asegurar la estabilidad térmica y mecánica de la máquina, el cumplimiento de los estándares de calidad y la resistencia al desgaste de las herramientas.

Además, debe tenerse en cuenta que el mecanizado a velocidades de corte bajas favorece el desgaste de la herramienta por adhesión y abrasión, mientras que las elevadas temperaturas alcanzadas a velocidades altas de mecanizado favorecen procesos de difusión y oxidación. Por lo tanto, esta alternativa implica elegir una herramienta con escasa tendencia a adherirse a la pieza y a la viruta, de gran dureza y de elevada resistencia al desgaste cuando trabaja a altas temperaturas.

El mecanizado en seco es una técnica en desarrollo, por lo que se requiere un análisis detallado para evaluar su aplicabilidad al proceso. La evolución en el diseño de materiales y herramientas, como las herramientas recubiertas, permite abrir el abanico de posibilidades de aplicación de esta alternativa a procesos en los que hasta el momento se consideraba imprescindible el uso de fluido de corte. Es el caso, por ejemplo, de operaciones de tallado de engranajes en seco mediante herramienta de carburo, donde incluso se ha observado un aumento de la vida útil de la herramienta, ya que el fluido de corte es responsable de la fatiga térmica que la deteriora.

Además del tallado de engranajes, existen experiencias de mecanizado en seco en procesos como:

- Mecanizado de fundición gris, donde las piezas procedentes de fundición gris contienen grafito, que actúa como lubricante. La herramienta utilizada está recubierta de nitruro de titanio (TiN) y titanio (Ti).
- Mecanizado en duro en lugar de rectificado, ya que las herramientas cerámicas y de nitruro de boro cúbico utilizadas no se ven favorecidas por el uso de fluido de corte que origina problemas de fatiga térmica.
- Brochado de aceros al carbono con brochas recubiertas que ofrece mejor calidad superficial de la pieza.
- Mecanizado de acero, donde se obtienen resultados positivos siempre y cuando se garantice la adecuada evacuación de virutas o donde no se requieran precisas tolerancias dimensionales.

OPC-14: Mecanizado utilizando la mínima cantidad de lubricante (tecnología MQL)	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (fresado, torneado, roscado, mandrinado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido de corte, fluido de corte agotado, arrastre de fluido de corte en piezas y virutas, nieblas y salpicaduras de aceite.	
Descripción: El consumo de fluido de corte en las operaciones de mecanizado se reduce considerablemente mediante la aplicación, por gotas y aerosoles, de la mínima cantidad necesaria, garantizando un nivel adecuado de lubricación. De esta manera, el fluido de corte añadido se consume sin generar residuos y únicamente se produce una ligera película de este fluido en la pieza que mejora su gestión y manipulación. Existen tres alternativas diferentes para su aplicación: sistemas de pulverizado a baja presión, sistemas de inyección sin aire y sistemas de pulverización a alta presión.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de fluido de corte hasta en un 95%. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Instalación de dosificadores especiales en las máquinas y en ocasiones de tomas de aire comprimido. - Necesidad de garantizar la estabilidad térmica y mecánica de la máquina. - Necesidad de un mantenimiento apropiado para garantizar las condiciones adecuadas de suministro.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de residuos de fluido de corte (el producto aplicado no escurre, sino que acompaña en forma de película fina a piezas y virutas). - Mejora del entorno de trabajo por la eliminación de nieblas, fugas y salpicaduras de aceite. - Eliminación del impacto ambiental derivado de las operaciones de limpieza de piezas y residuos metálicos, puesto que el proceso no requiere esta operación. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión total variable según el número de puntos de aplicación y el caudal y precisión de suministro (480 - 1.500 €/unidad). - Reducción de costes de consumo de fluido de corte, gestión de residuos y operaciones de limpieza y desengrase.
Ejemplos de aplicación: Una empresa de mecanizado de moldes y matrices de acero para inyección de aluminio sustituyó su sistema de suministro de fluido de corte por otro de dosificación de mínima cantidad de lubricante (MQL) con el objetivo de reducir el consumo de fluido de corte y la generación de residuos. Se instalaron 8 unidades dosificadoras MQL con un coste total aproximado de 3.800 € que comportó una reducción del 95% del consumo de fluido de corte. La inversión inicial y los costes anuales adicionales se recuperaron en 3,4 años. (Fuente: IHOBE)	

Observaciones:

A continuación se muestran los diferentes sistemas para la aplicación de esta oportunidad de prevención de la contaminación. Cabe destacar que las tres técnicas precisan de la modificación de los puntos de suministro de fluido de corte de las máquinas, mediante boquillas de nebulización o dosificadores de precisión.

Tabla 21. Sistemas de aplicación de la tecnología MQL

ALTERNATIVA DE APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	APLICABILIDAD
Sistemas de pulverizado a baja presión	El fluido de corte se introduce en una corriente de aire a baja presión y se transmite a la superficie de la pieza en forma de mezcla.	<ul style="list-style-type: none"> - Posible formación de nieblas. - Escasa precisión del grado de dosificación. - Cantidad aplicada de 10 - 1.000 ml/h. 	- Fluidos de corte poco viscosos (acuosos mayoritariamente).
Sistemas de inyección sin aire	El fluido de corte se aplica sobre la superficie del metal a través de bombas dosificadoras que no requieren del uso de aire para impulsar el fluido.	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de formación de nieblas. - Dosificación precisa. - Cantidad aplicada de 0,01 - 1 ml/ciclo². 	- Usualmente en procesos discontinuos.
Sistemas de pulverizado a alta presión	El fluido de corte se desplaza mediante una bomba hasta la boquilla dosificadora, donde se mezcla con aire comprimido y es aplicado sobre la pieza.	<ul style="list-style-type: none"> - Formación mínima de nieblas. - Dosificación de elevada precisión. - Cantidad aplicada de 10 - 100 ml/h. 	- Diferentes fluidos de corte: fluido de corte acuoso, aceite de corte puro o aceites polares de naturaleza vegetal.

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

² Se pueden conseguir hasta 260 ciclos por minuto.

OPC-15: Depósito centralizado de suministro de fluido para la deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para favorecer los procesos de deformación y corte (laminación en frío, torneado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido de corte y fluido de corte agotado.	
Descripción: Consiste en el suministro de fluido a las diferentes máquinas y herramientas a través de un único depósito, en lugar de utilizar múltiples depósitos individuales por máquina, reduciendo así los esfuerzos de control y mantenimiento del fluido.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Centralización y simplificación de los procesos de control y mantenimiento del fluido. - La combinación de esta alternativa con medidas de control y mantenimiento del fluido de corte permite aumentar la vida útil del fluido en aproximadamente 4-6 veces y reducir los costes en gestión de residuos hasta en un 90%. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Realización de un estudio previo para instalar una red de tuberías que canalice el fluido a todos los procesos.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la generación de fluido de corte agotado. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en la instalación del depósito y sistema de tuberías, proporcional al volumen del parque de máquinas que utilizan fluido de corte. Según la capacidad de almacenamiento de la instalación, la inversión puede oscilar entre 1.500 y 18.000 €. - Reducción de costes en consumo y residuos de fluido de corte.
Ejemplos de aplicación: <ol style="list-style-type: none"> A. La misma empresa que aplicó la OPC-5 diseñó una instalación centralizada de suministro de fluido de corte (inversión de 42.071 €) que incluía detectores del nivel de aceite para evitar derrames por rebose o situaciones de falta de aceite. La medida permitió reducir en un 53% el consumo de aceite, lo que representa aproximadamente un ahorro anual de 24.000 €. (Fuente: IHOBE). B. La misma empresa descrita en la OPC-2 y OPC-3, combinó esta alternativa (con una inversión de 16.500 €) con medidas de mantenimiento del fluido de corte: una unidad skimmer (6.000 €) y un sistema de filtrado (1.500 €). En conjunto, se consiguió una reducción del consumo de fluido de corte de un 52% y de la producción anual de residuos de un 70%. El período de retorno de la inversión en este caso fue de 4,8 años. (Fuente: IHOBE) 	

OPC-16: Carenado de máquinas	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (torneado, fresado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Fugas, salpicaduras y nieblas del fluido de corte, consumo de fluido de corte.	
Descripción: La alternativa consiste en la colocación de barreras en la maquinaria con el objetivo de impedir las proyecciones de fluido de corte al exterior del área de mecanizado. La tipología del carenado varía en función de la estructura de la máquina, pudiéndose usar cortinas, carenados plásticos o metálicos y pantallas rígidas.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Disminución del consumo de fluido de corte al evitar las pérdidas por fugas y salpicaduras, en caso de que exista recirculación de éste. - Entorno de trabajo más limpio. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de un carenado por máquina y de un análisis detallado de la maquinaria y del proceso de trabajo que se va a realizar.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la contaminación del suelo industrial por salpicaduras. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de costes en consumo de fluido de corte (en caso de recirculación) y operaciones de limpieza. - Coste variable en función de la estructura y complejidad del tipo de carenado.
Ejemplos de aplicación: Una empresa de decoletaje para la obtención de piezas mecanizadas instaló pantallas rígidas de alto rendimiento en 9 tornos lubricados con aceite de corte. La medida supuso una inversión de unos 13.500 € (además de costes anuales de mantenimiento y financiación), y se eliminó por completo la generación de salpicaduras, que representaban el 70% de las pérdidas anuales de aceite. La inversión se recuperó en 2,4 años. (Fuente: IHOBE).	

OPC-17: Laminación en continuo en lugar de laminación en discontinuo convencional para acero de baja aleación y acero aleado	
Proceso donde se aplica: Laminación en frío.	
Aspecto ambiental afectado: Consumo eléctrico y de aceite de laminación.	
Descripción: La laminación en frío en continuo permite un control más eficiente del espesor que se desea conferir a la banda y de la calidad de su superficie. Esto comporta una mejora en el rendimiento del material y permite además, optimizar el consumo de aceite y de energía.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la calidad de la pieza. - Reducción del consumo de aceite y energía. - Reducción en la frecuencia de cambio de rodillos. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Adecuado en instalaciones con una alta capacidad de producción y el mismo tipo de producto, o bien en instalaciones nuevas o que se modernicen. - Modificación del tren de laminado por otro que trabaje en continuo.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Optimización del consumo de aceite y eficiencia energética del equipo. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en el nuevo equipo. - Reducción de costes en consumos anteriores.

OPC-18: Recocido discontinuo 100% con hidrógeno	
Proceso donde se aplica: Etapa de calentamiento del proceso de recocido.	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de energía.	
Descripción: En el recocido del proceso de laminado en frío de acero de baja aleación suelen utilizarse hornos de campana, que se caracterizan por un tiempo de proceso elevado y una velocidad de enfriamiento poco aconsejable para determinadas calidades de acero. Durante la etapa de calentamiento, la atmósfera protectora normalmente se compone de una mezcla de nitrógeno e hidrógeno, con un contenido en hidrógeno próximo al límite de inflamabilidad. En lugar de utilizar este tipo de atmósfera, ésta puede estar formada totalmente por hidrógeno, obteniéndose tiempos de recocido inferiores y enfriamientos más rápidos.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del tiempo de recocido. - Disminución del tiempo necesario para el enfriamiento de la pieza. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Cambio en el tipo de atmósfera utilizada.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo energético (de 700 MJ/t en el recocido en atmósfera de H₂/N₂ a 422 MJ/t con atmósfera 100% hidrógeno). 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de costes en consumo anterior.

