

Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).

Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles
en la Industria de Procesos de Metales Férreos

Documento BREF



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE



Comisión Europea

Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC)

Documento de referencia
de Mejores Técnicas Disponibles
en la Industria de Procesos de Metales Férreos

Documento BREF



2006

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://publicaciones.administración.es>

Versión: Diciembre 2001

Traducción al español realizada por el
Ministerio de Medio Ambiente

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General técnica
Ministerio de Medio Ambiente ©

ISBN: 84-8320-342-1
NIPO: 310-06-045-6
Depósito Legal: M. 20.800-2006
Imprime: FARESO, S. A.

Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro.

NOTA INTRODUCTORIA

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados -industria, autoridades competentes y público en general- de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CC.AA.

Se crea en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados Miembros y las industrias para la elección de estas MTDs que deben servir de referencia común para los Estados Miembros a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

A tal efecto, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (**BREF**).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales y, consecuentemente, lograr la mejora del medio ambiente en su conjunto.

El Grupo de Trabajo correspondiente a la Industria de Procesos de Metales Férreos comenzó sus trabajos en el año 1998 y el documento final fue aprobado por la Comisión el 16 de enero de 2002: *Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry*. Está disponible exclusivamente en versión inglesa, en la web de la Oficina Europea de IPPC (<http://eippcb.jrc.es>), así como en la web de la Comisión Europea (<http://europa.eu.int/comm/environment/pubs/industry.htm>).

El Ministerio de Medio Ambiente ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de Mejores Técnicas Disponibles; este documento, en cumplimiento de las exigencias legales, obedece a una serie de traducciones emprendidas por el Ministerio de Medio Ambiente sobre documentos BREF europeos.

Se pretende dar un paso más en la adecuación progresiva de la industria española a los principios de la Ley 16/2002, cuya aplicación efectiva debe conducir a una mejora del comportamiento ambiental de las instalaciones afectadas, que las haga plenamente respetuosas con el medio ambiente.

La versión española de este documento está disponible en la web de EPER España (www.eper-es.com).

RESUMEN GENERAL

Este Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesos de Metales Férreos refleja el intercambio de información realizado conforme al Artículo 16(2) de la Directiva del Consejo 96/61/CE. El documento debe contemplarse a la luz del prefacio, en el que se describen sus objetivos y su uso.

Este documento consta de 4 partes (A – D). Las partes A, B y C cubren los distintos subsectores industria siderúrgica: A) conformación en caliente y en frío; B) recubrimiento en continuo y C) galvanización en discontinuo. Esta estructura se escogió debido a las diferencias en la naturaleza y la escala de las actividades cubiertas por el término “transformación de metales férreos”.

La parte D no cubre un subsector industrial, sino que comprende las descripciones técnicas de una serie de medidas medioambientales que son técnicas a tener en consideración en la determinación de las MTD en más de un subsector. Esto se hizo con el fin de evitar la repetición de las descripciones técnicas en los tres capítulos 4. Estas descripciones deben contemplarse en el contexto de la información más específica, relativa a su aplicación en subsectores individuales, que se facilita en el capítulo 4 correspondiente.

Parte A: Conformación en caliente y en frío

La parte de conformación del sector de transformación de metales férreos comprende distintos métodos de fabricación, como laminación en caliente, laminación en frío y trefilado del acero. Se fabrica una gran variedad de productos semiacabados y acabados con distintas líneas de producción. Los productos son: formas planas laminadas en caliente y en frío, formas alargadas laminadas en caliente o estiradas, tubos y alambre.

Laminación en caliente

En la laminación en caliente, el tamaño, la forma y las propiedades metalúrgicas del acero se modifican comprimiendo repetidamente el metal caliente (temperatura entre 1050 y 1300 °C) entre rodillos alimentados eléctricamente. El acero inicial para la laminación en caliente tiene diversas formas – lingotes colados, planchones, palanquillas, tochos, perfiles en bruto – según el producto a fabricar. Los productos obtenidos por laminación en caliente se clasifican normalmente en dos tipos básicos según su forma: planos y alargados.

En 1996, la producción comunitaria total de productos laminados en caliente fue de 127,8 millones de toneladas, de las que los productos planos supusieron 79,2 millones de toneladas (aprox. 62%) [Stat97]. Alemania es el mayor fabricante de productos planos, (con 22,6 millones de toneladas), seguido de Francia (10,7 millones), Bélgica (9,9 millones), Italia (9,7 millones) y el Reino Unido (8,6 millones). La mayor parte de los productos planos laminados en caliente son flejes anchos.

El 38% restante de la producción, aproximadamente 48,5 millones de toneladas, son productos alargados. Los dos principales países fabricantes son Italia (11,5 millones de toneladas) y Alemania (10,3 millones); seguidos del Reino Unido (7 millones de toneladas) y España (6,8 millones de toneladas). La mayor parte del sector de productos alargados en términos de tonelaje es la producción de alambón, que representa aproximadamente un tercio de la producción total, seguido de barras para hormigón y barras comerciales cuya cuota aproximada es de un cuarto de la producción cada una.

Con respecto a la fabricación de tubo de acero, la UE es el mayor productor mundial, con 11,8 millones de toneladas en 1996 (20,9 % de la producción mundial total), seguido de Japón y EE.UU. La industria europea de tubo de acero tiene una estructura muy concentrada. Cinco países – Alemania (3,2 millones de toneladas), Italia (3,2 millones), Francia (1,4 millones), Reino Unido (1,3 millones) y España (0,9 millones) se reparten aproximadamente el 90% de la producción total de la UE. En algunos países, una sola empresa puede representar el 50% o más de la producción nacional. Además de los principales fabricantes integrados de tubo de acero (que producen principalmente tubos soldados), existe un número relativamente grande de pequeñas y medianas empresas que son independientes. Algunos fabricantes, con frecuencia pequeños en términos de tonelaje y que operan en mercados con gran valor añadido, se concentran en la fabricación de tubos de dimensiones y calidades especiales de acuerdo con las especificaciones de clientes concretos.

Las plantas de laminación en caliente utilizan normalmente los siguientes pasos de proceso: acondicionamiento del material de alimentación (desbarbardo, desbaste); calentamiento a la temperatura de laminación; descascarillado; laminación (desbaste con reducción de anchura, laminación a las dimensiones y propiedades finales) y acabado (recortado, cortado en bandas, cortado). Se clasifican según el tipo de producto que fabrican y por sus características de diseño: bloomings (laminadoras de palanquillas) y laminadoras de planchón, laminadoras de bandas en caliente, laminadoras de chapa, laminadoras de pletinas y redondos, laminadoras estructurales y seccionales y laminadoras de tubos.

Los principales problemas medioambientales de la laminación en caliente son las emisiones a la atmósfera, especialmente NO_x y SO_x; el consumo energético de los hornos; las emisiones de polvo (fugitivas) durante la manipulación de los productos, la laminación o el tratamiento mecánico superficial; los efluentes que contienen aceites y sólidos y los residuos sólidos que contienen aceite.

Con respecto a las emisiones de NO_x de los hornos de recalentar y de tratamiento térmico, la industria informa que las concentraciones oscilan entre 200 y 700 mg/Nm³ y las emisiones específicas entre 80 y 360 g/T, mientras otras fuentes señalan valores de hasta 900 mg/ Nm³ y, con precalentamiento del aire de combustión hasta 1000 °C, incluso superiores a 5000 mg/ Nm³. Las emisiones de SO₂ de los hornos dependen del combustible empleado; los rangos indicados son de 0,6 a 1700 mg/ Nm³ y 0,3 a 600 g/T. La dispersión del consumo de energía en estos hornos fue de 0,7 a 6,5 GJ/T, siendo el rango típico de 1 a 3 GJ/T.

En cuanto a las emisiones de polvo generadas durante la manipulación de los productos, la laminación o el tratamiento mecánico superficial, se presentaron muy pocos datos relativos a los procesos individuales. Los rangos de concentración registrados fueron:

- Desbarbardo: 5 – 115 mg/ Nm³.
- Desbaste: < 30 – 100 mg/ Nm³.
- Trenes de laminación: 2 – 50 mg/ Nm³.
- Manipulación de bobinas: aproximadamente 50 mg/ Nm³.

Las emisiones al agua de la laminación en caliente están compuestas básicamente por efluentes que contienen aceites y sólidos en valores de 5 a 200 mg/l de sólidos en suspensión y de 0,2 a 10 mg/l de hidrocarburos. Los residuos que contienen aceites del tratamiento de las aguas residuales estaban en el rango de 0,4 – 36 kg/T según el tipo de planta.

Para más detalles y datos de emisión y consumo para otras fases del proceso de laminación en caliente, véase el capítulo A.3, donde se presentan los datos disponibles con información contrastada.

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales de la laminación en caliente se resumen en la Tabla 1. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla, excepto en los puntos donde se indica explícitamente una “discrepancia”.

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares	
• Recogida de derrames y vertidos por medios adecuados, ej. fosos de seguridad y desagües.	
• Separación del aceite del agua contaminada y reutilización del aceite recuperado.	
• Tratamiento del agua separada en la depuradora.	
Desbarbado mecánico	
• Recintos para desbarbado mecánico y reducción del polvo con filtros de tejido	Discrepancia sobre el nivel de polvo: $< 5 \text{ mg/Nm}^3$ $< 20 \text{ mg/Nm}^3$
• Precipitador electrostático cuando no puedan utilizarse filtros de tejido debido a humos muy húmedos.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: $< 10 \text{ mg/Nm}^3$ $20\text{-}50 \text{ mg/Nm}^3$
• Recogida independiente de las cascarillas/virutas del desbarbado.	
Desbaste	
• Recintos para el desbaste mecánico y cabinas especiales equipadas con campanas de extracción para el desbaste manual y reducción de polvo mediante filtros de tejido.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: $< 5 \text{ mg/Nm}^3$ $< 20 \text{ mg/Nm}^3$
Todos los procesos de rectificación superficial	
• Tratamiento y reutilización del agua de los procesos de rectificación superficial (separación de sólidos).	
• Reciclaje interno o venta para reciclaje de las cascarillas, virutas y polvo.	