OPC-19: Utilización de quemadores de bajo nivel de NO_x para la reducción de las emisiones de NO_x en hornos de recocido	
Proceso donde se aplica: Etapa de calentamiento de los procesos térmicos.	
Aspecto ambiental afectado: Emisión atmosférica de NO _x .	
Descripción: Existen quemadores que mediante la reducción de la temperatura máxima de la llama, el tiempo de estancia en la zona de alta temperatura o la disponibilidad de oxígeno en la zona de combustión, permiten disminuir los niveles de emisión de NO _x de un horno convencional. Para conseguirlo, los quemadores se diseñan de manera que se pueda graduar la concentración de aire y de combustible y/o que permitan la recirculación interna de los gases de combustión.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las emisiones de NO_x en un 60%. - Reducción de las emisiones de CO en un 87%. - Mantenimiento del nivel de consumo de combustible. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Las emisiones de NO_x dependen de diversos parámetros (diseño del horno, tipo de combustible, temperatura de calentamiento, funcionamiento y mantenimiento del horno) que deben considerarse para optimizar la eficacia de los quemadores de bajo nivel de NO_x.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las emisiones gaseosas y, por lo tanto, de la contaminación atmosférica. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Costes en la sustitución de los quemadores del horno.

Observaciones:

La siguiente tabla muestra los diferentes niveles de emisión de NO₂ y CO obtenibles mediante la aplicación de quemadores de bajo nivel de NO_x en hornos de recocido continuos y discontinuos.

Tabla 22. Niveles de emisión conseguidos con quemadores de bajo nivel de NO_x

HORNOS DE RECOCIDO DISCONTINUOS			
	Concentración (mg/m ³)	Emisión (kg/t producto)	Reducción (%)
NO ₂	150 - 380	25 - 110 E-02	60
CO	40 - 100	15 - 40 E-03	87

HORNOS DE RECOCIDO CONTINUOS			
	Concentración (mg/m ³)	Emisión (kg/t producto)	Reducción (%)
NO ₂	400 - 650	0,14 - 0,22	60
CO	50 - 120	0,08 - 0,2	87

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

4.5. Reciclaje en origen

Las alternativas de reciclaje en origen consisten en la reutilización de una corriente residual dentro del mismo centro productivo donde se genera, en el mismo proceso o en otro diferente.

OPC-20: Reutilización de los gases residuales para el precalentamiento del aire de combustión en hornos de recocido	
Proceso donde se aplica: Etapa de calentamiento de los procesos térmicos.	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de energía.	
Descripción: Una de las alternativas para mejorar el rendimiento térmico de los hornos consiste en reutilizar los gases de escape para precalentar el aire de combustión. Esto se consigue mediante dos tipos de sistemas: los sistemas con quemadores regenerativos y los sistemas con quemadores recuperativos.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de energía. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Posible aumento del nivel de emisiones de NO_x (valor medio de 350 mg/Nm³ para quemadores regenerativos, que se compensa con el menor consumo de energía y la reducción del caudal de gases residuales). - Sensibilidad al polvo de los quemadores regenerativos.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del volumen total de gases de combustión (el menor consumo energético afecta positivamente a la emisión de SO₂ y CO₂). 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Costes de inversión en la modificación del horno para aplicar el sistema.
Ejemplos de aplicación: Una empresa realizó modificaciones en su horno de recocido para bandas de acero inoxidable, equipándolo con un par de quemadores regenerativos y un quemador autorrecuperativo. La medida supuso una reducción del consumo de energía primaria en un 50,6%, con un periodo de amortización de 5,5 años. Cabe destacar que en esta medida el tiempo de amortización depende considerablemente de los costes energéticos, por lo que pueden obtenerse periodos de retorno menores. (Fuente: BREF metales férreos).	

Observaciones:

Los sistemas de quemadores regenerativos utilizan dos conjuntos de intercambiadores de calor: mientras uno de los quemadores funciona en modo de combustión, el regenerador del otro quemador se calienta por contacto directo con el gas de escape. Cada cierto tiempo los flujos cambian para invertir el proceso. Un tipo especial de quemador regenerativo es el quemador de lecho integral, de diseño más compacto y, por tanto, adecuado para hornos pequeños y cuando existen problemas de espacio.

Los quemadores recuperativos consisten en un intercambiador de calor colocado a la salida de los gases de escape para permitir la transferencia continua de calor al aire de combustión entrante, a través de la superficie de calentamiento.

La tabla siguiente recoge las principales características de cada sistema.

Tabla 23. Principales características de los quemadores regenerativos y recuperativos

	TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO ALCANZABLE*	EFICACIA TÉRMICA DEL HORNO	AHORRO DE COMBUSTIBLE	OBSERVACIONES
QUEMADORES REGENERATIVOS	> 600 °C (hasta 1.100 y 1.300 °C)	~ 80%	~ 60%	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizados para altas temperaturas de gases residuales. - Adecuados para procesos en discontinuo porque éstos no incluyen zona de precalentamiento. - Según la temperatura de precalentamiento las emisiones de NO_x pueden ser de hasta 3.000 mg/m³.
QUEMADORES RECUPERATIVOS	550 - 620 °C	~ 65%	No disponible	
* Las temperaturas de precalentamiento dependen de la temperatura de entrada del gas residual y de la temperatura de proceso.				

Fuente: *Datos extraídos del Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.*

OPC-21: Reintroducción del fluido de corte procedente del escurrido de piezas y virutas al sistema	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos de corte (torneado, fresado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido de corte, arrastre de fluido de corte en piezas y virutas.	
Descripción: La alternativa consiste en recoger el fluido de corte procedente del escurrido de piezas y virutas, por ejemplo mediante bandejas, para reintroducirlo al circuito de suministro a través de un sistema de bombas y tuberías. Esta medida se ve favorecida por el aumento del tiempo de escurrido.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de fluido de corte. - Reducción de la necesidad de desengrase y limpieza de las piezas. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento de la bomba frente a la corrosividad o reactividad química del fluido de corte.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la cantidad de residuos de fluido de corte generados. - Reducción del impacto derivado del arrastre de fluido de corte en piezas y virutas. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en la instalación de un sistema de bombas y tuberías para recircular el fluido. - Reducción de costes en consumo de fluido de corte, gestión del residuo y limpieza y desengrase.
Ejemplos de aplicación: <ol style="list-style-type: none"> A. Una empresa de fabricación de piezas y componentes para la industria de automoción aplicó esta medida para recuperar el aceite de corte que escurría del contenedor donde se depositaban las virutas. La inversión inicial de 15.000 €, que incluyó una obra civil para construir un depósito, y los gastos energéticos y de mantenimiento se recuperaron en 11 meses ya que la medida supuso aproximadamente una reducción del 60% del consumo de aceite de corte y del 33% de los costes en gestión de residuos. (Fuente: COMESA). B. La misma empresa descrita en la OPC-16 instaló bandejas para recoger el fluido de corte acuoso procedente del escurrido de las piezas. La medida supuso una inversión de 3.060 € para la instalación de 17 bandejas, obteniéndose una reducción anual de costes en consumo de fluido de corte y en limpieza del suelo industrial de 1.188 €. El periodo de amortización de la medida en este caso concreto fue de 3,4 años. (Fuente: IHOBE). 	

OPC-22: Limpieza y reutilización de los fluidos utilizados en los procesos de deformación y corte de metales	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos para la deformación y corte de metales (laminado en frío, torneado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Consumo de fluido y residuo generado.	
Descripción: Durante el proceso, los fluidos utilizados en las operaciones de deformación y mecanizado se van contaminando de elementos extraños, ya sean sólidos (lodos, virutas, polvo y partículas del ambiente) o líquidos (aceites hidráulicos, aceites de guías y aceites de lubricación). A medida que aumenta la presencia de dichas partículas, el fluido pierde su calidad, y se producen fallos en el proceso. Para evitarlo, existe una elevada diversidad de equipos y sistemas destinados al correcto mantenimiento del fluido, de manera que éste puede ser reintroducido de nuevo al proceso. No obstante, es conveniente extraer periódicamente una parte del caudal para que el fluido mantenga sus propiedades.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la calidad del fluido y, por lo tanto, aumento de su vida útil. - Incremento de la vida útil de las herramientas. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Implantación de un equipo de mantenimiento en la empresa.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la frecuencia de generación de fluido de corte agotado. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión variable según el rendimiento y la capacidad de tratamiento del equipo. - Reducción de costes en consumo de fluido y gestión de residuos.
Ejemplos de aplicación: <ol style="list-style-type: none"> A. Una empresa de mecanizado de grandes piezas de aluminio destinadas al sector del automóvil adquirió dos equipos auxiliares de separación de aceite tipo <i>skimmer</i> con un coste de 3.600 €³ cada uno. La medida representó un aumento de la vida útil del fluido de corte de 2 meses adicionales, de manera que el consumo de fluido de corte se redujo en aproximadamente un 25% y la cantidad de residuos generados anualmente en un 56% (los datos se refieren a dos líneas de producción). (Fuente: IHOBE). B. La empresa descrita en las OPC-5 y OPC-15 (ejemplo A), adquirió dos instalaciones fijas de filtrado de aceite y una tercera unidad móvil de filtración, con una inversión de 12.621 €. La medida supuso la optimización de la vida de los lubricantes y la reducción en más de un 70% de la generación de aceite usado y lodos oleosos. (Fuente: IHOBE). 	

Observaciones:

Como se ha expuesto anteriormente, existe una diversidad de equipos para la eliminación de partículas ajenas al fluido utilizado que alargan su vida útil. A continuación, se muestra una tabla que recoge estos equipos, agrupados en función del tipo de partículas capaces de eliminar. La elección de uno u otro sistema depende de las condiciones técnicas y económicas y del grado de limpieza que se pretenda conseguir.

³ En el mercado existen equipos *skimmer* de coste más reducido que el del ejemplo.

Tabla 24. Equipos para el mantenimiento de fluidos de corte y emulsiones de laminación

EQUIPOS PARA LA SEPARACIÓN DE ACEITE					
EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	EFICIENCIA / APLICABILIDAD	PM ¹	INV ²	PA ³
Skimmer/ rascador superficial	Se utiliza para eliminar el aceite que flota en la superficie del fluido de corte mediante un elemento mecánico que ejerce un barrido superficial. Existen diferentes variaciones de este equipo: de cinta, de disco, de tubo flexible, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Resulta un equipo de efectividad limitada, ya que su eficacia depende de la flotabilidad y miscibilidad del aceite presente en el fluido de corte. - La efectividad aumenta si se trabaja en reposo, ya que los aceites se estancan en la superficie. Para ello la máquina debe estar parada, o bien se debe instalar un tipo de mampara en máquinas que funcionan en continuo y así crear una zona de baja agitación. 	Medio	Media – Baja	Corto
Separadores de coalescente	Se utilizan para separar en continuo el aceite no emulsionado, instalándolos en línea o <i>by-pass</i> . El equipo consta de una célula formada por componentes de forma alveolar que provocan la coalescencia de las partículas pequeñas de aceite hasta alcanzar un tamaño de partícula resultante lo suficientemente grande para ser separada mediante una válvula.	<ul style="list-style-type: none"> - Ofrece una efectividad alta. Rendimiento del equipo aproximado del 99%. - Adecuado para aceites no emulsionados. 	Medio	Media	Corto
Separadores centrífugos de dos fases	Consisten en la aplicación de fuerza centrífuga que provoca la separación del aceite. El rendimiento de los equipos se optimiza disponiéndolos en <i>by-pass</i> o en depósitos centralizados de suministro.	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento elevado. 	Alto	Alta – Media	Medio – Corto

EQUIPOS PARA LA SEPARACIÓN DE SÓLIDOS					
EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	EFICIENCIA / APLICABILIDAD	PM ¹	INV ²	PA ³
Depósito de decantación	Consiste en la decantación natural de las partículas sólidas del fluido de corte tras un tiempo determinado de reposo. El fondo se diseña para que los lodos se puedan extraer con facilidad, o bien dispone de barredores de fondo.	- No posee una elevada efectividad (separa partículas gruesas), pero resulta un mecanismo de sencilla aplicación y escasos requerimientos.	Medio – Alto	Baja	Corto
Hidrociclones	Son separadores centrífugos que fuerzan la separación y decantación de las partículas. La separación depende de la medida de dichas partículas, por lo que en ocasiones es necesario aplicar filtros adicionales.	- Separación del 95-98% de las partículas esféricas superiores a 5-20 µm con densidad igual o superior a la del acero. - Resultan más eficaces para fluidos de corte poco viscosos.	Medio – Alto	Media	Medio – Corto
Separadores magnéticos	Mediante un campo magnético, estos equipos extraen las virutas y lodos ferromagnéticos de pequeño tamaño que quedan retenidos en la superficie de un rodillo magnético.	- Separación de partículas de 100 a 300 µm, excepto las de metales no ferrosos. - Adecuado para pequeños caudales de emulsiones, soluciones sintéticas o aceites de baja viscosidad.	Bajo – Alto ⁴	Media	Largo – Corto
Filtros de cinta	Suelen ser de papel y la dimensión del poro varía en función del tamaño mínimo de partículas a separar. Pueden funcionar por diferentes sistemas: gravedad, presión negativa, sobrepresión, etc. Su uso genera residuos del medio de filtración, a no ser que éste sea reutilizable.		Alto	Media	Corto
Filtro de arena lavable	Dichos filtros precisan de un mantenimiento exhaustivo para conservar la limpieza del medio filtrante.	- Posibilidad de alcanzar precisiones de una micra.	Medio – Alto	Alta – Media	Medio

EQUIPOS PARA LA SEPARACIÓN CONJUNTA DE SÓLIDOS Y ACEITES					
EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	EFICIENCIA / APLICABILIDAD	PM ¹	INV ²	PA ³
Instalaciones de flotación	Consisten en la inyección de burbujas de aire en el fluido de corte para favorecer el arrastre hacia la superficie de partículas sólidas y aceite, donde son retiradas mediante un barredor. Se hallan disponibles tanto en unidad fija como móvil.	- Su uso se halla limitado por el tamaño de las partículas a separar.	Medio – Alto	Media – Baja	Medio
Clarificador de laminillas	El flujo se gradúa correctamente con el fin de separar las partículas sólidas y el aceite que flotan en la superficie.	- Su eficacia está condicionada por el grado de regulación.	Medio	Media	Medio
Centrífugas de tres fases	Consiste en el mismo sistema de la centrífuga de dos fases, pero añadiendo una tercera fase que separa las partículas sólidas. Resulta un equipo complejo.	- Su eficacia es la más alta de todas las alternativas expuestas.	Alto	Alta – Media	Medio – Corto

¹ PM → POTENCIAL DE MINIMIZACIÓN: ALTO (> 50%), MEDIO (50% > X > 5%), BAJO (< 5%)
² INV → INVERSIÓN: ALTA (> 12.000 €), MEDIA (3.000 - 12.000 €), BAJA (< 3.000 €)
³ PA → PERIODO DE AMORTIZACIÓN: LARGO (> 5 años), MEDIO (2 - 5 años), CORTO (< 2 años)
⁴ dependiendo de la naturaleza física de virutas y/o lodos.

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S.A.; de la *Base de datos de tecnologías. Sector metal-lúrgico*, CEMA, S.A., y diversas publicaciones sobre tecnologías del sector del mecanizado del metal.

OPC-23: Limpieza y reutilización de la solución desengrasante alcalina	
Proceso donde se aplica: Operaciones de desengrase.	
Aspecto ambiental afectado: Aguas residuales del proceso de desengrase.	
<p>Descripción: Los baños alcalinos utilizados en las operaciones de desengrase se van contaminando de aceite y otras impurezas hasta que ya no es posible su utilización. Para prolongar la vida útil del baño, pueden aplicarse diferentes medidas de limpieza basadas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipos mecánicos (separadores gravitatorios, derivación del líquido superficial, <i>skimmer</i>, hidrociclones). ▪ Separadores magnéticos. ▪ Micro y ultrafiltración (separación con membranas). ▪ Adsorción de surfactantes y aceite (precipitación seguida de filtración). <p>De esta manera, el aceite separado se retira periódicamente y el agua sin aceite se recircula al baño de desengrase.</p>	
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la vida útil del baño: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipos mecánicos por gravedad → entre 2 y 4 veces ▪ Hidrociclones → hasta 16 veces ▪ Micro y ultrafiltración → hasta 20 veces - Disminución del consumo de solución desengrasante nueva. 	<p>Disadvantages / prerequisites:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requires installation of appropriate equipment.
<p>Resultados ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la frecuencia de emisión de efluentes líquidos residuales procedentes del desengrase. 	<p>Resultados económicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en el equipo para la limpieza de los baños. - Reducción de costes en consumo de solución de desengrase nueva y agua, y en gestión de efluentes líquidos residuales.

Observaciones:

A continuación se muestran los datos operativos de entrada y salida para la solución de desengrase de una línea de recocido continuo mediante limpieza por ultrafiltración.

Tabla 25. Niveles de consumo y emisiones en la limpieza de un baño desengrasante por ultrafiltración

ENTRADA	
Solución desengrasante	50 - 60 kg/t
Agua desmineralizada	0,3 - 0,4 kg/t
Desengrasante	0,04 - 0,05 kg/t
Energía eléctrica	4 - 5 MJ/t
SALIDA	
Solución desengrasante limpia	40 - 50 kg/t
Lodos	0,4 - 0,5 kg/t

Fuente: Datos extraídos del documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

La tabla siguiente recoge datos operativos de la solución de desengrase regenerada mediante ultrafiltración en el mismo proceso anterior.

Tabla 26. Características de un baño desengrasante regenerado por ultrafiltración

	Concentración (mg/l)	Emisión específica (g/t producto)	Índice de reducción (%)
Sólidos en suspensión	20 - 40	2,35 - 4,7·E-4	> 90
Hidrocarburos (aceite, grasa)	5 - 8	5.9 - 9.4·E-5	> 90
Hierro total	1 - 2	1.2 - 2·E-5	> 90
Temperatura	30°C		
pH	6,5 - 9,5		

Fuente: Datos extraídos del documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

OPC-24: Uso de material filtrante reutilizable	
Proceso donde se aplica: Operaciones que utilizan fluidos de corte (torneado) y/o soluciones de desengrase (laminado en frío).	
Aspecto ambiental afectado: Residuos de filtros.	
Descripción: El uso de filtros para prolongar la calidad de los fluidos de corte y de las soluciones de desengrase genera un residuo consistente en el propio filtro. Para minimizar este residuo es adecuado seleccionar aquellas técnicas que permitan la utilización de material filtrante de múltiple uso. Una opción consiste en la sustitución del sistema de filtrado por otro que utilice filtros de uso ilimitado, los cuales precisan de una limpieza periódica de los mismos. Otra alternativa son los filtros patrón o cartucho, adaptables a la mayoría de sistemas de filtrado, que pueden ser utilizados varias veces, reduciendo por tanto la generación de residuos. La elección de uno u otro sistema depende del tipo de fluido, de la calidad de filtrado y de la topología del material por retener.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la vida útil de los filtros en 1-6 meses / Desaparición del consumo de filtros. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de sustitución o adaptación de los nuevos sistemas de filtrado. - Necesidad de limpieza y mantenimiento del filtro.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción/eliminación de los residuos de filtros impregnados de fluido de corte. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de costes derivados del consumo y gestión de residuos anteriores. - Baja probabilidad de modificación del equipo original, ya que normalmente los sistemas de filtrado pueden trabajar con filtros reutilizables.
Ejemplos de aplicación: La misma empresa citada en la OPC-22 (ejemplo A), utilizaba un sistema de filtrado del fluido de corte mediante rollos de papel filtrante desechable. El sistema fue sustituido por otro con filtros de fibras tejidas de múltiple uso, eliminándose los residuos de material filtrante desechado, que suponían un coste anual de 587 € y el consumo de este material (5.410 €/anuales en la compra de papel filtrante). El coste total del equipo de filtrado para dos depósitos individuales de suministro de fluido de corte y uno centralizado, consistió en unos 7.000 € que fueron amortizados en 1,3 años. (Fuente: IHOBE).	

OPC-25: Implantación de equipos auxiliares de separación de fluido de corte de piezas y virutas	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado (fresado, torneado, roscado, etc.).	
Aspecto ambiental afectado: Arrastre de fluido de corte en piezas y virutas, consumo de fluido de corte.	
Descripción: Durante los procesos de conformación metálica con fluido de corte, una parte de éste se pierde adherido a la superficie de piezas y virutas. Para mejorar la calidad de éstas y recuperar parte del fluido, se pueden adquirir equipos auxiliares que permitan retirar el fluido adherido a la superficie metálica. Existen diferentes alternativas como equipos vibratorios, sopladores, separadores centrífugos y briquetadores/compactadores.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de los arrastres en aproximadamente un 50% como promedio, aunque según el método utilizado puede llegar a un 90%. - Mejores condiciones de manipulación de piezas y virutas. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de un equipo para separar el fluido de corte de piezas y virutas. - Posible aumento del tiempo total de fabricación por la introducción de un nuevo paso de proceso. - Mayor eficiencia del equipo al disminuir el tamaño de la pieza o viruta. Las virutas pueden ser trituradas previamente para optimizar la eliminación de aceite.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de los impactos ambientales derivados de la manipulación de piezas y virutas impregnadas de fluido de corte. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en el equipo (suele ser mayor en equipos vibratorios y separadores centrífugos). - Reducción de costes en operaciones de limpieza y desengrase.
Ejemplos de aplicación: <p>A. La empresa descrita en la OPC-21 (ejemplo A) instaló bandejas y centrifugadoras en tres máquinas talladoras para recuperar el aceite de corte arrastrado por las piezas. La inversión inicial de 5.500 € fue recuperada en 1,2 años, reduciéndose el consumo de aceite de corte en un 37% y los costes de lavado de piezas en un 90%. (Fuente: COMESA).</p> <p>B. La misma empresa del apartado A, instaló una prensa para recuperar el aceite de corte retenido en los filtros desechables del proceso de rectificado. Esta medida supuso una reducción del 50% del consumo de aceite y del 90 % de los costes en tratamiento de residuos. La inversión inicial de 11.500 € se recuperó en tres meses. (Fuente: COMESA).</p>	

Observaciones:

A continuación se muestra una tabla que valora los principales aspectos económicos y ambientales de estos equipos.

Tabla 27. Características de los equipos auxiliares de separación de fluido de corte de piezas y virutas

	PM ¹	INV ²	PA ³
Equipos vibratorios	Medio	Alta – Media	Medio – Corto
Sopladores	Alto	Baja	Corto
Separadores centrífugos	Alto	Alta – Media	Medio – Corto
Briquetadores/compactadores	Alto	Media – Baja	Medio – Corto
¹ PM → POTENCIAL DE MINIMIZACIÓN: ALTO (> 50%), MEDIO (50% > X > 5%), BAJO (< 5%) ² INV → INVERSIÓN: ALTA (> 12.000 €), MEDIA (3.000 – 12.000€), BAJA (< 3.000 €) ³ PA → PERIODO DE AMORTIZACIÓN: LARGO (> 5 años), MEDIO (2 - 5 años), CORTO (< 2 años)			

Fuente: Datos extraídos del *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

En general, los equipos son aplicables tanto con tamaños grandes como pequeños de piezas y virutas, sin embargo, la efectividad de los sopladores depende de la geometría de la pieza o viruta, ya que los vectores de aire aplicados no acceden fácilmente a piezas de morfología compleja o con volúmenes interiores.

4.6. Tratamiento final

Las alternativas de tratamiento final son aquéllas que actúan sobre la corriente residual una vez ya ha sido producida, generalmente dentro de la empresa donde tiene lugar el proceso, con el objetivo de condicionar el efluente residual para su vertido.