Tabla 1: Puntos clave relativos a las mejores técnicas disponibles y a los niveles de emisión/consumo asociados a la laminación en caliente

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Hornos de recalentar y de tratamiento térmico	
Medidas generales, como por ejemplo relativas al diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de los hornos, según se describe en el capítulo A.4.1.3.1.	
Evitar el exceso de aire y la pérdida de calor durante la carga mediante medidas operativas (apertura mínima de la puerta para cargar) o medios estructurales (instalación de puertas multisegmentadas para mayor estanqueidad).	
- Selección cuidadosa del combustible y aplicación de procesos de automatización y control de los hornos para optimizar las condiciones de encendido. - para gas natural - para todos los demás gases y mezclas de gases - para fuel oil (< 1 % S)	Niveles de SO ₂ : < 100 mg/Nm ³ < 400 mg/Nm ³ hasta 1700 mg/Nm ³
Discrepancia: - La limitación del contenido en sulfuros del combustible a < 1 % es MTD. - Un límite más bajo de S o medidas adicionales de reducción de SO₂ es MTD.	
- Recuperación de calor en el gas de escape mediante el precalentamiento del material de alimentación. - Recuperación de calor en el gas de escape mediante quemadores regenerativos o recuperativos. - Recuperación de calor en el gas de escape con calderas de calor perdido o refrigeración por evaporación (si se necesita vapor)	Ahorro energético del 25 - 50 % y potenciales de reducción de NOx de hasta el 50% (según el sistema).
Quemadores de segunda generación con bajo nivel de NOx	NOx 250 - 400 mg/Nm ³ (3% O ₂) sin precalentamiento del aire. Se indica un potencial de reducción de NOx de alrededor del 65% en comparación con los quemadores convencionales.
Limitación de la temperatura de precalentamiento del aire. Compensación de ahorro energético frente a emisión de NOx: Se deben sopesar las ventajas de reducción del consumo energético y de SO ₂ , CO ₂ y CO frente a las desventajas de un posible aumento de las emisiones de NOx.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: < 5 mg/Nm ³ < 20 mg/Nm ³
Discrepancia: - La RCS y la RNCS son MTD. - No hay bastante información disponible para decidir si la RCS o la RNCS son MTD.	Niveles alcanzados ¹ : RCS: NOx < 320 mg/Nm ³ RNCS: NOx < 205 mg/Nm ³ , Desprendimiento de amoníaco 5 mg/Nm ³ .
- Reducción de la pérdida de calor en los productos intermedios; minimizando el tiempo de almacenamiento y aislando los planchones/palanquillas (caja de conservación de calor o cubiertas térmicas) según el esquema de producción. - Modificación del almacenamiento logístico e intermedio para permitir el máximo índice de carga en caliente, carga directa o laminación directa (el máximo índice depende de los esquemas de producción y de la calidad del producto).	
Para las plantas nuevas, moldeo de precisión y moldeo de láminas en tanto que el producto a laminar pueda producirse mediante esta técnica.	
¹ Niveles de emisiones registrados en única planta existente de RCS (horno de balancín) y en la única planta existente de RNCS (horno de balancín).	

Tabla 1 (continuación): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en caliente

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Decapado	
Control del material para reducir el consumo de agua y de energía.	
Transporte del material laminado	
Reducir las pérdidas de energía no deseadas mediante cajas de bobinas u hornos de recuperación de bobinas.	
Tren de acabado	
Pulverizadores de agua seguidos de un tratamiento del agua residual en el que los sólidos (óxidos de hierro) se separan y recogen para la reutilización del contenido en hierro.	
Sistemas de extracción con tratamiento del aire extraído mediante filtros de tejido y reciclaje del polvo recogido.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: < 5 mg/Nm ³ < 20 mg/Nm ³
Aplanado y soldadura	
Campanas de extracción y reducción subsiguiente mediante filtros de tejido.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: < 5 mg/Nm ³ < 20 mg/Nm ³
Refrigeración (máquinas, etc.)	
Sistemas independientes de refrigeración por agua en circuito cerrado.	
Tratamiento del agua residual / agua de proceso con cascarilla y aceite	
Circuitos cerrados con tasas de recirculación > 95%.	
Reducción de las emisiones mediante una combinación adecuada de técnicas de tratamiento (descritas con detalle en los capítulos A.4.1.12.2 y D.10.1).	SS: < 20 mg/l Aceite: < 5 mg/l ⁽¹⁾ Fe: < 10 mg/l Cr _{tot} : < 10 mg/l ⁽²⁾ Ni: < 0,2 mg/l ⁽²⁾ Zn: < 2 mg/l
- Recirculación de la cascarilla de laminación recogida en el tratamiento con agua al proceso metalúrgico. - Los residuos/lodos aceitosos recogidos deben ser deshidratados para permitir el aprovechamiento térmico o su desecho seguro.	
Prevención de la contaminación por hidrocarburos	
- Controles preventivos periódicos y mantenimiento preventivo de cierres, juntas, bombas y tuberías. - Uso de cojinetes y juntas de diseño moderno para los rodillos de trabajo y de soporte, instalación de indicadores de fugas en las líneas de lubricante (ej: en los cojinetes hidrostáticos). - Recogida y tratamiento del agua de desagüe contaminada en los diversos puntos de consumo (agregados hidráulicos), separación y uso de la fracción de aceite (ej: utilización térmica mediante inyección en alto horno). Ulterior tratamiento del agua separada bien en la planta depuradora o en plantas de acabado con ultrafiltración o evaporador de vacío.	Reducción del consumo de aceite en un 50-70%
¹ Aceite basado en mediciones aleatorias. ² 0,5 mg/l en plantas que utilizan acero inoxidable.	

Tabla 1 (continuación): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en caliente

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Talleres de laminación	
• Uso de desengrasante base acuosa siempre que sea técnicamente aceptable para el grado de limpieza requerido. • Si tienen que usarse disolventes orgánicos, debe darse preferencia a disolventes no clorados. • La recogida de la grasa eliminada de los muñones de rodillo y su eliminación apropiada, ej. mediante incineración. • Tratamiento del lodo de desbaste mediante separación magnética para recuperación de partículas metálicas y su recirculación al proceso de fabricación de acero. • Eliminación de los residuos que contienen aceite y grasa de las muelas para desbaste, ej. mediante incineración. • Deposición de los residuos minerales de las muelas para desbaste y de las muelas desgastadas en vertederos. • Tratamiento de los líquidos de refrigeración y emulsiones de corte para la separación de agua/aceite. Eliminación apropiada de los residuos aceitosos, como mediante incineración. • Tratamiento de los efluentes del agua residual de refrigeración y desengrase, así como de la separación de emulsiones en la planta depuradora de la planta de laminación en caliente. • Reciclaje de las virutas de acero y hierro al proceso de fabricación del acero.	

Tabla 1 (continuación): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en caliente

Laminación en Frío

En la laminación en frío, las propiedades de los productos planos (bandas) laminados en caliente, como por ejemplo, el espesor o las características mecánicas y técnicas, se modifican mediante compresión entre los rodillos sin calentamiento previo del material de entrada. Este se obtiene en forma de bobinas procedentes de trenes de laminación en caliente. Las fases y la secuencia del proceso en una planta de laminación en frío dependen de la calidad del acero tratado. Las siguientes fases son las que se siguen para **aceros de baja aleación y aceros aleados (acero al carbono)**: decapado con ácidos; laminación para reducción del espesor; recocido o tratamiento térmico para regenerar la estructura cristalina; laminación de temple o de efecto superficial para obtener las propiedades mecánicas, la forma y la rugosidad superficial deseadas, y acabado.

La ruta de proceso para **aceros de alta aleación (acero inoxidable)** incluye fases adicionales a las de los aceros al carbono. Las principales etapas del proceso son: recocido y decapado en caliente de las bandas; laminación en frío; recocido y decapado final (o recocido brillante); laminación de efecto superficial y acabado.

Los productos laminados en frío son principalmente bandas y chapa (espesor convencional de 0,16 a 3 mm) con un acabado superficial de alta calidad y propiedades metalúrgicas precisas para su aplicación en productos de altas especificaciones. La producción de bandas anchas laminadas en frío (plancha y placa) fue de alrededor de 39,6 millones de toneladas en 1996 [EUROFER CR]. Los principales países productores fueron Alemania con 10,6 millones de toneladas, Francia con 6,3 millones, Italia con 4,3 millones, Reino Unido con 4,0 millones y Bélgica con 3,8 millones de toneladas.

La producción de bandas estrechas laminadas en frío, obtenidas por laminación en frío de bandas laminadas en caliente o mediante cortado y laminación en frío de chapas laminadas en caliente, ascendió

a unos 8,3 millones de toneladas en 1994 (2,7 millones de toneladas de bandas laminadas en frío y 5,5 millones de toneladas de bandas cortadas).

La industria de bandas laminadas en frío en la UE está a la vez concentrada y fragmentada. Las 10 mayores compañías representan el 50% de la producción, mientras que otras 140 empresas producen el 50% restante. La estructura del sector está marcada por diferencias nacionales en el tamaño de las empresas y la concentración de la industria. La mayoría de las empresas grandes están situadas en Alemania, que domina el mercado con alrededor del 57% de la producción comunitaria (1,57 millones de toneladas en 1994). Sin embargo, la mayoría pueden clasificarse como PYMEs [Bed95].

En 1994, Alemania produjo alrededor del 35% de las bandas cortadas, con 1,9 millones de toneladas, seguida de Italia y Francia, cuya producción respectiva fue de 0,9 millones de toneladas.

Los principales problemas medioambientales de la laminación en frío son: los residuos ácidos y las aguas residuales; los humos del desengrasante, las emisiones de nieblas ácidas y de aceite a la atmósfera; polvo, p. ej. del decapado mecánico y del enderezado; los NO_x generados en el decapado con mezcla de ácidos y los gases de combustión de los hornos.

Por lo que respecta a las emisiones ácidas a la atmósfera de la laminación en frío, pueden provenir de los procesos de decapado y regeneración con ácidos. Las emisiones varían según el proceso de decapado utilizado (básicamente, del ácido utilizado). Para el decapado con ácido clorhídrico se registraron emisiones de HCl de entre 1 y 145 mg/Nm³ máximo (hasta 16 g/t) ; el rango comunicado por la industria es de 10 a < 30 mg/Nm³ (~ 0.26 g/t). Para el decapado con ácido sulfúrico, se registraron emisiones de H₂SO₄ de 1 –2 mg/Nm³ y de 0,05 – 0,1 g/t. Para el decapado de acero inoxidable con mezcla de ácidos, se registraron emisiones de HF en el rango de 0,2 a 17 mg/m³ (0,2 – 3.4 g/t). Además de las emisiones ácidas a la atmósfera, se genera NO_x. El rango de dispersión registrado fue de 3 a ~ 1000 mg/Nm³ (3 – 4000 g/t de emisiones específicas), habiéndose suscitado dudas sobre los niveles inferiores.

Sólo se obtuvieron datos escasos para las emisiones de polvo de las operaciones de manipulación y decapado del acero. Para el decapado mecánico, los rangos de emisiones específicas registrados son de 10 a 20 g/t y los de concentración son de < 1 a 25 mg/m³.

Para más detalles y para datos sobre emisiones y consumos para otras fases del proceso de laminación en frío, véase capítulo A.3 donde se presentan los datos disponibles con información contrastada.