OPC-26: Implantación de equipos auxiliares de extracción de nieblas y otras emisiones ambientales	
Proceso donde se aplica: Operaciones de mecanizado, laminado en frío, trefilado en frío, revenido, desengrase, temple en aceite.	
Aspecto ambiental afectado: Nieblas de aceite y otras emisiones.	
Descripción: La medida consiste en la instalación de sistemas de extracción y depuración de nieblas de aceite y otras emisiones a la atmósfera, para evitar la dispersión de éstas en el ambiente laboral. Si la máquina está cerrada, el equipo puede acoplarse directamente a ésta mediante aspiradores, y en máquinas abiertas o semicarenadas, a través de brazos de extracción articulados o campanas fijas de extracción. En función de la composición de las emisiones a tratar se utilizan diferentes sistemas de depuración: filtros, eliminadores mecánicos, ciclones, precipitadores electrostáticos y lavadores de gas con agua reciclada en el caso de los baños de desengrase.	
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la calidad del entorno laboral. - Eficacia del 90% de captación de las emisiones, pudiendo ser incluso mayor. 	Inconvenientes / requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición del equipo adecuado. - Posible necesidad de trasladar la máquina herramienta debido a la dificultad de colocar las tomas de captación de aire en los focos de emisión.
Resultados ambientales: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción del impacto ambiental de las emisiones atmosféricas. - La contaminación queda retenida en los sistemas de depuración (filtros, etc.) que posteriormente deben ser gestionados correctamente. 	Resultados económicos: <ul style="list-style-type: none"> - Inversión variable en función del número de puntos críticos en el proceso.

Observaciones:

A continuación se muestra una tabla que recoge las principales características de algunos de los equipos de extracción de nieblas de aceite y otras emisiones.

Tabla 28. Características de los equipos de extracción de nieblas de aceite y otras emisiones ambientales

EQUIPO	APLICABILIDAD	EFICACIA	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS	COSTE APROX. DE INVERSIÓN (€/m ³ /h)	OBSERVACIONES
Precipitador electrostático con electrofiltro	Nieblas de aceite, emisiones de los hornos, polvo	95%	5 - 10 µm	6 - 30	No aplicable a aceites y gases con bajo punto de inflamación o riesgo de explosión
Lavadora de gases	Vapores del baño de desengrase, partículas y contaminantes de las emisiones de los hornos	95 - 99%	> 0,5 µm	4,8 - 7,2	Se transfiere la polución a un líquido que debe ser tratado
Filtro de mangas	Polvo y compuestos metálicos	95 - 99%	> 0,1 µm	1,5*	Indicados para gases con nivel bajo de humedad
Ciclón	Nieblas de aceite, polvo	65 - 99%	5 - 10 µm	0,18 - 0,24	Equipo sencillo y económico y de bajo mantenimiento

* Caso concreto aplicado en una empresa

Fuente: Datos extraídos de la *Base de datos de tecnologías. Sector metal-lúrgico*, CEMA, S.A.

A continuación se muestran los resultados de eliminación alcanzados mediante la separación de vapores de emulsión en trenes de laminación mediante un separador compuesto por un filtro de gotitas de tejido de acero.

Tabla 29. Niveles de emisión en la separación de vapores de emulsión mediante separadores de gotitas de tejido de acero

	Laminador reversible para acero de baja aleación		Laminador reversible para acero de alta aleación	
Volumen (m ³ /t)	175 - 850		300 - 12.000	
Consumo de energía (MJ/t)	12 - 13		No disponible	
Niveles de emisiones				
Contaminante	Polvo ¹	HC ²	HC ²	Aceite
Concentración (mg/m ³)	10 - 50	5 - 20	10 - 12	10 - 20
Emisión específica (g/t)	96	7	8,4 - 10, 1	50 - 80
Índice de reducción (%)	> 90	> 90	> 90	No disponible

1 Método de análisis EPA.
2 Como carbono orgánico método de análisis Umwelt-BA EM-K1, EPA S 008.

Fuente: Datos extraídos del *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

OPC-27: Tratamiento de fluidos de deformación y corte o baños de desengrase consumidos

Proceso donde se aplica: Operaciones que utilicen fluidos de conformación (laminación en frío, embutición, torneado, etc.) y operaciones de desengrase.

Aspecto ambiental afectado: Efluentes líquidos residuales.

Descripción: Aunque se apliquen medidas de limpieza para alargar la vida útil de las emulsiones de fluido de corte y de los baños de desengrase, una parte del caudal debe ser desechado para mantener la calidad del proceso. La fracción desechada resulta contaminante debido a su contenido en aceites y otros compuestos (metales, cloruros, sulfuros), por lo que debe ser tratada antes de proceder a su evacuación. Este tratamiento consiste, básicamente, en la separación de la fase acuosa de la aceitosa, obteniéndose un agua de menor carga contaminante. En el caso de las emulsiones, el agua obtenida del tratamiento puede ser evacuada o según su calidad, recirculada al proceso; pero en el caso de los baños de desengrase, la fracción acuosa separada requiere un tratamiento posterior antes de ser evacuada (por ejemplo de neutralización). El lodo se emplea en la producción de asfaltos y cementos, y si se trata de un residuo oleoso, se pueden regenerar sus aceites o valorizarlo mediante incineración.

Ventajas:

- Reducción de la carga contaminante de los efluentes líquidos residuales.

Inconvenientes / requerimientos:

- Instalación de equipos adecuados para el tratamiento.
- Generación de lodos aceitosos.

Resultados ambientales:

- Reducción del impacto ambiental derivado del efluente líquido residual.

Resultados económicos:

- Inversión en el sistema de tratamiento.

Ejemplos de aplicación: La misma empresa descrita en la OPC-21 (ejemplo A) y OPC-25 instaló un evaporador para tratar el agua procedente de las taladrinas agotadas, de los baños de lavado de piezas agotados y de los efluentes líquidos de limpieza, todas ellas previamente filtradas. El agua obtenida se reutilizó en el proceso auxiliar de limpieza de suelos, lo que supuso una reducción del 81% del consumo de agua y una disminución del 95% de los costes en gestión de residuos. La inversión inicial de 82.078,9 € y los gastos energéticos y de mantenimiento anuales fueron recuperados en 7 meses. (Fuente: COMESA).

Observaciones:

Existen diferentes sistemas para el tratamiento de las emulsiones de fluido de corte consumidas y de los baños de desengrase. A continuación se describen brevemente los tratamientos disponibles y las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

Tabla 30. Tratamiento de fluidos de deformación y corte/baños de desengrase consumidos

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS / APLICABILIDAD	INCONVENIENTES
Evaporación / destilación	Proceso por el que se calienta la emulsión provocando la evaporación del agua y originando un concentrado de aceite que se extrae por separado. Mediante la condensación del aire generado se recupera el agua, que puede reutilizarse posteriormente. El aceite concentrado se enfría para favorecer la eliminación del contenido de agua que todavía se encuentre presente.	- Una concentración de aceite del 5 al 7% puede reducirse a un concentrado con un contenido de aceite del 90% y un 10% de agua.	- Alto consumo de energía. - Precisa tratamiento del aire residual.
Tratamiento químico con ácidos o sales de hierro o aluminio	Adición de ácidos, sales de hierro o aluminio o polielectrolitos, que desestabilizan la emulsión de aceite al neutralizar la carga de las partículas coloidales.	- Aplicable como postratamiento en procesos combinados si la cantidad de aceite residual a eliminar es reducida.	- Genera lodos de neutralización con aceite. - Contamina el agua residual con sal.
Tratamiento químico con polielectrolitos		- Aplicable como pretratamiento en procesos combinados para emulsiones con elevado contenido de aceite emulsificado.	- Genera lodo aceitoso.
Flotación	Proceso de separación por gravedad aprovechando la diferente densidad de los dos medios a separar. El aceite se recoge en la superficie mecánicamente y la adición de burbujas de gas permite recoger, además, los flóculos de aceite más pesados. Previamente se añaden ácidos, floculantes y polielectrolitos para que se produzca la ruptura química de la emulsión.	- No aparecen sólidos adicionales en el lodo del flotado si se utilizan electrolitos para separar las emulsiones.	- Genera sólidos adicionales en el lodo de flotado si se utilizan ácidos/sales.
Adsorción	Las partículas de aceite se adhieren a la superficie de un adsorbente consistente en un lecho fijo de sólidos (carbón activo), sólidos en polvo (carbón activo) o flóculos semisólidos distribuidos en el líquido (hidróxido de hierro). El polvo o los flóculos deben ser separados posteriormente del líquido por sedimentación, flotación o filtración.	- Los adsorbentes de lecho fijo y los adsorbentes en polvo son aplicables cuando existen concentraciones bajas de aceite y así evitar el rápido agotamiento del adsorbente.	- Genera un residuo compuesto por adsorbente contaminado, que es tratado como lodo. - Consume agentes químicos. - Genera cantidades de lodo residual con aceite.
Separación electrolítica	Disolución de ánodos de aluminio que fijan el aceite formando copos de lodo que flotan en la superficie. Para mejorar el efecto de separación puede agregarse polielectrolito.		- No se obtiene una fase de aceite adecuada para ser usada.
Ultrafiltración	Separación mecánica de aceites y jabones mediante filtros de membrana. El agua obtenida se denomina permeado y el aceite retenido, concentrado.	- Aplicable a emulsiones con una baja concentración de aceite (< 2%). - Eficacia media de separación de 40 l / h por m ² de superficie de filtro.	- La concentración de aceite del concentrado no supera el 25%, ya que está limitada por el taponamiento de las membranas. - Las membranas requieren de un lavado a contracorriente para eliminar la taponación por el aceite.

Fuente: Datos extraídos del Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos.

5. CASOS PRÁCTICOS

En este capítulo se exponen casos reales de empresas que han mejorado sus procesos productivos mediante la implantación de alternativas de prevención de la contaminación. Cada ejemplo contiene una descripción de la actividad desarrollada por la empresa, de la problemática ambiental asociada y de las medidas aplicadas para eliminar o reducir los impactos ambientales derivados de su funcionamiento. Por último, se muestra un resumen de los aspectos económicos asociados a la implantación de cada medida en el contexto en que fue aplicada.

5.1. Caso práctico 1: Componentes Mecánicos, S.A.

Empresa

Componentes Mecánicos, S.A. (COMESA) es una sociedad joint venture entre las empresas IVECO PEGASO y ZF (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN). Situada en Zona Franca (Barcelona, España), emplea a 360 personas y se dedica a la fabricación de piezas y componentes para la industria de automoción.

Las piezas fabricadas son: componentes para ejes de tracción y ejes de tracción montados, componentes de cajas de cambios de velocidades y cajas de cambios montadas, y diferentes tipos de engranajes y ejes que son enviados a otras fábricas para su montaje final.

En general, las piezas pasan por las siguientes fases: mecanizado en blando, tratamiento térmico, mecanizado en duro (rectificado), montaje, pintado (algunos productos) y expedición. Entre las fases que conducen al montaje existe una operación de lavado.

Sector industrial

Metalúrgico. Fabricación de componentes para vehículos industriales.

Antecedentes

El consumo de fluido de corte durante las operaciones de mecanizado origina un residuo consistente en fluido de corte agotado que debe ser gestionado correctamente al tratarse de un residuo peligroso⁴. Asimismo, en el proceso se pierde parte de este fluido al quedar adherido a la superficie de piezas y virutas, provocando además contaminación por goteo del entorno durante el trasiego de éstas. Por tanto, resulta necesaria una etapa posterior de lavado de las piezas (desengrase) y operaciones auxiliares de limpieza de la planta, que originan unos costes adicionales de gestión del efluente residual.

En este contexto, COMESA decidió iniciar en 1998 el proceso de implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, que le permitió en el año 2000 obtener la certificación ISO 14001, así como la verificación del reglamento 1836/93 EMAS. Este hecho comportó la introducción de diversas medidas, durante los años 1998 y 2003, para prevenir la contaminación, de entre las que se exponen las referidas a las aguas residuales y al aceite de corte agotado.

⁴ Clasificado como residuo peligroso según el Catálogo europeo de residuos (CER).

Resumen de la actuación

Las medidas implantadas en COMESA para prevenir la contaminación fueron las siguientes:

- 1) Instalación de un evaporador que, previa filtración, recupera el agua procedente del fluido de corte acuoso agotado, de los baños de lavado de piezas agotados y de las aguas residuales de limpieza. El agua recuperada se reutiliza posteriormente en el proceso auxiliar de limpieza de suelos, de manera que con la medida se reduce el consumo de agua y se minimiza el volumen de residuos líquidos a tratar.

Fotografía 4

EVAPORADOR PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

- 2) Utilización de una prensa para recuperar el aceite de corte contenido en los filtros desechados en el proceso de rectificado. El aceite de corte de este proceso se filtra mediante bolsas de celulosa para ser recirculado al sistema, generándose un residuo formado por polvo de acero, aceite y la propia bolsa. El prensado del residuo final permite recuperar gran parte del aceite, a la vez que se obtiene un polvo de acero seco que es posible reciclar.

Fotografía 5

PRENSA



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

Fotografía 6

CONTENIDO DE LOS FILTROS



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

- 3) Instalación de bandejas y centrifugadoras en tres máquinas talladoras, con el objetivo de retornar al depósito de suministro el aceite arrastrado por las piezas. Las bandejas recogen el aceite que se pierde por goteo durante el trasiego de la pieza en las diferentes partes de la máquina y el equipo de centrifugado recupera el aceite de corte adherido a las piezas.

Fotografía 7

EQUIPO DE CENTRIFUGADO



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

- 4) Segregación en contenedores distintos de las virutas impregnadas de aceite de corte y las virutas que contienen taladrina, y recuperación del aceite de corte escurrido para su reutilización. La medida se implementó mediante la realización de una obra civil para recoger el escurrido de estos fluidos, recirculando el aceite de corte al proceso y gestionando la taladrina como residuo. La obra consta de un depósito subterráneo impermeabilizado donde se recoge el aceite que cae por gravedad del contenedor que contiene las virutas impregnadas de aceite de corte y de una bomba que lo transfiere a un depósito de aceite. Anteriormente a la instalación de esta medida, se gestionaba conjuntamente como residuo el aceite de corte y la taladrina.

Fotografía 8

SISTEMA DE RECOGIDA DEL ACEITE DE CORTE ESCURRIDO DE LAS VIRUTAS



Cortesía de Componentes Mecánicos, S.A.

Balances

MEDIDA 1. EVAPORADOR PARA LA RECUPERACIÓN DEL AGUA RESIDUAL		
	Proceso anterior (1998)	Proceso actual (1999)
BALANCE DE MATERIA		
Consumo de agua	634.000 l/año	118.000 l/año
Residuos líquidos a tratar	654.000 l/año	33.000 l/año
BALANCE ECONÓMICO		
Coste del consumo de agua	2.193,7 €/año	781,3 €/año
Coste de la gestión de los residuos líquidos	149.363,5 €/año	7.861,2 €/año
Coste energético y de mantenimiento del equipo	–	7.843,2 €/año
AHORRO Y GASTOS		
Ahorro en consumo de agua		1.412,5 €/año
Ahorro en la gestión de residuos líquidos		141.502,3 €/año
Gastos energéticos y de mantenimiento		7.843,2 €/año
INVERSIÓN	82.078,9 €	
AHORRO ANUAL	135.071,6 €/año	
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	0,61 años \cong 7 meses	

Fuente: Componentes Mecánicos, S.A. y ficha Medclean n.º 28.

MEDIDA 2. PRENSA PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE DE CORTE DEL PROCESO DE RECTIFICADO		
	Proceso anterior (2001)	Proceso actual (2002)
BALANCE DE MATERIA		
Consumo de aceite	30.000 kg/año	15.000 kg/año
Residuos a incinerar	40.000 kg/año	400 kg/año
Aceite reciclado	–	10.500 kg/año
Acero reciclado	–	21.640 kg/año
BALANCE ECONÓMICO		
Coste del aceite de corte	28.500 €/año	14.250 €/año
Coste de la gestión de residuos (incineración)	32.800 €/año	328 €/año
Coste energético y de mantenimiento del equipo	–	100 €/año
Coste de la mano de obra	–	700 €/año
AHORRO Y GASTOS		
Ahorro en consumo de aceite de corte		14.250 €/año
Ahorro en costes de incineración		32.472 €/año
Gastos energéticos, de mantenimiento y de mano de obra		800 €/año
INVERSIÓN	11.500 €	
AHORRO ANUAL	45.922 €/año	
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	0,25 años \cong 3 meses	

MEDIDA 3. BANDEJAS Y CENTRIFUGADORAS PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE DE CORTE PERDIDO POR ARRASTRE EN LAS PIEZAS		
	Proceso anterior (2002)	Proceso actual (2003)
BALANCE DE MATERIA		
Consumo de aceite de corte	2.400 kg/año	1.500 kg/año
Aceite recuperado en centrifugadora	–	515 kg/año
Aceite recuperado en bandejas	–	385 kg/año
BALANCE ECONÓMICO		
Coste del aceite de corte	1.440 €/año	900 €/año
Coste de la gestión de residuos (procedente de los baños del lavado de piezas)	4.600 €/año	460 €/año
Coste energético y de mantenimiento del equipo	–	120 €/año
AHORRO Y GASTOS		
Ahorro en consumo de aceite de corte		540 €/año
Ahorro en tratamiento de residuos		4.140 €/año
Gastos energéticos y de mantenimiento		120 €/año
INVERSIÓN	5.500 €	
AHORRO ANUAL	4.560 € / año	
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	1,2 años	
*El coste de la gestión de los residuos está calculado considerando los costes generados por la disminución de la vida útil de los baños de lavado debido al aporte de aceite de las piezas no centrifugadas.		

Fuente: Componentes Mecánicos, S.A.

MEDIDA 4. RECUPERACIÓN DEL ACEITE DE CORTE PROCEDENTE DEL ESCURRIDO DE VIRUTAS		
	Proceso anterior (2002)	Proceso actual (2003)
BALANCE DE MATERIA		
Consumo de aceite de corte	30.000 kg/año	11.500 kg/año
Fluido a tratar	75.000 l/año (taladrina y aceite)	50.000 l/año (sólo taladrina)
Aceite reciclado (aceite de corte)	–	18.000 kg/año
BALANCE ECONÓMICO		
Coste del aceite de corte consumido	18.000 €/año	6.900 €/año
Coste del fluido a tratar	18.000 €/año (taladrina y aceite)	12.000 €/año (sólo taladrina)
Coste energético y de mantenimiento		120 €/año
AHORRO Y GASTOS		
Ahorro en consumo de aceite		11.100 €/año
Ahorro en tratamiento de residuos		6.000 €/año
Gastos energéticos y de mantenimiento		120 €/año
INVERSIÓN	15.000 €	
AHORRO ANUAL	16.980 €/año	
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	0,88 años \cong 11 meses	

Fuente: Componentes Mecánicos, S.A.

Observaciones

Las medidas descritas en este caso práctico se caracterizan por un rápido retorno de la inversión. No obstante, para evaluar su aplicabilidad a otros casos, debe considerarse también que el nivel de residuos generados sea significativo para la amortización de la inversión.

Las tres primeras medidas alcanzan unos niveles de reducción de los costes de tratamiento de residuos de aproximadamente el 90%. Las bandejas y centrifugadoras, con una inversión relativamente reducida, permiten además, disminuir en un 37% el aceite de corte consumido. Cabe destacar que esta medida conlleva una mejora general de la calidad del entorno laboral.

Por otra parte, la instalación de una prensa para recuperar el aceite de rectificado resulta una medida económica y sencilla, según se desprende de los resultados obtenidos: reducción de un 50% del consumo de aceite y ahorro aproximado de un 90% de los costes en gestión del residuo final.

5.2. Caso práctico 2: Tecnoform, S.A.

Empresa

TECNOFORM, S.A. es una empresa de 50 trabajadores, situada en Torelló (Barcelona, España), que se dedica a la embutición, estampación y conformación de piezas metálicas a partir de bandas de hierro, latón o acero inoxidable. Las piezas obtenidas, de medidas, formas y aplicaciones diversas, son destinadas al sector de los electrodomésticos, eléctrico y automoción.

Sector industrial

Metalúrgico. Troquelado y embutición de metales.

Antecedentes

La maquinaria utilizada en los procesos de embutición, estampación y conformación precisa del uso de aceite de lubricación para favorecer el conformado de la pieza. La utilización de este aceite comporta la obtención de piezas impregnadas de este fluido que requieren ser desengrasadas. Además, el proceso da lugar a un elevado consumo de aceite, agravado por la ausencia de un sistema que permita su reciclaje.

La implantación de medidas de mejora en Tecnoform, S.A. se realizó con los objetivos de reducir el consumo de materias primas y disminuir la carga contaminante del efluente residual vertido para adecuarse a la legislación vigente. La reducción del consumo de materias primas se centró principalmente en el consumo de agua y de aceite de lubricación. La estrategia seguida para mejorar las características de los efluentes vertidos consistió, básicamente, en la sustitución de materias primas, tanto en la operación de desengrase como en la lubricación del proceso.

Resumen de la actuación

Las actuaciones llevadas a cabo en TECNOFORM, S.A. se desarrollaron durante el periodo 1995-1997, posteriormente al análisis de la gestión ambiental de la empresa, y consistieron en:

- 1) Sustitución del aceite de lubricación por otro exento de cloro y azufre en su composición. Esta medida precisó numerosas pruebas hasta hallar el lubricante adecuado a las especificaciones de cada proceso.
- 2) Recuperación del aceite de lubricación a partir de un sistema de centrifugado instalado junto a las máquinas para permitir la recirculación del lubricante.

- 3) Sustitución del hidrocarburo utilizado en el proceso de desengrase de las piezas por detergente y agua, y reutilización de esta solución.
- 4) Modificación de la forma de utilización del serrín. Previamente, éste se aplicaba directamente sobre la pieza impregnada de aceite y actualmente se utiliza para secar la pieza una vez ésta ha sido limpiada con el detergente citado en el párrafo anterior.
- 5) Implantación de una política de buenas prácticas entre el personal para disminuir la frecuencia de limpieza del suelo del taller y prescindir del uso de detergentes ácidos.

Balances

	Antes de las mejoras	Después de las mejoras
CONSUMOS		
Aceite de lubricación	5.000 l/año	2.500 l/año
Agua de la limpieza de piezas	2.600 m ³ /año	700 m ³ /año
Hidrocarburo de desengrase	1.400 kg/año	0
Detergente de desengrase	3.300 kg/año	1.050 kg/año
Serrín	14 t/año	3 t/año
BALANCE ECONÓMICO		
Aceite de lubricación	18.816 €/año	11.961 €/año
Agua de la limpieza de piezas	906 €/año	244 €/año
Hidrocarburo del desengrase	1.240 €/año	0 €/año
Detergente del desengrase	5.975 €/año	2.690 €/año
Serrín	5.047 €/año	1.623 €/año
Gestión de residuos	1.985 €/año	2.855 €/año
Tratamiento de aguas residuales	193 €/año	3.306 €/año
AHORRO Y GASTOS		
Ahorro en aceite de lubricación		6.855 €/año
Ahorro en agua		662 €/año
Ahorro en agentes de desengrase		7.949 €/año
Aumento de costes en gestión de residuos y aguas residuales		3.983 €/año
INVERSIÓN		31.444 €
AHORRO ANUAL		11.483 €/año
PERIODO DE AMORTIZACIÓN		2,7 años

Fuente: Ficha P+N n.º 14.

Observaciones

La renovación, desde 1995, de los métodos operativos efectuados en la empresa con el objetivo de obtener mejoras ambientales y ahorrar recursos comporta una reducción del consumo de productos y una mejor calidad de los efluentes residuales vertidos. Concretamente, el consumo de aceite de lubricación se redujo en un 50%, el de serrín en aproximadamente un 75% y el hidrocarburo para el desengrase se eliminó totalmente. Paralelamente se obtuvo un ligero incremento de la productividad al reducir el tiempo de limpieza de las piezas y aumentar la calidad del desengrase.

5.3. Caso práctico 3: Grupo Elcoro Decoletaje, S.L.

Empresa

GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S.L. inició su andadura empresarial en el año 1892 y actualmente dispone de 3 centros productivos, dos de ellos ubicados en Elgeta y Mendaro (Guipúzcoa, España) y el tercero en Pamplona (Navarra, España). El grupo está formado aproximadamente por 150 personas.