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales de la laminación en frío se resumen en la Tabla 2. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla, excepto en los puntos donde se indica explícitamente una “discrepancia”.

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Enderezado	
• Cortinas de agua seguidas de tratamiento del agua residual en el que se separan y recogen los sólidos para la reutilización de su contenido de hierro. • Sistemas de extracción con tratamiento del aire extraído mediante filtros de tejido y reciclaje del polvo recogido.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: $< 5 \text{ mg/Nm}^3$ $< 20 \text{ mg/Nm}^3$
Decapado con ácido	
Deben aplicarse, en la medida de lo posible, las medidas generales para reducir el consumo de ácido y la generación de residuos ácidos descritas en el capítulo A.4.2.2.1., especialmente las técnicas siguientes: • Prevención de la corrosión del acero mediante técnicas apropiadas de almacenamiento y manipulación, refrigeración etc. • Reducción de la carga sobre la fase de decapado con ácido mediante un predecapado mecánico en una unidad cerrada, con un sistema de extracción y filtros de tejido. • Decapado electrolítico previo. • Uso de instalaciones de decapado con ácido optimizadas y modernas (decapado con pulverizadores o turbulencia en lugar de decapado por inmersión). • Filtrado mecánico y recirculación para una mayor vida útil de los baños de decapado. • Intercambio iónico o electrodiálisis con corriente lateral (para mezcla de ácidos) u otro método de recuperación del ácido libre (descritos en el capítulo D.6.9) para la regeneración del baño.	
Decapado con HCl	
• Reutilización del HCl utilizado. • o regeneración del ácido mediante pulverizadores de tostación por rociado o lecho fluidizado (o proceso equivalente) con recirculación del regenerado; sistema depurador de aire como el descrito en el capítulo 4 para la planta de regeneración; reutilización del subproducto de Fe_2O_3.	Polvo 20 – 50 mg/Nm^3 HCl 2 – 30 mg/Nm^3 SO_2 50 – 100 mg/Nm^3 CO 150 mg/Nm^3 CO_2 180000 mg/Nm^3 NO_2 300 – 370 mg/Nm^3
• Equipo totalmente cerrado o provisto de campanas de extracción y depuración del aire extraído.	Polvo 20 – 50 mg/Nm^3 HCl 2 – 30 mg/Nm^3
Decapado con H_2SO_4	
• Recuperación del ácido libre mediante cristalización; depuradores de aire para la planta de recuperación.	H_2SO_4 5 – 10 mg/Nm^3 SO_2 8 – 20 mg/Nm^3
• Equipo totalmente cerrado o equipo equipado con campanas de extracción y depuración del aire extraído.	H_2SO_4 1 – 2 mg/Nm^3 SO_2 8 – 20 mg/Nm^3

Tabla 2: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en frío

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Decapado con mezcla de ácidos	
- Recuperación del ácido libre (mediante intercambio iónico con corriente lateral o diálisis) - o regeneración de los ácidos: - mediante tostación por pulverización - o mediante proceso de evaporación	Polvo < 10 mg/Nm ³ HF < 2 mg/Nm ³ NO ₂ < 100 mg/Nm ³ HF < 2 mg/Nm ³ NO ₂ < 100 mg/Nm ³
- Equipo cerrado en cabina con campanas de extracción y depuración del aire extraído, y además - limpieza con H₂O₂, urea, etc, - supresión de NOx agregando H₂O₂ o urea al baño de decapado, - o SCR.	Para todos los casos: NOx 200 – 650 mg/Nm ³ HF 2 – 7 mg/Nm ³
Alternativa: decapado sin ácido nítrico más equipo cerrado en cabina o equipo provisto de campanas de extracción y depuración del aire extraído.	
Calentamiento de ácidos	
- Calentamiento indirecto mediante intercambiadores de calor o, si debe producirse primero vapor para los intercambiadores, mediante combustión sumergida. - No utilizar inyección directa de vapor.	
Minimización del agua residual	
- Sistemas de lavado en cascada con reutilización interna del excedente de caudal (ej: en baños de decapado o en el lavado). - Ajuste y gestión precisa del sistema de 'regeneración-lavado de los ácidos de decapado'.	
Tratamiento del agua residual	
Tratamiento por neutralización, floculación, etc. cuando no pueda evitarse la purga de agua ácida del sistema.	SS < 20 mg/l Aceite < 5 mg/l ¹ Fe < 10 mg/l Cr _{tot} < 0,2 mg/l ² Ni < 0,2 mg/l ² Zn < 2 mg/l
Sistemas de emulsión	
- Prevención de la contaminación mediante el control regular de juntas, tuberías, etc. y control de fugas. - Monitorización continua de la calidad de emulsión. - Utilización de circuitos de emulsión con limpieza y reutilización de emulsión para prolongar su vida útil. - Tratamiento de la emulsión gastada para reducir el contenido de aceite, ej. mediante ultrafiltración o separación electrolítica.	H ₂ SO ₄ 5 – 10 mg/Nm ³ SO ₂ 8 – 20 mg/Nm ³
Laminación y revenido	
Sistema de extracción con tratamiento del aire extraído mediante eliminadores de nieblas (separador de gotas).	Hidrocarburos: 5 – 15 mg/Nm ³
¹ Aceite basado en mediciones aleatorias. ² Para acero inoxidable < 0,5 mg/l.	

Tabla 2 (continuación): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en frío

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Desengrase	
• Circuito de desengrase con limpieza y reutilización de la solución desengrasante. Medidas apropiadas de limpieza son los métodos mecánicos y la filtración con membrana, como se describe en el capítulo A.4. • Tratamiento de la solución desengrasante utilizada mediante separación electrolítica de la emulsión o ultrafiltración para reducir el contenido en aceite; reutilización de la fracción de aceite separada; tratamiento (neutralización, etc.) de la fracción de agua separada antes de su vertido. • Sistema de extracción para el humo de desengrase y depuración.	
Hornos de recocido	
• Para hornos continuos, quemadores de baja emisión de NOx.	NOx: 250 - 400 mg/Nm ³ sin precalentamiento del aire, 3% O ₂ . Potencial de reducción del 60% para NOx (y 87% para CO).
• Precalentamiento del aire de combustión mediante quemadores regenerativos o recuperativos, o • precalentamiento del material con el gas de escape.	
Aplanado y soldadura	
• Campanas de extracción con reducción del polvo mediante filtros de tejido.	Discrepancia sobre el nivel de polvo: < 3 mg/Nm ³ < 20 mg/Nm ³
Refrigeración (máquinas, etc.)	
• Sistemas independientes de refrigeración por agua en circuito cerrado.	
Talleres de laminación	
• Véase las MTD indicadas para talleres de laminación en caliente.	
Subproductos metálicos	
• Recogida de la chatarra, cabezas y colas y recirculación al proceso metalúrgico	

Tabla 2 (continuación): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para la laminación en frío

Trefilado

El trefilado es un proceso en el que los alambres o los alambres se reducen en tamaño estirándolos a través de aberturas cónicas de una sección transversal menor, denominadas trefilas. El material de entrada es normalmente alambres de diámetros entre 5,5 y 16 mm, obtenidos de trenes de laminación en caliente en forma de bobinas. Una trefilería típica consta de las siguientes líneas de proceso:

- Pretratamiento del alambres (decapado mecánico, decapado con ácido).
- Trefilado en seco o húmedo (normalmente varios estirados con tamaños decrecientes de las trefilas).
- Tratamiento térmico (recocido continuo/discontinuo, temple patenting, temple en aceite).
- Acabado.

La Unión Europea tiene la mayor industria mundial de trefilado, seguida de Japón y Norteamérica. Produce alrededor de unos 6 millones de toneladas de alambre al año. La producción del sector engloba los distintos productos como alambre de espinos, rejillas, telas metálicas, mallas, clavos, etc., y alcanza más de 7 millones de toneladas al año. La industria europea de trefilado de alambre se caracteriza por el gran número de medianas empresas especializadas. No obstante, la producción del sector está dominada por unos pocos productores grandes. Se estima que alrededor del 5% de las empresas fabrican el 70% de la producción del sector (y un 25% de las empresas produce el 90%).

Durante los últimos 10 años las empresas independientes de trefilado de alambre se han ido integrando verticalmente. Aproximadamente un 6% de las trefilerías de Europa son productores integrados que representan alrededor del 75% de la producción total de alambre de acero [C.E.T].

El mayor productor de alambre de acero es Alemania, con el 32% (alrededor de 1,09 millones de toneladas) de la producción de alambre de la UE, seguido de Italia (aprox. 22 %, 1,2 millones de toneladas), Reino Unido, Benelux (principalmente Bélgica), Francia y España.

Los principales aspectos medioambientales del trefilado de alambre son: emisiones a la atmósfera del decapado con ácidos, agua residual y residuos ácidos; polvo de jabón fugitivo (trefilado en seco), lubricante y efluentes utilizados (trefilado por vía húmeda), gases de combustión de los hornos y emisiones atmosféricas, y residuos con contenido de plomo de los baños de plomo.

Por lo que respecta a las emisiones a la atmósfera del decapado con ácidos, se han registrado concentraciones de HCl de 0 a 30 mg/Nm³. En el recocido continuo y en el temple patenting se utilizan baños de plomo, lo que genera residuos con plomo (1 - 15 kg/t y 1 - 10 kg/t respectivamente). Las emisiones atmosféricas de Pb registradas para el temple patenting son de < 0,02 a 1 mg/Nm³, y las concentraciones de Pb en el caudal excedente del agua de enfriamiento para el temple son de 2 a 20 mg/l.

Para más detalles y para datos sobre emisiones y consumos para otras fases del proceso de trefilado, véase el capítulo A.3, en el que se presentan los datos disponibles con información contrastada.

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales del trefilado se resumen en la Tabla 3. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla, excepto en los puntos donde se indica explícitamente una “discrepancia”.