Su actividad se centra en la fabricación de piezas mecanizadas destinadas a diversos sectores como son: automoción, eólico, eléctrico y herramientas entre otros.

La maquinaria presente en la empresa consiste en tornos (15 tornos de control numérico y 35 tornos automáticos monohusillos y multihusillos), centros de mecanizado, máquinas para segundas operaciones (fresas, taladrados, rectificadoras, etc.) y máquinas de corte, biselado y mecanizado para ejes y casquillos. En este caso práctico se tratan únicamente los tornos, en cuya operativa se utiliza aceite de corte o fluido de corte acuoso (taladrina), ya que caracterizan la principal actividad de la empresa.

Sector industrial

Metalúrgico. Decoletaje y mecanizado del metal.

Antecedentes

Durante las operaciones de mecanizado, una parte de fluido de corte se pierde por salpicaduras y otra por el arrastre en piezas y virutas, por lo que es necesario reponer periódicamente el contenido del depósito de suministro, generándose un consumo adicional de dicho fluido.

Un estudio detallado en grupo Elcoro reveló que el 70% de las pérdidas de fluido de corte se producían por salpicaduras, tanto si el fluido utilizado era aceite de corte como si era fluido en base acuosa. En este sentido, el sistema de tornos que funcionaba con aceite de corte, disponía de un proceso de centrifugado de las piezas y virutas para recircular y reutilizar una fracción del aceite de corte inicial. En cambio, las virutas impregnadas de fluido de corte acuoso se dejaban reposar y escurrían una parte por gravedad (el 4,6% del total de las reposiciones), pero no disponían de ningún sistema de reutilización de dicho fluido, puesto que éste se recogía en un pequeño foso y posteriormente se gestionaba como residuo.

La siguiente tabla muestra el consumo del fluido de corte y las pérdidas anuales de éste, compensadas por las reposiciones, previas a la implantación de las medidas de mejora.

ACEITE DE CORTE			
ENTRADA		CONSUMO DE LAS REPOSICIONES*	
Consumo	16.500 l/año	Salpicaduras	9.405 l/año → 70%
Suministro inicial	2.970 l/año	Arrastre en virutas	550 l/año → 4%
Reposiciones	13.530 l/año	Arrastre en piezas	3.575 l/año → 26%
FLUIDO DE CORTE ACUOSO			
ENTRADA		CONSUMO DE LAS REPOSICIONES	
Consumo	55.000 l/año	Salpicaduras	37.286 l/año → 70%
Suministro inicial	1.734 l/año	Fluido de corte por gestionar:	- 4.048 l/año → 7,6%
		- Ecurrido virutas	- 2.450 l/año → 4,6%
		- Agotado	- 1.598 l/año → 3%
Reposiciones	53.266 l/año	Arrastre en virutas	9.055 l/año → 17%
		Arrastre en piezas	2.877 l/año → 5,4%
* No se considera el aceite de corte agotado a gestionar ya que la cantidad anual no es significativa.			

Resumen de la actuación

Las actuaciones efectuadas en GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S.L. entre los años 2000 y 2001, para disminuir las pérdidas y, por tanto, el consumo de fluido de corte, consistieron en:

- 1) Carenado de la maquinaria mediante la instalación de pantallas rígidas de alto rendimiento, con el objetivo de impedir la proyección de fluido de corte fuera del área de mecanizado. La maquinaria consta de un sistema de bandeja, bomba y filtro para reutilizar el fluido de corte, de manera que la implantación de esta medida permite recircular una mayor cantidad de fluido al minimizar las pérdidas de éste por salpicaduras.

Fotografía 9

CARENADO DE UNO DE LOS TORNOS MONOHUSILLOS



Cortesía de Grupo Elcoro Decoletaje, S.L.

- 2) Instalación de un sistema de captación y bombeo para reintroducir, en el circuito de suministro, el fluido de corte acuoso procedente del escurrido de las virutas y que se deposita en un pequeño foso.
- 3) Implantación de bandejas de captación del escurrido de piezas mecanizadas con fluido de corte acuoso. El fluido depositado en las bandejas posteriormente es vertido en el área de escurrido, mencionada en el punto anterior, para su reutilización.

Balances

MEDIDA 1 A. CARENADO DE LOS TORNOS CON FLUIDO DE CORTE ACUOSO	
INVERSIÓN	25.500
Número de carenados	17
Precio unitario	1.500 €
AHORRO ANUAL	4.663 €
COSTES ADICIONALES ANUALES	1.405 €
Costes de financiación	1.277 €
Costes de mantenimiento	128 €
REDUCCIÓN DE COSTES ANUALES	6.068 €
Ahorro en consumo de concentrado (1.919 l de concentrado a 2,4 €/l)	4.606 €
Ahorro en consumo de agua (36,5 m ³ de agua a 0,60 €/m ³)	22 €
Ahorro en limpieza (1 h/semanal; 48 semanas a 30 €/h)	1.440 €
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	5,5 años

Fuente: Grupo Elcoro Decoletaje, S.L. e IHOBE, S.A.

MEDIDA 1 B. CARENADO DE LOS TORNOS CON ACEITE DE CORTE	
INVERSIÓN	13.500
Número de carenados	9
Precio unitario	1.500 €
AHORRO ANUAL	5.619 €
COSTES ADICIONALES ANUALES	744 €
Costes de financiación	676 €
Costes de mantenimiento	68 €
REDUCCIÓN DE COSTES ANUALES	6.363 €
Ahorro en consumo de aceite de corte (9.405 l de aceite de corte a 0,60 €/l)	5.643 €
Ahorro en limpieza (1h/quincenal; 24 quincenas a 30 €/h)	720 €
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	2,4 años

Fuente: Grupo Elcoro Decoletaje, S.L. e IHOBE, S.A.

MEDIDA 2. INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y BOMBEO PARA LA REINTRODUCCIÓN EN EL CIRCUITO DE SUMINISTRO DEL FLUIDO DE CORTE ACUOSO PROCEDENTE DEL ESCURRIDO DE VIRUTAS	
INVERSIÓN	2.402 €
Bomba	1.500 €
Tubería y valvulería de captación y trasiego	902 €
AHORRO ANUAL	415 €
COSTES ADICIONALES ANUALES	198 €
Costes de financiación	120 €
Costes de mantenimiento	48 €
Consumo eléctrico estimado	30 €
REDUCCIÓN DE COSTES ANUALES	613 €
Ahorro en consumo de concentrado (127,5 l de concentrado a 2,4 €/l)	306 €
Ahorro en consumo de agua (2,4 m ³ de agua a 0,60 €/m ³)	1 €
Ahorro en gestión de residuos (2.550 l a 0,12 €/l)	306 €
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	5,8 años

Fuente: Grupo Elcoro Decoletaje, S.L. e IHOBE, S.A.

MEDIDA 3. IMPLANTACIÓN DE BANDEJAS DE CAPTACIÓN DEL ESCURRIDO DE PIEZAS MECANIZADAS CON FLUIDO DE CORTE ACUOSO	
INVERSIÓN	3.060 €
Número de bandejas	17
Precio unitario	180 €
AHORRO ANUAL	908 €
COSTES ADICIONALES ANUALES	280 €
Costes de financiación	255 €
Costes de mantenimiento	25 €
REDUCCIÓN DE COSTES ANUALES	1.188 €
Ahorro en consumo de concentrado (355 l de concentrado a 2,4 €/l)	852 €
Ahorro en consumo de agua (9,5 m ³ de agua a 0,60 €/m ³)	6 €
Ahorro en gestión de residuos (1h/mensual; 11 meses a 30 €/h)	330 €
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	3,4 años

Fuente: Grupo Elcoro Decoletaje, S.L. e IHOBE, S.A.

Observaciones

El carenado de la maquinaria supone la eliminación de la generación de salpicaduras que, según el estudio realizado en Grupo Elcoro, era el fenómeno responsable del 70% de las pérdidas, tanto de aceite de corte como de fluido de corte acuoso. En consecuencia, se consigue una reducción

importante del consumo de fluido de corte y de la frecuencia de limpieza del suelo industrial, además de un valor añadido referido a la imagen e higiene de la empresa.

Por otra parte, la recuperación de fluido de corte acuoso procedente de las virutas (el 4,6% de las pérdidas) supone una disminución de la cantidad de residuos generada anualmente y al mismo tiempo una reducción del consumo inicial.

Por último, la tercera medida, además de suponer una reducción en el consumo de fluido de corte acuoso, elimina la contaminación del parque de almacenamiento de piezas y el consiguiente riesgo higiénico y de salud laboral.

6. CONCLUSIONES

El uso de fluidos de corte es uno de los hechos más característicos del subsector del mecanizado del metal, y que a su vez determina la mayoría de aspectos ambientales del sector. Este fluido, al perder las propiedades iniciales para las que fue preparado, se convierte en un residuo que debe ser gestionado correctamente para minimizar los efectos adversos que provoca sobre el medio ambiente.

Igualmente, su uso puede ocasionar la formación de nieblas de aceite durante el proceso y la contaminación por goteo y salpicaduras del entorno laboral. Asimismo, una parte del fluido es arrastrado por piezas y virutas, lo que obliga a la realización de operaciones de desengrase sobre la pieza fabricada. En este sentido, la composición del agente desengrasante utilizado en el proceso determina la problemática del efluente residual obtenido.

Dada la importancia de los impactos ambientales derivados del uso de fluido de corte, gran parte de las oportunidades de prevención integrada de la contaminación descritas en el manual se basan en su reducción y recuperación.

Dentro del apartado de reducción en origen de la contaminación, se pueden destacar alternativas de sustitución del fluido de corte tradicional por otro de composición más respetuosa con el medio ambiente y las que reducen su consumo (mecanizado en seco, tecnología MQL, carenado de la maquinaria, control y mantenimiento del fluido de corte y optimización de sus condiciones de aplicación), así como la formación de nieblas de aceite en el entorno laboral. Respecto a la recuperación y reciclaje en origen, se han tratado aspectos como el mantenimiento del aceite de corte (mediante equipos que separan sólidos e impurezas presentes en el fluido agotado) y de las soluciones desengrasantes, así como otros efluentes líquidos generados (mediante técnicas de evaporación, destilación, flotación, adsorción, separación electrolítica y ultrafiltración). Cabe destacar el apartado correspondiente a las buenas prácticas ambientales, las cuales mediante una sencilla aplicación y coste reducido consiguen rápidos y sorprendentes resultados.

Por tanto, se puede afirmar que el sector dispone de una gran variedad y número de soluciones, de costes también variables, ya sea para economizar el consumo de aceites de corte como para reducir la generación de corrientes residuales.

Dada la variedad de alternativas, de costes y de condiciones de aplicabilidad asociados a cada una de ellas, es recomendable la realización de un análisis previo con el objetivo de determinar aquellas medidas de mejora ambiental que mejor se adecuan a cada caso concreto. La conveniencia de un estudio previo resulta más evidente en el contexto en que se aplica el manual, debido a la heterogeneidad entre los países que componen el PAM, tanto a lo que se refiere a la situación y características del sector industrial, como a los recursos destinados a la adopción de medidas de producción limpia en las empresas, o a diferencias en materia de legislación ambiental aplicables a cada Estado.

7. BIBLIOGRAFIA

7.1. Estudios

- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE PER A L'EMPRESA I EL MEDI AMBIENT, S.A. *Estudi sectorial de minimització del sector metal·lúrgic ubicat o proper a zones urbanes*. June 2002. (Unpublished)
- GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. CENTRO PARA LA EMPRESA Y EL MEDIO AMBIENTE, S.A. *Estudi sectorial de minimització del sector metal·lúrgic ubicat o proper a zones urbanes*. Junio 2002. (Documento inédito)
- GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. CENTRO PARA LA EMPRESA Y EL MEDIO AMBIENTE, S.A. *Sector metal·lúrgic: Base de dades de tecnologies*. Octubre 2000. (Documento inédito)
- GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. CENTRO PARA LA EMPRESA Y EL MEDIO AMBIENTE, S.A. *Grup de treball al sector metal·lúrgic*. Abril 2001. (Documento inédito)
- COMISIÓN EUROPEA. DIRECCIÓN GENERAL CIC (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA). Instituto de Estudios Tecnológicos. Tecnologías para Desarrollo Sostenible. Oficina Europea de PCIC. *prevención y control integrado de la contaminación (PCIC). Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*. Diciembre 2001. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)
- COMISIÓN EUROPEA. DIRECCIÓN GENERAL CIC (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA). Instituto de Estudios Tecnológicos. Tecnologías para Desarrollo Sostenible. Oficina Europea de PCIC. *Prevención y control integrado de la contaminación (PCIC). Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales no férreos*. Diciembre 2001. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Proyecto de agenda de sectores de la Oficina de Conformidad de la EPA. Perfil de la industria de productos metálicos fabricados*. Septiembre 1995. (Accesible en la web: <http://www.epa.org>)
- U.S. EPA/SEDESOL (Grupo de Trabajo sobre la Prevención de la Contaminación). *La minimización de residuos en la industria del acabado de metales*. Mayo 1993. (Accesible en la web: <http://www.epa.org>)
- A. GARCÍA. *El sector industrial metalúrgico en España y Cataluña*. Ed.: Maquitech 2002 – Fira de Barcelona. Septiembre 2002. (Accesible en la web: <http://www.maquitech.com>)
- CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). *Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*. Junio 2001. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)

CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). *Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*. 2ª edición. Enero 2004.

CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). *Status and Trends of Industry and Sustainable Development in the Mediterranean Region*. Octubre 2001. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)

7.2. Publicaciones

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. *Manuals d'ecogestió núm. 6. Prevenció de la contaminació al sector de tractament de superfícies*. Febrero 2002.

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. *Seminaris territorials sobre qualificació ambiental a les empreses. Fitxa 10: La qualitat ambiental al sector del metall*.

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE INDÚSTRIA Y ENERGÍA. *Indústria bàsica i productes metàl·lics. La indústria a Catalunya, núm. 5*. 1991

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. CENTRO PARA LA EMPRESA Y EL MEDIO AMBIENTE. *Col·lecció fitxes P+N*. (Accesible en la web: <http://www.cema-sa.org>)

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE. CENTRO DE ACTIVIDADES REGIONALES PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR-PL). *Fichas Medclean*. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)

GENERALITAT DE CATALUÑA. DEPARTAMENTO DE TRABAJO, INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO. *Informe anual sobre la indústria a Catalunya, 2002*. Julio 2001. (Accesible en la web: <http://www.gencat.es>)

IHOBE, S.A. *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*. 1999. (Accesible en la web: <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S.A. *Taladrinas agotadas: Un residuo a reducir*. 1993. Reed. 1997. (Accesible en la web: <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S.A. *Reducción de costes mediante una gestión eficaz de las virutas*. 2002. (Accesible en la web: <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S.A. *Listado vasco de tecnologías limpias*. 2004. (Accesible en la web: <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S.A. *Excelencia ambiental en empresas vascas: Casos prácticos*. 2004. (Accesible en la web: <http://www.ihobe.es>)

CONFEDERACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA ARAGONESA (CEPYME/ARAGÓN). *Manual de minimización de residuos y emisiones industriales para las industrias transformadoras de los metales del sector metal*. (Documento inédito)

CESI COFOR, S.A. *Guía de gestión medioambiental para empresas del sector del metal de la provincia de Badajoz*. Consejería de Economía y Trabajo de la Junta de Extremadura. Marzo 2004

GENERALITAT VALENCIANA. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE. *Las buenas prácticas medioambientales en Metalmecánica*. Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana y Consejo de Cámaras de la Comunidad Valenciana. 2000

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Anuario Estadístico de España*. 2004. (Accesible en la web: <http://www.ine.es>)

7.3. Revistas técnicas

Filtration News, n.º 8. Editada por Kenfilt-Novotecnic. Septiembre 2004

Service Lub (publicación periódica del primer grupo europeo de industrias de lubricantes). Octubre-noviembre 2004

7.4. Libros

J. VIVANCOS et al. *Tecnologías de fabricación. Tomo I. Procesos de mecanizado*. ETS d'Enginyeria Industrial de Barcelona. 1996

A. NÁPOLES et al. *Tecnología mecánica*. Ediciones UPC. 2002

P. MOLERA. *Conformación metálica*. Ed. Marcombo. 1991

J. VIVANCOS et al. *Tecnologías de fabricación. Tomo II. Procesos de fusión, moldeo y deformación*. ETS d'Enginyeria Industrial de Barcelona. 1998

A. LEYENSETTER. *Tecnología de los oficios metalúrgicos*. Editorial Reverté, S.A. 1987

J. E. NEELY. *Metalurgia y materiales industriales*. Ed. Limusa, S.A. 2001

F. R. MORRAL et al. *Metalurgia general. Tomo II*. Ed. Reverté, S.A. 1985

TUBAL CAIN. *Endurecimiento, revenido y tratamiento térmico*. Ed. G. Gili, S.A. 1993

J. M. LASHERAS. *Tecnología mecánica y metrotécnica*. Ed. Donostiarra, S.A. 1997.

7.5. Páginas web consultadas

<http://www.gencat.es/mediamb> (Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña)

<http://www.cema-sa.org> (Centro para la Empresa y el Medio Ambiente, S.A.)

<http://www.mma.es> (Ministerio de Medio Ambiente)

<http://www.eper-es.com> (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente)

<http://www.mtas.es> (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales)

<http://www.ihobe.es> (IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental)

<http://www.fundacionentorno.org> (Fundación Entorno)

<http://www.eippcb.jrc.es> (European Integrated Pollution Prevention Control Bureau)

<http://www.epa.org> (Environmental Protection Agency)

<http://www.ceam-metal.es> (Centro de estudios y asesoramiento metalúrgico)
<http://www.confemetal.es> (Confederación Española de Organizaciones Empresariales del Metal)
<http://www.aimme.es> (Instituto Tecnológico Metalmecánico)
<http://cepymearagon.es> (Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa)
<http://www.istas.net> (Fundación sindical autónoma de la Confederación Sindical de Comisiones Obreras)
<http://www.unepmap.gr> (United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan)
<http://www.unido.org> (United Nations Industrial Development Organization)
<http://www.ine.es> (Instituto Nacional de Estadística Español)
<http://www.instat.gov.al> (Institute of Statistics of Albania)
<http://www.ons.dz> (Statistics Algeria. National Office of Statistics)
<http://www.bhas.ba> (Agency for Statistics of Bosnia and Herzegovina)
<http://www.dzs.hr> (Republic of Croatia-Central Bureau of Statistics)
<http://www.capmas.gov.eg> (Central Agency for Public Mobilization and Statistics)
<http://www.stat.si> (Statistical Office of the Republic of Slovenia)
<http://www.ine.es> (Instituto Nacional de Estadística)
<http://www.insee.fr> (Institut National de la Statistique et des Études)
<http://www.statistics.gr> (General Secretariat of National Statistical Service of Greece)
<http://www.cbs.gov.il> (Central Bureau of Statistic of Israel)
<http://www.istat.it> (National Institute of Statistics Italia)
<http://www.cas.gov.lb> (Central Administration for Statistics. Lebanese Republic)
<http://www.szs.sv.gov.yu> (Serbia and Montenegro Statistical Office)
<http://www.tunisianindustry.nat.tn> (Tunisian Industry Portal)
<http://www.die.gov.tr> (State Institute of Statistics Turkey)

7.6. Empresas del sector

Componentes Mecánicos, S.A. (COMESA): <http://www.comesa.es>

Cotecing, S.L.

Dilube, S.A. Grupo Olivé: <http://www.dilube.com>

Filter 2000, S.L.: www.filter-2000.com

Chimiderouil, S.A.: <http://www.chimiderouil.com>

Industrias Metalúrgicas JEM, S.A.: <http://www.jem.es>

Gamor, S.L.: <http://www.gamor.es>

Tecnoform, S.A.

Grupo Elcoro Decoletaje, S.L.: <http://www.elcoro.com>

Canaletas, S.A.: <http://www.canaletas.es>

Barin, S.A.: www.barin.es

Novotecnic Europa, S.A.: www.kenfilt.net

Metales y Formas, S.L.

8. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Sr. Robert Gilart, de la empresa Componentes Mecánicos, S.A. por su colaboración desinteresada en la revisión de los capítulos 3 y 4 del Manual.

Asimismo, también nuestro agradecimiento al Sr. José Pedro Díaz Barrera de Cotecing, S.L., a la Sra. Mónica Folch y al Sr. Miquel Comas de Dilube, S.A. (Grupo Olivé), al Sr. Fritz Schmid de Filter 2000, S.L. y al Sr. Josep Maria Torras de Chimiderouil, S.A., por el soporte técnico prestado ante las consultas planteadas durante la elaboración del manual.

También agradecemos la colaboración de las empresas Grupo Elcoro Decoletaje, S.L., Componentes Metálicos, S.A. y Tecnoform, S.A., que han cedido amablemente su información para la elaboración del capítulo de casos prácticos, así como a Talleres Gamor, S.L. y Canaletas, S.A. por la aportación de material gráfico para la ilustración de los procesos productivos.

A todos ellos, nuestro reconocimiento.

9. ANEXO. REPRESENTATIVIDAD DEL SECTOR METALÚRGICO EN LOS PAÍSES DEL PAM

En el conjunto de países en que se desarrolla el Plan de Acción del Mediterráneo (PAM), se estima que el sector metalúrgico supone el 7% del total industrial⁵.

En este anexo se pretende proporcionar una visión de la representatividad de este sector en cada uno de ellos, a partir de un conjunto de indicadores socioeconómicos.

Los países incluidos en el PAM son:

- Países del sur del Mediterráneo:
 - Argelia
 - Egipto
 - Líbano
 - Yamahiriya Árabe Libia Popular y Socialista
 - Marruecos
 - República Árabe Siria
 - Túnez

- Países del norte del Mediterráneo:
 - España
 - Francia
 - Grecia
 - Italia
 - Mónaco

- Países del este del Mediterráneo:
 - Albania
 - Bosnia-Herzegovina
 - Chipre
 - Croacia
 - Eslovenia
 - Israel
 - Malta
 - Serbia y Montenegro
 - Turquía

Dada la diversidad social, política y económica de los 21 países mencionados, previamente a la exposición de los indicadores propios del sector metalúrgico en cada país, se muestran unos datos generales que permiten interpretar la información posterior en el contexto de cada país.

⁵ CAR/PL. *Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*. Enero 2004.

Tabla 31. Datos generales de los países del PAM

PAÍS	SUPERFICIE (10 ³ km ²)	POBLACIÓN (millones de habitantes)	PIB ACTUAL (10 ⁹ €)	VA EN AGRICULTURA (% del PIB)	VA EN INDUSTRIA (% del PIB)	VA EN SERVICIOS (% del PIB)
Argelia	2.382	31,3	47,7	12,4	62,2	25,4
Egipto	1.000	66,4	76,9	16,8	35	48,2
Líbano	10,4	4,44	14,8	11,7	21	67,3
Libia	1.759	5,53	29,24	7	44	49
Marruecos	710	29,6	31,9	16,1	31,1	52,8
Siria	185	17,76	21,9	23	28	49
Túnez	164	9,8	18,1	10,4	29,1	60,5
España	506	41,2	556,7	4	30	66
Francia	551,5	59,4	1.208	3	26	72
Grecia	132	10,63	114	8,1	22,3	69,3
Italia	301,3	57,9	1,23	2,8	28,9	68,2
Mónaco	1,95 (km ²)	32,13 (miles de habitantes)	745	ND	ND	ND
Albania	28,8	3,2	4	32,4	22,7	44,9
Bosnia-Herzegovina	51,13	4,12	4,5	14	30	56
Chipre	9.250 (km ²)	765 (miles de habitantes)	7,8	ND	ND	ND
Croacia	56,54	4,37	19,2	9,7	34,2	56,1
Eslovenia	20,3	2	21,1	3,1	37,5	59,3
Israel	21,06	6,5	104,5	3	30	67
Malta	320 (km ²)	397 (miles de habitantes)	3,1	2,8	25,5	71,7
Serbia y Montenegro	102 (km ²)	8,1	13,4	ND	ND	ND
Turquía	775	69,6	157	13,8	26,6	59,6

ND = No disponible

Fuente: *Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*, CAR/PL; Grupo del Banco Mundial y GlobalEDGE.