Mejores Técnicas Disponibles / Discrepancias sobre las Mejores Técnicas Disponibles	Niveles asociados de emisiones y consumos / Discrepancias sobre los niveles asociados
Decapado en discontinuo con ácido	
• Estricto control de los parámetros del baño: temperatura y concentración. • Operación dentro de los límites dados en la parte D/capítulo D.6.1 “Funcionamiento del Baño de Decapado Abierto”. • Para baños de decapado con altas emisiones de vapores, como por ejemplo un baño de HCl calentado o concentrado: instalación de extracción lateral y posible tratamiento del aire de extracción tanto para las instalaciones nuevas como para las ya existentes.	HCl 2 – 30 mg/Nm ³
Decapado con ácido	
• Decapado en Cascada (capacidad > 15.000 toneladas de alambrón al año), o recuperación de la fracción de ácido libre y reutilización en la planta de decapado. • Regeneración externa del ácido utilizado. • Reciclaje del ácido consumido como materia prima secundaria. • Decapado sin ácido, ej. por granallado, si los requisitos de calidad lo permiten. • Lavado en cascada a contracorriente.	
Trefilado en seco	
• Colocación de la trefiladora en una cabina (y conexión a un filtro o dispositivo similar en caso necesario) para todas las trefiladoras nuevas con velocidad de trefilado ≥ 4 m/s.	
Trefilado por vía húmeda	
• Limpieza y reutilización del lubricante de trefilado. • Tratamiento del lubricante utilizado para reducir el contenido de aceite de los vertidos y/o reducir el volumen de residuos, ej. mediante descomposición química, separación electrolítica de emulsiones o ultrafiltración. • Tratamiento de la fracción acuosa evacuada.	
Trefilado en seco y por vía húmeda	
• Circuitos cerrados de agua de refrigeración. • No utilizar sistemas de agua de refrigeración abiertos.	
Hornos de recocido discontinuo, hornos de recocido continuo para acero inoxidable y hornos utilizados en el revenido y en el temple en aceite	
• Combustión de la purga de gas protector.	
Recocido continuo del alambre bajo en carbono y temple patenting	
• Buenas medidas de mantenimiento, como se describe en el capítulo A.4.3.7, para el baño de plomo. • Separar el almacenaje de los residuos que contengan Pb, a resguardo de la lluvia y el viento. • Reciclaje de los residuos que contengan Pb en la industria de metales no férreos. • Funcionamiento en circuito cerrado del baño de enfriamiento.	Pb < 5 mg/Nm ³ CO < 100 mg/Nm ³ TOC < 50 mg/Nm ³
Líneas de temple en aceite	
• Evacuación de la niebla de aceite de los baños de temple y eliminación de las nieblas de aceite, cuando proceda.	

Tabla 3: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para el trefilado

Parte B: Galvanización en continuo en caliente

En este proceso, se pasa continuamente chapa o alambre de acero a través de un baño de metal fundido. Entre ambos metales tiene lugar una reacción de aleación que produce una perfecta unión entre el recubrimiento y el sustrato.

Metales adecuados para este proceso son aquellos cuyo punto de fusión es lo suficientemente bajo como para evitar alteraciones térmicas en el producto de acero, por ejemplo: el aluminio, el plomo, el estaño y el zinc.

En 1997 la producción de las líneas continuas de galvanización en caliente existentes en la UE ascendió a 15 millones de toneladas. La inmensa mayoría de los recubrimientos que se aplican con este proceso son los zincados, con una presencia testimonial de los aluminizados y, en especial, de los emplomados.

Acero galvanizado	81%
Acero galvanizado y recocido	4%
Galfán	4%
Acero aluminizado	5%
Aluzincado	5%
Ternex (emplomado)	1%

En general, **las líneas de galvanización en continuo de lámina** constan de las siguientes fases:

- Limpieza superficial por tratamiento químico o térmico.
- Tratamiento térmico.
- Inmersión en un baño de metal fundido.
- Tratamiento de acabado.

Y las **plantas de galvanización en continuo de alambre** constan de las siguientes fases:

- Decapado.
- Mordentado.
- Galvanización.
- Acabado.

Los principales problemas medioambientales que afectan a este subsector son las emisiones atmosféricas ácidas, los residuos y las aguas residuales; las emisiones atmosféricas y el consumo de energía de los hornos, los residuos con zinc y las aguas residuales con aceite y cromo.

Para más detalles y para datos sobre emisiones y consumos, véase el capítulo B.3, en el que se presentan los datos disponibles con información contrastada.

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales de la galvanización en continuo en caliente se resumen en la Tabla 4. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla.

Mejores técnicas disponibles	Niveles de emisión y consumo asociados a las MTD
Decapado	
Véase el capítulo sobre MTD de la parte A (laminación en frío).	
Desengrase	
- Desengrase en cascada. - Limpieza y recirculación de la solución desengrasante; los métodos de limpieza adecuados son los que utilizan medios mecánicos y el filtrado por membranas, como se describe en el capítulo A.4. - Tratamiento de la solución desengrasante usada por electrohidrólisis de la emulsión o ultrafiltración para reducir el contenido de aceite; reutilización de la fracción de aceite, por ejemplo, térmicamente; tratamiento (neutralización, etc.) de la fracción de agua. - Tanques cubiertos con sistema de extracción y limpieza del aire extraído mediante un depurador o eliminador de nieblas. - Empleo de rodillos de escurrido para reducir el arrastre.	
Hornos de tratamiento térmico	
- Quemadores de bajo nivel de NOx. - Precalentamiento de aire por medio de quemadores regenerativos o recuperativos. - Precalentamiento de la banda. - Producción de vapor para recuperar calor de los gases de escape.	NOx: 250-400 mg/Nm ³ (3% O ₂) sin precalentamiento de aire. CO: 100-200 mg/Nm ³ .
Recubrimiento por inmersión en caliente	
Recogida selectiva y reciclaje en la industria metalúrgica no férrea de los residuos de zinc, de la escoria o del zinc duro.	
Galvano-recocido	
- Quemadores de bajo nivel de NOx. - Quemadores regenerativos o recuperativos.	NOx: 250-400 mg/Nm ³ (3% O ₂) sin precalentamiento de aire.
Engrase	
Cobertura de la máquina de engrase de bandas, o engrase electrostático.	
Fosfatación y pasivación/cromado	
Baños de proceso cubiertos. Limpieza y reutilización de la solución de fosfatado. Limpieza y reutilización de la solución de pasivación. Empleo de rodillos escurridores. Recogida de la solución de laminación de efecto superficial y tratamiento en la depuradora de aguas residuales.	
Refrigeración (máquinas, etc.)	
Sistemas de agua de refrigeración independientes en circuito cerrado.	
Aguas residuales	
- Tratamiento de las aguas residuales mediante una combinación de sedimentación, filtración y flotación, precipitación o floculación. Técnicas descritas en el capítulo 4 o combinaciones igualmente eficientes de medidas de tratamiento individuales (también descritas en la parte D). - En las depuradoras continuas de tratamiento de aguas residuales ya existentes que sólo alcancen Zn < 4 mg/l, cambiar a tratamiento discontinuo.	SS: < 20 mg/l Fe: < 10 mg/l Zn: < 2 mg/l Ni: < 0,2 mg/l Crtot: < 0,2 mg/l Pb: < 0,5 mg/l Sn: < 2 mg/l

Tabla 4: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para los procesos de galvanización en continuo en caliente.

Aluminización de lámina

Prácticamente se aplican las mismas MTD que en la galvanización en caliente, pero no hace falta depuradora de aguas residuales porque sólo se vierten las aguas utilizadas en la refrigeración.

MTD para el calentamiento:

Incineración de los gases. Sistema de control de la combustión.

Recubrimiento de lámina con plomo-estaño

Mejores técnicas disponibles	Niveles de emisión y consumo asociados a las MTD
Decapado	
Tanques cerrados con ventilación a un lavador húmedo, tratamiento de las aguas residuales de este lavador y del tanque de decapado.	HCl < 30 mg/Nm ³ ⁽¹⁾
Niquelado	
Proceso cerrado, con ventilación a un depurador de proceso húmedo.	
Recubrimiento por inmersión en caliente	
Cuchillas de aire para controlar el espesor del recubrimiento.	
Pasivación	
Un sistema sin enjuague y, por lo tanto, sin aguas de enjuague.	
Engrase	
Máquina de engrase electrostático.	
Aguas residuales	
- Tratamiento de las aguas residuales por neutralización con una solución de hidróxido sódico, floculación o precipitación. - Deshidratación del aglomerado de filtración y desecho en vertedero.	
¹ Valores medios diarios, condiciones estándar de 273°K, 101,3 Pa y gas seco.	

Tabla 5: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo asociados en los procesos de recubrimiento en continuo de lámina con plomo-estaño.

Galvanización de alambre

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales del recubrimiento de alambre se resumen en la Tabla 6. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla.

Mejores técnicas disponibles	Niveles de emisión y consumo asociados a las MTD
Decapado	
- Equipo cerrado o provisto de campanas de extracción y sistema de depuración del aire extraído. - Decapado en cascada en las nuevas instalaciones de capacidad superior a 15.000 toneladas anuales por línea. - Recuperación de la fracción de ácido libre. - Regeneración externa del ácido consumido en todas las instalaciones. - Reutilización del ácido usado como materia prima secundaria.	HCl: 2 - 30 mg/Nm ³ .
Consumo de agua	
Enjuague en cascada, posiblemente en combinación con otros métodos para minimizar el consumo de agua, en todas las instalaciones nuevas y en todas las de gran capacidad (más de 15.000 toneladas anuales).	
Aguas residuales	
Tratamiento de aguas residuales por tratamiento físico-químico (neutralización, floculación, etc.).	SS: < 20 mg/l Fe: < 10 mg/l Zn: < 2 mg/l Ni: < 0,2 mg/l Cr _{tot} : < 0,2 mg/l Pb: < 0,5 mg/l Sn: < 2 mg/l
Mordentado	
- Buenas prácticas de mantenimiento, siendo especialmente importante reducir el arrastre de hierro y un buen mantenimiento del baño. - Regeneración de los baños de mordiente <i>in situ</i> (eliminación del hierro por corriente lateral). - Reutilización externa de la solución de mordiente consumida.	
Galvanización en caliente	
Buenas prácticas de mantenimiento, como se describe en el capítulo B.4.	Polvo < 10 mg/Nm ³ Zinc < 5 mg/Nm ³
Residuos que contienen Zn	
Almacenamiento por separado y a resguardo de la lluvia y el viento, y reutilización en la industria metalúrgica no férrea.	
Agua de refrigeración (después del baño de zinc)	
Circuito cerrado o reutilización de esta agua relativamente pura como agua de reposición para otras aplicaciones.	

Tabla 6: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para los procesos de galvanización en continuo de alambre.

Parte C: Galvanización en discontinuo

La galvanización en caliente es un proceso por el que se recubren las piezas de hierro y acero con zinc para protegerlas contra la corrosión. Las instalaciones de galvanización en discontinuo en caliente se dedican sobre todo a la galvanización general o galvanización en discontinuo, es decir, al tratamiento de artículos diversos para distintos clientes. Los lotes pueden ser muy distintos entre sí, tanto por la cantidad como por el tamaño y naturaleza de las piezas. La galvanización de tubos y tuberías en instalaciones especiales, automáticas o semiautomáticas, no suele considerarse galvanización general.

Los artículos que se tratan en las instalaciones discontinuas de galvanización son piezas de acero, como clavos, tornillos y otras piezas pequeñas, rejas de celosía, piezas de construcción, componentes estructurales, postes de luz y muchas más. En algunos casos, también se tratan tubos en las instalaciones discontinuas convencionales. El acero galvanizado se utiliza en la construcción, el transporte, la agricultura, la transmisión de energía y en cualquier aplicación en la que es imprescindible contar con materiales duraderos y protegidos contra la corrosión.

Este sector trabaja con plazos de entrega cortos y carteras de pedido reducidas, con el fin de prestar un mejor servicio al cliente. Las cuestiones relacionadas con la distribución son importantes, por lo que las instalaciones se sitúan próximas a las concentraciones de mercados. En consecuencia, existe un número relativamente grande de instalaciones (alrededor de 600 en toda Europa) que dan servicio a mercados regionales para reducir al mínimo los costes de distribución y aumentar la eficiencia económica. Sólo unos cuantos productores especializados están dispuestos a transportar ciertas clases de productos a distancias más largas con objeto de aprovechar su mayor grado de especialización o las posibilidades de su fábrica. Las oportunidades para estos operadores especializados son limitadas.

En 1997, la producción de acero galvanizado ascendió a 5 millones de toneladas. La mayor parte correspondía a Alemania con 1,4 millones de toneladas y 185 fábricas. El segundo país productor fue Italia, con 0,8 millones de toneladas y 74 fábricas, seguido del Reino Unido e Irlanda con 0,7 millones de toneladas y 88 fábricas, y Francia con 0,7 millones de toneladas y 69 fábricas.

El proceso de galvanización en discontinuo suele constar de las siguientes fases:

- Desengrase.
- Decapado.
- Mordentado.
- Galvanizado (recubrimiento con metal fundido).
- Acabado.

Las instalaciones de galvanizado comprenden una serie de baños de tratamiento o de proceso. El acero se traslada entre los tanques y se sumerge en los baños por medio de grúas elevadas.

Los principales problemas medioambientales de la galvanización en discontinuo son las emisiones atmosféricas (el HCl del decapado y el polvo y compuestos gaseosos de la caldera), las soluciones de proceso consumida (soluciones desengrasantes, baños de decapado y baños de mordiente), los residuos aceitosos (por ejemplo, los generados por la limpieza de los baños desengrasantes) y los residuos con zinc (polvo de los filtros, ceniza de zinc, zinc duro).

Para más detalles y para datos sobre emisiones y consumos, véase el capítulo C.3, en el que se presentan los datos disponibles con información contrastada.

Los puntos clave relativos a las MTD para cada una de las fases del proceso y los distintos problemas medioambientales de la galvanización en continuo en caliente se resumen en la Tabla 7. Todas las cifras de emisiones se expresan en promedios diarios. Las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 1001,3 kPa y gas seco. Los vertidos de aguas residuales se indican como valor diario promedio de una muestra compuesta en función del caudal a lo largo de 24 horas o a lo largo del tiempo de producción real (para las plantas que no funcionan con tres turnos).

Hubo consenso en el grupo de trabajo técnico sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles asociados de emisiones/consumos presentados en la tabla.

Mejores técnicas disponibles	Niveles de emisión y consumo asociados a las MTD
Desengrase	
• Instalación de una fase de desengrase, a menos que las piezas estén totalmente exentas de grasa. • Óptima gestión del baño para aumentar la eficiencia, por ejemplo, por agitación. • Limpieza de las soluciones de desengrase para prolongar su duración (mediante desespumado, centrifugado, etc.) y recirculación, reutilización de los lodos aceitosos o • “Desengrase biológico” con limpieza <i>in situ</i> (eliminación de la grasa y el aceite que contiene la solución desengrasante) por medio de bacterias.	
Decapado + Descincado	
• Separación de ambas fases a menos que se disponga de un proceso posterior para la recuperación de las soluciones de mezcla de ácidos, ya sea en la propia planta o a través de un contratista externo especializado. • Reutilización de la solución de descincado consumida (externa o interna, por ejemplo, para recuperar el agente de mordentado). En el caso de que ambas etapas estén combinadas: • Recuperación de los elementos de las soluciones “mixtas”, por ejemplo, para producir mordiente; recuperación del ácido para reutilizarlo en la industria de galvanización o para otros productos químicos inorgánicos.	
Decapado con HCl	
• Mantener una estrecha vigilancia de los parámetros de los baños: temperatura y concentración. • Mantener el proceso dentro de los límites indicados en el capítulo D.6.1 “Baño de decapado abierto”. • Si se utilizan baños de HCl calentados o con mayor concentración: instalar un sistema de extracción y tratar el aire extraído (por ejemplo, mediante lavado). • Prestar especial atención al efecto de decapado del baño y utilizar inhibidores para evitar que sea excesivo. • Recuperación de la fracción de ácidos libres de la solución de decapado consumida o regeneración externa de la misma. • Eliminación del zinc del ácido. • Utilizar la solución de decapado consumida para la producción de mordiente. • No utilizar la solución de decapado consumida para neutralización. • No utilizar la solución de decapado consumida para la separación de emulsiones.	HCl: 2-30 mg/Nm ³
Enjuague	
• Buen drenaje entre tranques de pretratamiento. • Enjuague posterior al desengrase y al decapado. • Enjuague estático o en cascada. • Reutilización del agua de enjuague para rellenar los baños de proceso precedentes. Funcionamiento sin producción de aguas residuales (en el caso excepcional de que se produzcan aguas residuales, será necesario aplicarles un tratamiento).	

Tabla 7: Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para los procesos de galvanización en discontinuo.

Mejores técnicas disponibles	Niveles de emisión y consumo asociados a las MTD
Mordentado	
- Es importante controlar los parámetros del baño y optimizar la cantidad de mordiente utilizada para reducir las emisiones en las fases finales del proceso. - En los baños de mordiente: regeneración interna y externa del baño.	
Decapado + Descincado	
- Separación de ambas fases a menos que se disponga de un proceso posterior para la recuperación de las soluciones de mezcla de ácidos, ya sea en la propia planta o a través de un contratista externo especializado. - Reutilización de la solución de descincado consumida (externa o interna, por ejemplo, para recuperar el agente de mordentado). En el caso de que ambas etapas estén combinadas: - Recuperación de los elementos de las soluciones “mixtas”, por ejemplo, para producir mordiente; recuperación del ácido para reutilizarlo en la industria de galvanización o para otros productos químicos inorgánicos.	
Recubrimiento en caliente	
- Captura de las emisiones de la fase de inmersión mediante la cobertura de la caldera o extracción por el borde y eliminación de polvo mediante filtros de tejido o lavadores húmedos. - Reutilización interna o externa del polvo, por ejemplo, para la producción de mordiente. El sistema de recuperación deberá evitar que el reciclaje del polvo provoque la acumulación de dioxinas, que pueden estar ocasionalmente presentes en bajas concentraciones por anomalías en la instalación.	Polvo < 5 mg/Nm ³
Residuos que contienen Zn	
Almacenamiento independiente y a resguardo de la lluvia y el viento, y reutilización de las sustancias de valor en la industria no férrea o en otros sectores.	

Tabla 7 (cont.): Puntos clave relativos a las MTD y a los niveles de emisión/consumo para los procesos de galvanización en discontinuo.

PREFACIO

1. Categoría del presente documento

Salvo que se indique lo contrario, las referencias a “la Directiva” en el presente documento deberán entenderse referencias a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación (IPPC). Este documento forma parte de una serie en la que se presentan los resultados del intercambio de información entre los Estados Miembros de la Unión Europea y los sectores afectados, con respecto a las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), los trabajos de seguimiento de las mismas y su evolución. Ha sido publicado por la Comisión Europea con arreglo al apartado 2 del artículo 16 de la Directiva y, por lo tanto, debe tenerse en cuenta, de conformidad con el anexo IV de la Directiva, a la hora de determinar las “mejores técnicas disponibles”.

2. Principales obligaciones legales de la Directiva de IPPC y definición de MTD

A fin de ayudar al lector a comprender el contexto legal en el que se ha redactado el presente documento, se describen en este prefacio las disposiciones más importantes de la Directiva IPPC, incluida la definición del término “Mejores Técnicas Disponibles” (MTD). Se trata de una descripción inevitablemente incompleta, de carácter exclusivamente informativo. No tiene valor legal y no modifica ni menoscaba en modo alguno las disposiciones de la Directiva.

La Directiva tiene por objeto la prevención y el control integrados de la contaminación de las actividades relacionadas en su anexo I, en orden a lograr un alto grado de protección del medio ambiente en su conjunto. Aunque el ámbito legal de la Directiva es exclusivamente la protección medioambiental, en su aplicación también deben tenerse en cuenta otros objetivos comunitarios, como garantizar la existencia de las condiciones necesarias para la competitividad de la industria comunitaria.

Más concretamente, en ella se establece un sistema de permisos para ciertas categorías de instalaciones industriales que exige que tanto sus titulares como las autoridades reguladoras realicen un análisis integrado y global del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo global de un enfoque integrado de este tipo debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales, a fin de conseguir un alto grado de protección para el medio ambiente en su conjunto. Para ello, es fundamental el principio general establecido en el artículo 3, por el que los titulares deben tomar todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación, en particular mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento con respecto al medio ambiente.

En el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva se define el término “mejores técnicas disponibles” como “la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente”, y a continuación se incluye la siguiente aclaración adicional de la citada definición:

“mejores”: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

“técnicas”: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación se diseña, construye, mantiene, explota y paraliza;

“disponibles”: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

Además, el anexo IV de la Directiva contiene una lista de “aspectos que deben tenerse en cuenta, con carácter general o en un supuesto particular, cuando se determinen las mejores técnicas disponibles (...), teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención”. Estos aspectos incluyen la información publicada por la Comisión de acuerdo con el apartado 2 del artículo 16.

Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deben tener en cuenta los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, en su caso complementados o sustituidos por parámetros o medidas técnicas equivalentes. De acuerdo con el Artículo 9(4) de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes deben basarse – sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad medioambiental – en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, sino tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso deberán incluir disposiciones relativas a la reducción de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizar un alto nivel de protección para el medio ambiente en su conjunto.

Los Estados miembros tienen la obligación, de acuerdo con el artículo 11 de la Directiva, de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

3. Objetivo del presente documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva obliga a la Comisión a organizar “un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas y su evolución” y a publicar los resultados de tal intercambio.

La finalidad del intercambio de información se establece en el considerando 25 de la Directiva, que estipula que “los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos en el ámbito de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva.”

La Comisión (DG XI) ha creado un foro de intercambio de información (IEF) para contribuir al cumplimiento de las disposiciones del apartado 2 del artículo 16 y en este marco se han creado varios grupos de trabajo técnico. Tanto en el foro como en los grupos de trabajo participan representantes de los Estados Miembros y del sector, de acuerdo con lo establecido en el apartado 2 del artículo 16.