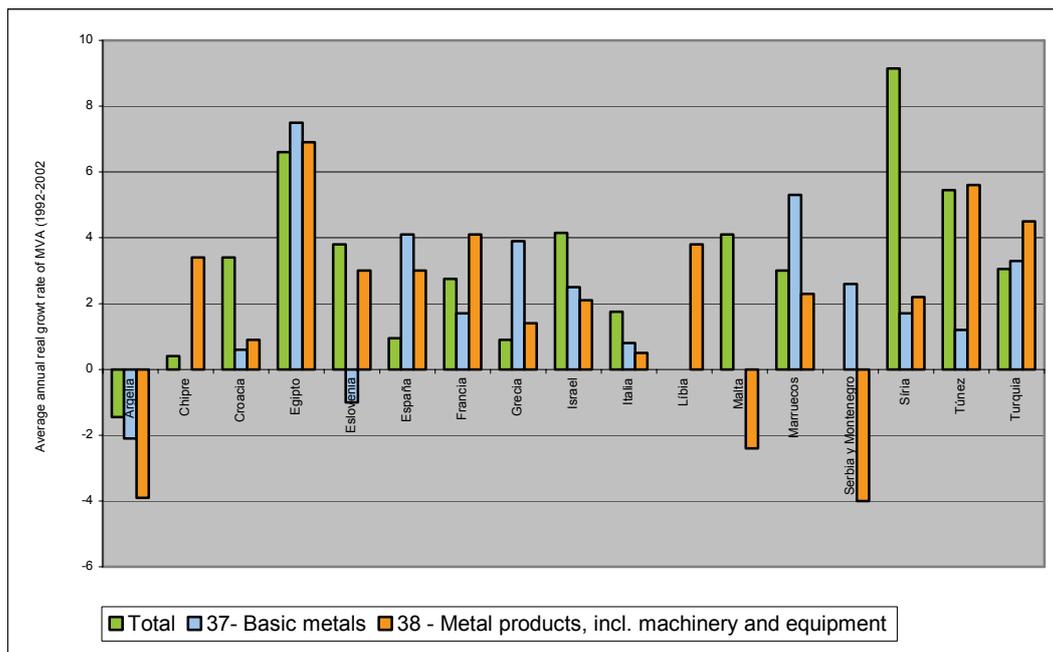
La representatividad del sector metalúrgico en la economía de cada país, se ha evaluado utilizando los indicadores siguientes:

- Tasa de crecimiento anual (AAGR) del valor añadido de manufactura (MVA).
- Estructura del valor añadido de manufactura (MVA).
- Número de trabajadores.

La siguiente figura muestra la media de la tasa de crecimiento anual del valor añadido de manufactura (periodo 1992 – 2002) de la industria básica de metales y la de fabricación de productos metálicos, incluida maquinaria y equipo, en los países del PAM. Para la elaboración del gráfico se ha utilizado como indicador el Average annual real growth rate of MVA (tasa de crecimiento medio anual real del valor añadido de manufactura) según la clasificación industrial descrita en la International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), 2-digit level of revision 2⁶.

Figura 24

Crecimiento del MVA referido a los sectores de industria básica de metales y fabricación de productos metálicos (incluida maquinaria y equipo) en el periodo 1992-2002⁷



Fuente: Datos extraídos de las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

En la figura se observa que durante el periodo comprendido entre 1992 y 2002, los países que han experimentado un mayor crecimiento del valor añadido de manufactura (MVA) de la industria básica de metales son Egipto, Marruecos, España y Grecia. Asimismo, el sector de fabricación de productos metálicos presenta un crecimiento del MVA destacado en países como Egipto, Túnez, Turquía y Francia.

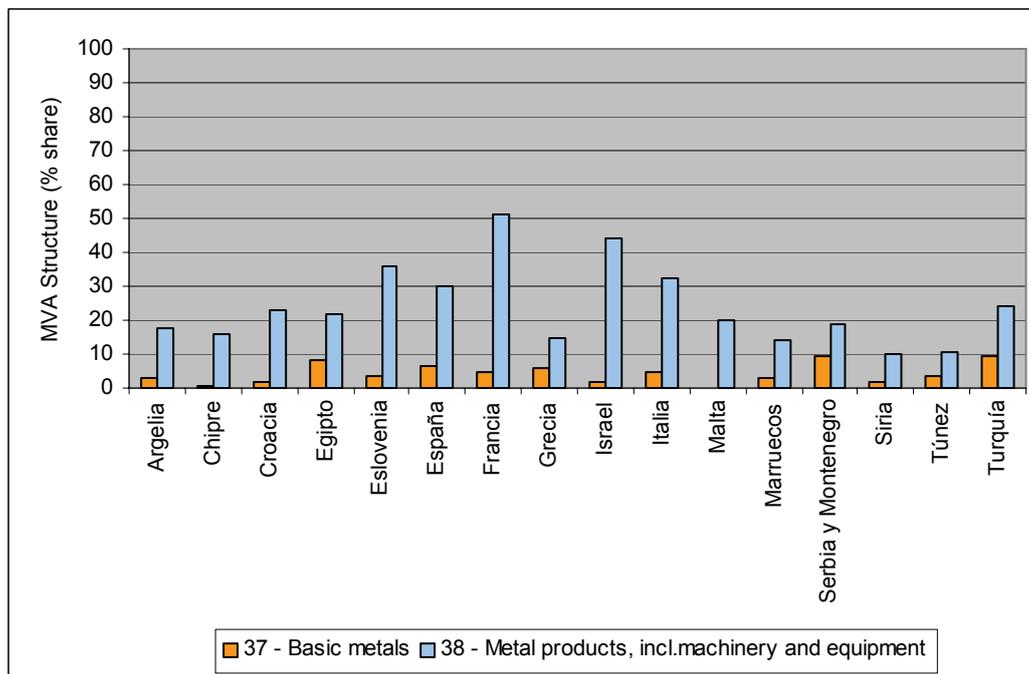
Seguidamente se muestra el porcentaje del valor añadido de manufactura (MVA) de los sectores de industria básica de metales y fabricación de productos metálicos, respecto al total de sectores industriales de los países considerados, siguiendo la misma clasificación industrial que la utilizada en la figura anterior. Este indicador permite interpretar el peso de dicho sector en el tejido industrial del país.

⁶ La clasificación distingue los sectores siguientes: 31-Food, beverages and tobacco, 32-Textiles, wearing apparel, leather and footwear, 33-Wood products including furniture, 34-Paper, printing and publishing, 35-Chemicals, petroleum, rubber and plastic products, 36-Non-metallic mineral products, 37-Basic metals, 38-Metal products, incl. machinery and equipment, 39-Other manufacturing industries.

⁷ No se dispone de datos de crecimiento del MVA del sector de industria básica de metales de Albania, Bosnia-Herzegovina, Chipre, Líbano, Libia, Malta y Mónaco, ni del crecimiento del MVA del sector de fabricación de productos metálicos en Albania, Bosnia-Herzegovina, Líbano y Mónaco, así como del crecimiento del MVA total de Libia, Serbia y Montenegro.

Figura 25

CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR METALÚRGICO AL VALOR AÑADIDO DE MANUFACTURA DE CADA PAÍS⁸



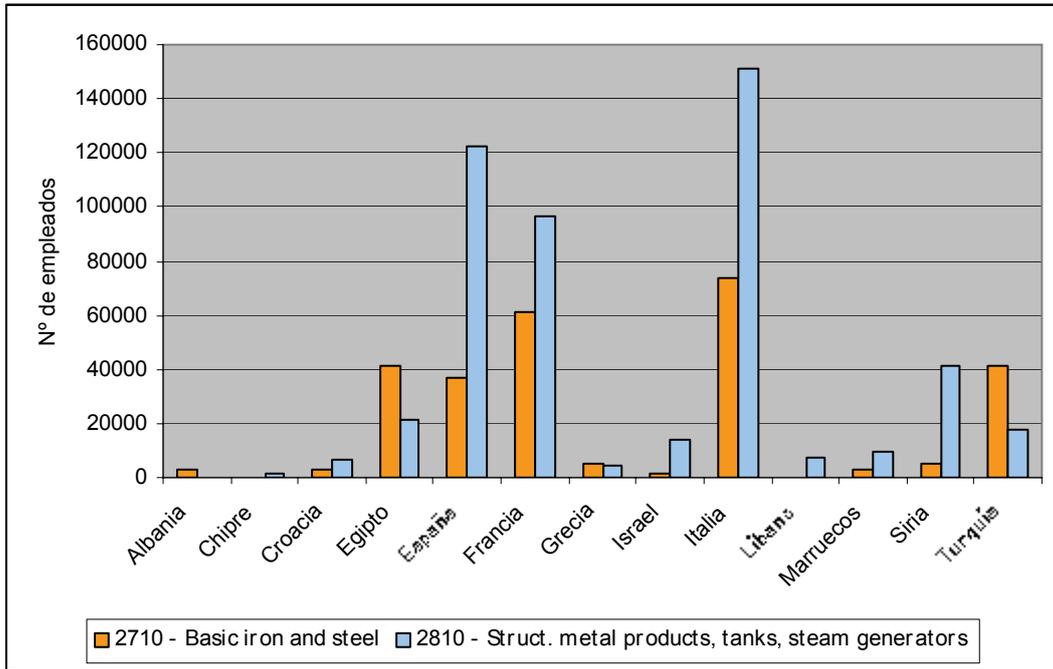
Fuente: Datos extraídos de las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

El gráfico muestra cómo el sector de fabricación de productos metálicos es, dentro del sector metalúrgico en general, el que más contribuye al MVA de cada país, frente a un valor más reducido de la industria básica de metales. En general, los países del norte del Mediterráneo son los que poseen un mayor porcentaje de MVA atribuido al sector metalúrgico (Francia, Italia y España), no obstante, destacan también Israel y Eslovenia con unos valores muy altos para el sector de fabricación de productos metálicos, segundo y tercer valor más elevado respectivamente. Países del sur y el este del Mediterráneo como Egipto, Turquía, Croacia y Malta, también presentan unos niveles elevados de contribución del sector de fabricación de productos metálicos al MVA del país superiores al 20%.

Por otra parte, el número de empleados es también un indicador adicional de la producción industrial, por lo que la siguiente figura recoge este dato en los siguientes países del Mediterráneo: Albania, Chipre, Croacia, Egipto, España, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Marruecos, Siria y Turquía. En este caso se ha seguido la clasificación del International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), 3- and 4-digit levels of revision 3.

⁸ No se dispone de datos de Albania, Bosnia-Herzegovina, Líbano, Libia y Mónaco.

Figura 26
NÚMERO DE EMPLEADOS EN EL SECTOR METALÚRGICO



Fuente: Datos extraídos de las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

La figura muestra cómo los países más desarrollados del Mediterráneo (España, Francia e Italia) son los que presentan un número más elevado de empleados en este tipo de industria, sin embargo, es necesario destacar el caso de países como Egipto, Siria y Turquía donde dicho sector está ganando terreno.

EO

IA



**Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia (CAR/PL)**

París, 184, 3ª planta - 08036 Barcelona (España)

Tel.: + 34 93 415 11 12 - Fax: + 34 93 237 02 86

E-mail: cleanpro@cema-sa.org

<http://www.cema-sa.org>