El objetivo de esta serie de documentos es reflejar con precisión el intercambio de información que ha tenido lugar con arreglo a las disposiciones del apartado 2 del artículo 16 y facilitar información de referencia que las autoridades competentes deberán tomar en consideración a la hora de establecer las condiciones de concesión de los permisos. La importante información que estos documentos contienen con respecto a las mejores técnicas disponibles les convierte en instrumentos de gran valor para guiar el comportamiento en materia de medio ambiente.

4. Fuentes de información

En este documento se resume la información obtenida de diversas fuentes, que incluye en especial los conocimientos técnicos de los grupos creados para ayudar a la Comisión en su trabajo, y que ha sido verificada por los servicios de la Comisión. Se agradecen efusivamente todas las aportaciones realizadas.

5. Cómo entender y utilizar el presente documento

La información que contiene el presente documento tiene por objeto servir de punto de partida para el proceso de determinación de las MTD y como base para establecer las condiciones de concesión de los

permisos. Con este fin, deberá tenerse siempre en cuenta el objetivo global de lograr el máximo grado posible de protección para el medio ambiente en su conjunto.

A continuación se describe el tipo de información que contiene cada una de las secciones del documento. En cada una de las secciones A, B y C, los subcapítulos 1 y 2 contienen información general sobre el sector industrial objeto del documento y los procesos industriales utilizados en dicho sector.

Los subcapítulos 3 proporcionan datos e información relativos a niveles de emisión y consumo que reflejan la situación existente en el momento en el que fueron redactados, y en los subcapítulos 4 se describen con más detalle las técnicas de reducción de emisiones y otras técnicas que se consideran las más importantes para determinar las MTD, en términos generales y también como base para establecer las condiciones de concesión de los permisos. Esta información incluye los niveles de emisión y consumo que se pueden alcanzar utilizando la técnica en cuestión, cierta idea de los costes y efectos cruzados imputables a dicha técnica y su grado de aplicabilidad a los diversos tipos de instalaciones que necesitan permisos IPPC, sean nuevas o ya existentes, grandes o pequeñas; no incluye técnicas que generalmente se consideran obsoletas.

Los subcapítulos 5 presentan las técnicas y los niveles de emisión y consumo que se consideran compatibles con las MTD en términos generales. Se trata pues, de dar indicaciones generales relativas a los niveles de emisión y consumo que podrían considerarse una referencia comparativa para las condiciones de concesión de los permisos sobre la base de las MTD, o para el establecimiento de reglas vinculantes generales según el Artículo 9(8). Sin embargo, hay que señalar que en este documento no se proponen valores límite de emisión. Para determinar las MTD es necesario tener en cuenta factores locales y específicos de la instalación, como sus características técnicas, situación geográfica y condiciones ambientales. En el caso de instalaciones ya existentes, también es preciso analizar si su modernización es viable desde el punto de vista técnico y económico. El propio objetivo de conseguir un alto grado de protección para el medio ambiente en su conjunto suele comportar la toma de decisiones transaccionales entre distintos tipos de impacto ambiental, decisiones en las que a menudo influyen consideraciones locales.

Aunque se ha intentado tratar algunas de estas cuestiones, no es posible analizarlas con detalle en el presente documento. Por consiguiente, las técnicas y los niveles presentados en los subcapítulos 5 no tienen por qué ser necesariamente apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un alto grado de protección medioambiental, incluida la máxima reducción de la contaminación transfronteriza o de larga distancia, implica que no es posible establecer las condiciones de concesión de los permisos con arreglo a consideraciones puramente locales. Por ello, es esencial que las autoridades competentes en materia de permisos tengan muy en cuenta la información que contiene el presente documento.

Como las mejores técnicas disponibles cambian con el tiempo, este documento está sujeto a revisión y actualización. Todo comentario o sugerencia debe enviarse a la Oficina Europea de IPPC, emplazada en el Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, cuyas señas se indican a continuación:

World Trade Center
Isla de la Cartuja s/n
E-41092 Sevilla (España)
Teléfono: +34 95 4488 284
Fax: +34 95 4488 426
E-mail: eippcb@jrc.es
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

Ámbito de aplicación

El presente trabajo sobre la transformación de metales férreos está estrechamente relacionado con el trabajo anterior sobre siderurgia primaria y secundaria, que comprendía la producción de hierro y acero hasta el proceso de moldeo. Partiendo de los productos semiacabados (lingotes, planos, tochos y palanquillas) obtenidos de los procesos de colada continua o discontinua, se analizan los procesos de fabricación posteriores (como la laminación en caliente, la laminación y trefilado en frío, la galvanización en caliente y los tratamientos preliminares y finales de los productos de acero moldeados).

La Sección 2.3 a del Anexo I a la Directiva 96/61/CE sólo se nombran explícitamente los trenes de laminación en caliente (> 20 t/h), pero aquí también se tratan los trenes de laminación en frío y procesos conexos, como el decapado y el desengrase.

La Sección 2.3 c del citado anexo se hace referencia a la aplicación de capas de protección de metal fundido (> 2 Tm/h). No se distingue entre la galvanización en caliente de acero bruto y de fabricados de acero. Por lo tanto, en este trabajo se incluye la galvanización en caliente de artículos diversos, también conocida como galvanización general.

No se incluyen en este trabajo las herrerías y fundiciones de metales férreos (Sección 2.3 b y 2.4 del Anexo I), como tampoco la galvanoplastia o los recubrimientos orgánicos aplicados al acero.

Se analizan los siguientes pasos principales de **proceso en continuo**:

- Recalentamiento y tratamiento térmico de los materiales iniciales: planos, tochos, palanquillas y lingotes.
- Procesos de preparación y rectificado superficial: desbarbado, desbaste, descascarillado, desengrase, decapado.
- Modelado del acero: desbaste, laminación en frío y en caliente, trefilado.
- Procesos para obtener productos o materiales de calidades especiales: recocido, laminación de efecto superficial o “skin pass”.
- Galvanización en caliente y acabado.

Con respecto al proceso de **galvanización en discontinuo en caliente** de fabricados de acero, se analizan los siguientes pasos operativos:

- Preparación de las superficies de los fabricados: desengrase, lavado, decapado, mordentado, secado.
- Recubrimiento con metal fundido.
- Postratamiento/acabado: enfriamiento, engrase.

Este documento de referencia está dividido en cuatro partes (A-D). Las partes A, B y C se refieren a los distintos subsectores de la industria de transformación de metales férreos: conformación en frío y en caliente (parte A), galvanización en continuo (parte B) y galvanización en discontinuo (parte C). Se ha optado por esta estructura debido a las grandes diferencias que separan a las distintas actividades que conforman la industria de transformación de metales férreos.

La parte D no se ocupa de un subsector industrial, sino que comprende las descripciones técnicas de varias medidas medioambientales que deben considerarse en la determinación de la MTD para más de un subsector. De este modo se ha evitado repetir las mismas explicaciones en los tres capítulos 4. Estas descripciones deben juzgarse siempre en relación con la información más específica, relativa a la aplicación de la técnica en cada subsector, que se incluye en el capítulo 4 pertinente.

Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesos de Metales Férricos

RESUMEN GENERAL.....	v

PREFACIO	xxv

A.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO 3

A.1.1 Productos planos laminados en caliente	4
A.1.2 Productos alargados laminados en caliente	5
A.1.3 Tubos	6
A.1.4 Productos planos laminados en frío	7
A.1.5 Productos alargados estirados en frío /barras de acero pulido.....	10
A.1.6 Alambre	10

A.2 PROCESOS APLICADOS EN LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO..... 13

A.2.1 Plantas de laminación en caliente	13
A.2.1.1 Visión general del proceso	13
A.2.1.1.1 Bloomings/laminadores de planchones.....	15
A.2.1.1.2 Trenes de laminación en caliente	15
A.2.1.1.3 Trenes de laminación de chapa	18
A.2.1.1.4 Trenes de laminación de barras.....	19
A.2.1.1.5 Trenes de laminación de perfiles	21
A.2.1.1.6 Trenes de laminación de tubos.....	24
A.2.1.2 Rectificación y acondicionamiento del material inicial.....	27
A.2.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico	28
A.2.1.3.1 Hornos discontinuos.....	28
A.2.1.3.2 Hornos continuos	29
A.2.1.4 Descascarillado	30
A.2.1.5 Bordeado	31
A.2.1.6 Desbaste	31
A.2.1.7 Laminación de bandas / tren de acabado	31
A.2.1.8 Laminación de alambros / tren de acabado	31
A.2.1.9 Laminación de chapas	32
A.2.1.10 Transporte del material a laminar entre los trenes de laminación.....	32
A.2.1.11 Líneas de enfriamiento.....	32
A.2.1.12 Producción de chapas y láminas	33
A.2.1.13 Tratamiento térmico de chapas	33
A.2.1.14 Taller de rodillos	34
A.2.1.15 Circuitos de agua / gestión del agua en la plantas de laminación en caliente.....	34
A.2.1.16 Gestión de residuos y subproductos en los trenes de laminación en caliente.....	37
A.2.2 Plantas de laminación en frío.....	39
A.2.2.1 Visión general del proceso	39
A.2.2.2 Decapado de acero aleado y de baja aleación laminado en caliente.....	41
A.2.2.3 Recocido (I) y decapado (I) de acero de alta aleación laminado en caliente.....	42
A.2.2.4 Laminación en frío de la banda laminada en caliente decapada	44
A.2.2.4.1 Acero de baja aleación y acero aleado	44
A.2.2.4.2 Acero de alta aleación	45
A.2.2.5 Recocido de acero de baja aleación y de acero aleado	45
A.2.2.5.1 Recocido discontinuo.....	46
A.2.2.5.2 Recocido continuo.....	47
A.2.2.6 Recocido (II) y decapado (II) de acero de alta aleación	48
A.2.2.7 Revenido de la banda laminada en frío.....	48
A.2.2.7.1 Acero de baja aleación y acero aleado	48
A.2.2.7.2 Acero de alta aleación	49
A.2.2.8 Acabado.....	49
A.2.2.9 Taller de rodillos	50

A.2.2.10 Gestión del agua y de los baños de proceso en las plantas de laminación en frío	50
A.2.2.10.1 Sistema de emulsión.....	50
A.2.2.10.2 Sistema de solución de desengrase	51
A.2.2.10.3 Sistemas de agua de refrigeración.....	51
A.2.2.10.4 Tratamiento de agua residuales	53
A.2.2.11 Gestión de residuos y subproductos en las plantas de laminación en frío	54
A.2.3 Plantas de producción de alambre	55
A.2.3.1 Visión general del proceso de trefilado de alambre	55
A.2.3.2 Preparación del alambre.....	56
A.2.3.2.1 Descascarillado mecánico del alambre	56
A.2.3.2.2 Decapado químico del alambre.....	57
A.2.3.2.3 Aplicación del portador de jabón (lubricante)	57
A.2.3.3 Trefilado	57
A.2.3.3.1 Trefilado seco de alambre	57
A.2.3.3.2 Trefilado húmedo de alambre	58
A.2.3.4 Tratamiento térmico del alambre	58
A.2.3.4.1 Recocido discontinuo del alambre pobre en carbono	58
A.2.3.4.2 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero pobre en carbono	58
A.2.3.4.3 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero inoxidable	59
A.2.3.4.4 Remple patenting	59
A.2.3.4.5 Temple y revenido en aceite	60
A.2.3.4.6 Eliminación de tensiones	60
A.2.3.5 Decapado continuo en línea	60
A.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMO Y EMISIONES PARA LA LAMINACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO	61
A.3.1 Plantas de laminación en caliente	61
A.3.1.1 Visión general del flujo de materia	61
A.3.1.2 Rectificación superficial y acondicionamiento del material de entrada	62
A.3.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico	63
A.3.1.4 Descascarillado	65
A.3.1.5 Laminación en caliente	67
A.3.1.6 Taller de rodillos	67
A.3.1.7 Aceite, grasa y aceite hidráulico	67
A.3.1.8 Planta de tratamiento de aguas residuales de laminación en caliente	69
A.3.1.9 Residuos y reciclaje.....	70
A.3.1.10 Aspectos del ruido en la laminación en caliente	71
A.3.1.11 Puesta en servicio y parada	71
A.3.2 Plantas de laminación en frío.....	73
A.3.2.1 Visión general del flujo de materia	73
A.3.2.2 Decapado del acero de baja aleación, aleado y de alta aleación	74
A.3.2.2.1 Línea de decapado con ácido clorhídrico y planta de regeneración	75
A.3.2.2.2 Línea de decapado con ácido sulfúrico y planta de regeneración.....	77
A.3.2.2.3 Línea de decapado con mezcla de ácidos (HNO ₃ -HF) y recuperación de ácidos.....	79
A.3.2.3 Laminación en frío	80
A.3.2.3.1 Acero de baja aleación	80
A.3.2.3.2 Tren de laminación reversible / acero de alta aleación	82
A.3.2.4 Recocido de acero de baja aleación y acero aleado	83
A.3.2.4.1 Recocido discontinuo	83
A.3.2.4.2 Recocido continuo.....	84
A.3.2.5 Recocido y decapado de acero de alta aleación	84
A.3.2.6 Revenido (acero de baja / alta aleación)	86
A.3.2.7 Acabado (corte, inspección, embalaje)	86
A.3.2.8 Taller de rodillos	86
A.3.2.9 Gestión de líquidos hidráulicos y lubricantes	87
A.3.2.10 Planta de tratamiento de aguas residuales de laminación en frío.....	87
A.3.2.11 Residuos y reciclaje.....	88
A.3.2.12 El aspecto del ruido en la laminación en frío	88
A.3.3 Planta de producción de alambre	89
A.3.3.1 Visión general del flujo de materia	89
A.3.3.2 Preparación del alambre.....	90
A.3.3.2.1 Descascarillado mecánico del alambre	90

A.3.3.2.2 Decapado químico del alambón.....	90
A.3.3.2.3 Aplicación del portador de jabón	90
A.3.3.3 Trefilado de alambre	92
A.3.3.3.1 Trefilado en seco	92
A.3.3.3.2 Trefilado húmedo	93
A.3.3.4 Tratamiento térmico del alambre	94
A.3.3.4.1 Recocido discontinuo / hornos de campana y de crisol	94
A.3.3.4.2 Recocido continuo / baño de emplomado	94
A.3.3.4.3 Temple patenting	95
A.3.3.4.4 Temple en aceite	96
A.3.3.4.5 Recocido de alambre de acero inoxidable.....	97
A.3.3.4.6 Eliminación de tensiones	97
A.3.3.5 el Aspecto del ruido en una planta de producción de alambre.....	97
A.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR EN LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA LAMINACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO	99
A.4.1 Plantas de laminacion en caliente	99
A.4.1.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.....	99
A.4.1.2 Rectificación superficial y acondicionamiento del material de entrada	99
A.4.1.2.1 Operaciones de desbarbado con limpieza del gas residual	99
A.4.1.2.2 Operación de desbaste en cabina con limpieza de gas residual	101
A.4.1.2.3 CCAO – control de calidad asistido por ordenador	103
A.4.1.2.4 Laminación de planchones en cuña	104
A.4.1.2.5 Corte de planchones	104
A.4.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico	105
A.4.1.3.1 Medidas generales para un funcionamiento energéticamente eficaz y bajo nivel de emisiones.....	105
A.4.1.3.2 Automatización del horno / control del horno	107
A.4.1.3.3 Diseño optimizado de las puertas de los hornos	108
A.4.1.3.4 Sistema de quemadores regenerativos	109
A.4.1.3.5 Recuperador y quemadores recuperativos	110
A.4.1.3.6 Tecnología de combustión con oxígeno.....	111
A.4.1.3.7 Quemadores de bajo nivel de NOx	112
A.4.1.3.8 Reducción catalítica selectiva (RCS).....	113
A.4.1.3.9 Reducción no catalítica selectiva (RNCS).....	115
A.4.1.3.10 Recirculación externa de los gases de combustión (RGC).....	116
A.4.1.3.11 Caldera de calor perdido	117
A.4.1.3.12 Diseño optimizado de las guías para reducir las marcas de deslizamiento.....	118
A.4.1.3.13 Reducción de la pérdida de energía en el transporte de material.....	119
A.4.1.3.14 Refrigeración evaporativa de las guías de horno	120
A.4.1.3.15 Precalentamiento del material de alimentación	121
A.4.1.3.16 Caja de conservación de calor / cubiertas térmicas.....	122
A.4.1.3.17 Carga en caliente / laminación directa	124
A.4.1.3.18 Moldeo de precisión / moldeo de láminas	127
A.4.1.3.19 Moldeo de precisión / modelo de perfiles en bruto.....	130
A.4.1.4 Descascarillado	131
A.4.1.4.1 Seguimiento del material	131
A.4.1.4.2 Uso de equipo de almacenamiento a alta presión	131
A.4.1.5 Bordeado	131
A.4.1.5.1 Control de anchura automático con control de carrera corta	132
A.4.1.6 Desbaste	133
A.4.1.6.1 Automatización del proceso	133
A.4.1.7 Transporte del material laminado del tren desbastador al tren de acabado	133
A.4.1.7.1 Caja de bobinas	133
A.4.1.7.2 Horno de recuperación de bobinas.....	134
A.4.1.7.3 Pantallas térmicas en las mesas de transferencia	135
A.4.1.7.4 Calentamiento de los bordes de las bandas.....	135
A.4.1.8 Laminación.....	136
A.4.1.8.1 Sistema de optimización del cizallamiento.....	136
A.4.1.8.2 Sistema de lubricación de los rodillos de trabajo.....	136
A.4.1.8.3 Enfriamiento forzado de las bandas entre trenes	137
A.4.1.8.4 Control de tensión de las bandas entre trenes	137

A.4.1.8.5 Control de perfil y planeidad de las bandas	138
A.4.1.8.6 Enfriamiento de los rodillos de trabajo	139
A.4.1.8.7 Automatización del tren de acabado – automatización básica y de procesos.....	139
A.4.1.8.8 Reducción de las emisiones fugitivas / sistema de eliminación de óxido.....	140
A.4.1.8.9 Prevención de la contaminación por hidrocarburos	141
A.4.1.8.10 Bobinadoras hidráulicas con control por pasos.....	142
A.4.1.8.11 Laminación con control de forma / control de vista en planta.....	142
A.4.1.8.12 Tratamiento térmico en línea (enfriamiento acelerado).....	143
A.4.1.8.13 Laminación termomecánica	143
A.4.1.9 Líneas de refrigeración.....	143
A.4.1.9.1 Bombas de agua optimizadas para flujos laminares	143
A.4.1.10 Producción subsiguiente de láminas	144
A.4.1.10.1 Eliminación del polvo de la aplanadora	144
A.4.1.11 Taller de laminación.....	144
A.4.1.11.1 Prácticas operativas correctas para talleres de laminación	144
A.4.1.12 Tratamiento de aguas	145
A.4.1.12.1 Reducción del consumo y de la evacuación de agua	145
A.4.1.12.2 Tratamiento del agua de proceso con cascarilla y aceite	146
A.4.1.12.3 Tratamiento del agua de refrigeración	150
A.4.1.13 Tratamiento y reciclaje de residuos y subproductos	151
A.4.1.13.1 Reciclaje interno de óxidos secos o desecados	151
A.4.1.13.2 Tecnologías de reciclaje para cascarilla con aceite.....	152
A.4.2 Plantas de laminación en frío.....	154
A.4.2.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.....	154
A.4.2.2 Decapado.....	154
A.4.2.2.1 Reducción de la carga contaminante y del volumen del agua residual.....	154
A.4.2.2.2 Reducción de la emisión de polvo en las debobinadoras.....	155
A.4.2.2.3 Predescascarillado mecánico.....	155
A.4.2.2.4 Proceso de enjuague optimizado / enjuague en cascada	156
A.4.2.2.5 Decapado con agitación	157
A.4.2.2.6 Limpieza y reutilización de la solución de ácido de decapado	158
A.4.2.2.7 Regeneración de ácido clorhídrico mediante tostación por atomización.....	158
A.4.2.2.8 Regeneración de ácido clorhídrico por lecho fluidizado	160
A.4.2.2.9 Planta de decapado de bandas con HCl sin efluentes	160
A.4.2.2.10 Recuperación de ácido sulfúrico por cristalización	162
A.4.2.2.11 Regeneración de mezcla de ácidos mediante tostación por atomización	163
A.4.2.2.12 Recuperación de mezcla de ácidos (HNO ₃ y HF) mediante intercambio iónico.....	165
A.4.2.2.13 Recuperación de mezcla de ácidos (HNO ₃ y HF) mediante diálisis por difusión	165
A.4.2.2.14 Recuperación de mezcla de ácidos por evaporación.....	166
A.4.2.2.15 Predecapado electrolítico para acero de alta aleación.....	167
A.4.2.2.16 Limpieza y reutilización de la solución de decapado electrolítico	167
A.4.2.2.17 Uso externo de la solución de ácido de decapado consumida	168
A.4.2.2.18 Reducción de las emisiones del decapado / tanques de decapado con HCl y H ₂ SO ₄ en recinto cerrado con lavado del gas de escape	168
A.4.2.2.19 Reducción de las emisiones de decapado / mezcla de ácidos en recinto cerrado con lavado del gas de escape.....	170
A.4.2.2.20 Supresión del NO _x del decapado con mezcla de ácidos por adición de H ₂ O ₂ o urea al baño de decapado	170
A.4.2.2.21 Reducción del NO _x del decapado por reducción catalítica selectiva	171
A.4.2.2.22 Reducción del NO _x del decapado por reducción no catalítica selectiva	172
A.4.2.2.23 Decapado de acero inoxidable sin ácido nítrico.....	172
A.4.2.2.24 Optimización del uso del aceite para acero de baja aleación y acero aleado.....	173
A.4.2.2.25 Bombas magnéticas (acero de baja aleación y acero aleado)	173
A.4.2.2.26 Calentamiento del ácido mediante intercambiadores de calor.....	173
A.4.2.2.27 Calentamiento del ácido por combustión sumergida	174
A.4.2.2.28 Tratamiento del agua residual ácida.....	174
A.4.2.3 Laminación.....	176
A.4.2.3.1 Laminación en continuo en lugar de laminación en discontinuo convencional para acero de baja aleación y acero aleado	176
A.4.2.3.2 Planta de decapado conectada con el laminador tándem	176
A.4.2.3.3 Elección óptima del aceite de laminación y del sistema de emulsión	177
A.4.2.3.4 Control continuo de la calidad de la emulsión.....	177

A.4.2.3.5 Prevención de la contaminación	178
A.4.2.3.6 Optimización del uso de emulsión/aceite.....	178
A.4.2.3.7 Limpieza y reutilización de la emulsión	178
A.4.2.3.8 Tratamiento de la emulsión consumida	179
A.4.2.3.9 Extracción de las emisiones de niebla de aceite y separación del aceite	181
A.4.2.3.10 Ciclos de agua de refrigeración / sistemas especiales de agua de refrigeración	182
A.4.2.4 Recocido.....	183
A.4.2.4.1 Aplicación de cascadas al baño de desengrase	183
A.4.2.4.2 Predesengrase con agua caliente	183
A.4.2.4.3 Limpieza y reutilización de la solución desengrasante	183
A.4.2.4.4 Tratamiento del baño desengrasante consumido y del residuo alcalino	185
A.4.2.4.5 Sistema de extracción para las instalaciones de desengrase	186
A.4.2.4.6 Sistemas especiales de agua de refrigeración y reutilización del agua	186
A.4.2.4.7 Recocido discontinuo 100% con hidrógeno.....	186
A.4.2.4.8 Recocido continuo en lugar de discontinuo	187
A.4.2.4.9 Precalentamiento del aire de combustión / uso de quemadores regenerativos o recuperativos para el horno de recocido.....	187
A.4.2.4.10 Reducción de las emisiones de NOx con quemadores de bajo nivel de NOx	188
A.4.2.4.11 Precalentamiento del material de alimentación	189
A.4.2.4.12 Utilización del calor para el calentamiento del baño de desengrase.....	189
A.4.2.5 Revenido	189
A.4.2.5.1 Optimización del sistema de emulsión.....	189
A.4.2.5.2 Cambio al proceso de revenido seco.....	190
A.4.2.5.3 Limpieza de la emulsión del laminador de revenido	190
A.4.2.5.4 Reducción de la niebla de aceite y del polvo	190
A.4.2.6 Acabado.....	191
A.4.2.6.1 Captura y precipitación de las nieblas de aceite de la operación de engrase	191
A.4.2.6.2 Engrase electrostático.....	192
A.4.2.6.3 Optimización de la pulverización de aceite	192
A.4.2.6.4 Reducción del polvo del aplanado y la soldadura.....	192
A.4.2.6.5 Optimización del acabado	193
A.4.2.7 Taller de rodillos	193
A.4.2.7.1 Limpieza y reutilización de la emulsión de desbaste	193
A.4.2.7.2 Sistema de extracción (PRETEX/SBT)	193
A.4.2.7.3 Reducción y reciclaje de la chatarra	193
A.4.3 Laminador de alambre	195
A.4.3.1 Almacenamiento y manipulación de las materias primas y auxiliares	195
A.4.3.2 Descascarillado mecánico	195
A.4.3.2.1 Reciclaje externo de la cascarilla	195
A.4.3.3 Descascarillado químico / decapado de alambón	196
A.4.3.3.1 Rango operativo optimo de los baños de decapado con HCl.....	196
A.4.3.3.2 Control de los vapores del tanque de decapado	196
A.4.3.3.3 Tratamiento del aire extraído del control de vapores del tanque de decapado	197
A.4.3.3.4 Decapado en cascada.....	198
A.4.3.3.5 Minimización del arrastre del decapado	198
A.4.3.3.6 Separación y reutilización de la fracción de ácido libre	199
A.4.3.3.7 Regeneración del ácido consumido.....	199
A.4.3.3.8 Reutilización del ácido consumido como materia prima secundaria.....	200
A.4.3.3.9 Minimización del consumo de agua de enjuague mediante enjuague en cascada.....	200
A.4.3.4 Descascarillado por granallado: separación de la cascarilla y del medio de granallado	201
A.4.3.5 Trefilado seco.....	202
A.4.3.5.1 Control de las emisiones de aire de las trefiladoras / tratamiento del aire extraído.....	202
A.4.3.5.2 Circuito cerrado para el agua de refrigeración.....	202
A.4.3.6 Trefilado húmedo	203
A.4.3.6.1 Circuito cerrado para el agua de refrigeración.....	203
A.4.3.6.2 Limpieza del lubricante de trefilado / refrigerante.....	203
A.4.3.6.3 Tratamiento de los residuos de aceite de trefilado: aceite y emulsiones de aceite	203
A.4.3.6.4 Tratamiento y desecho de residuos de lubricante de trefilado: emulsiones jabonosas	204
A.4.3.7 Recocido discontinuo de alambre	204
A.4.3.7.1 Purga por combustión del gas protector.....	204
A.4.3.8 Recocido continuo (en línea) de alambre de bajo contenido en carbono	205

A.4.3.8.1 Baño de plomo: buen mantenimiento	205
A.4.3.8.2 Reciclaje de los residuos con contenido de Pb	206
A.4.3.8.3 Operación del baño de enfriamiento por inmersión y tratamiento del agua residual en baños de enfriamiento del recocido en línea	206
A.4.3.9 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero inoxidable	207
A.4.3.9.1 Purga por combustión del gas protector.....	207
A.4.3.10 Temple patenting.....	207
A.4.3.10.1 Funcionamiento optimizado del horno	207
A.4.3.10.2 Baño de plomo: buen mantenimiento	207
A.4.3.10.3 Reciclaje de residuos con contenido de Pb	208
A.4.3.10.4 Operación del baño de enfriamiento y tratamiento del agua residual de los baños de enfriamiento por inmersión de la línea de temple patenting.....	208
A.4.3.11 Temple en aceite	208
A.4.3.11.1 Purga por combustión del gas protector.....	208
A.4.3.11.2 Extracción de nieblas de aceite de los baños de enfriamiento por inmersión y precipitación	208
A.4.3.12 Tratamiento térmico del alambre (distintos procesos).....	208
A.4.3.12.1 Calentamiento inductivo del alambre	208
A.4.3.13 Decapado en línea	209
A.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO.....	211
A.5.1 Taller de laminación en caliente	212
A.5.2 Taller de laminación en frío.....	217
A.5.3 Planta de producción de alambre.....	221
A.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO.....	223
A.6.1 Planta de laminación en caliente.....	223
A.6.1.1 Descostrado y desbaste	223
A.6.1.2 Horno de recalentar.....	223
A.6.1.2.1 Quemador sin llama	223
A.6.1.2.2 Quemador ultrabajo en NOx	223
A.6.1.2.3 Inyección de agua.....	223
A.6.1.2.4 Proceso shell de eliminación de NOx	224
A.6.1.2.5 Proceso regenerativo con carbón activo.....	224
A.6.1.2.6 Proceso degussa con H ₂ O ₂	224
A.6.1.2.7 Proceso bio-de-NOx.....	224
A.6.1.3 Descascarillado	224
A.6.1.3.1 Descascarillado con rotor.....	224
A.6.1.4 Laminación en caliente y tratamiento de agua.....	225
A.6.1.4.1 Laminación sin fin.....	225
A.6.1.4.2 Procedimiento de moldeo de bandas.....	226
A.6.1.4.3 Reciclaje de subproductos.....	229
A.6.2 Planta de laminación en frío	230
A.6.2.1 Decapado.....	230
A.6.2.1.1 Predescascarillado hidroabrasivo (limpieza con ishiakawaita)	230
A.6.2.1.2 Predescascarillado con abrasivo ferromagnético	230
A.6.3 Planta de producción de alambre.....	230
A.7 OBSERVACIONES FINALES	231

Lista de Figuras

Figura A.1-1: Productos Laminados en Caliente y en Frío cubiertos por este BREF	3
Figura A.1-2: Producción de bandas LF en 1994	9
Figura A.1-3: Producción de Bandas Cortadas	10
Figura A.2-1: Resumen de los Productos Laminados en Caliente	14
Figura A.2-2: Diseños típicos de Trenes de Laminación de Bandas en Caliente	16
Figura A.2-3: Configuración típica de un Tren de Laminación STECKEL	17
Figura A.2-4: Tren de Laminación STECKEL con hornos de bobinado	17
Figura A.2-5: Tren de Laminación Planetario (SENDZIMIR)	18
Figura A.2-6: Configuración típica de un Tren de Laminación de Chapas	19
Figura A.2-7: Esquema típico de un Tren de Laminación de Alambrón	20
Figura A.2-8: Rodillos perfilados para perfiles de pilotajes de planchas	21
Figura A.2-9: Trenes universales para productos con bordes redondeados paralelos	22
Figura A.2-10: Esquema de una Planta de Laminación de Perfiles Gruesos	22
Figura A.2-11: Esquema de una Planta de Laminación de Perfiles Gruesos/Medios para pilotajes de planchas	23
Figura A.2-12: Ejemplos de perfiles en bruto para laminación de perfiles	23
Figura A.2-13: Tren de Laminación de Mandriles	24
Figura A.2-14: Tren de Laminación de Tapones	25
Figura A.2-15: Diagrama de flujo para producción continua de tubos	26
Figura A.2-16: Procesos de soldadura de tubos	27
Figura A.2-17: Horno Pit	28
Figura A.2-18: Horno de empuje	29
Figura A.2-19: Horno de balancín	29
Figura A.2-20: Diseño típico de un horno de solera giratoria	30
Figura A.2-21: Disposición de la sección de acabado de alambrón	32
Figura A.2-22: Distintos tipos de enfriamiento por agua	33
Figura A.2-23: Ejemplo de sistema de agua sin recirculación	34
Figura A.2-24: Ejemplo de circuito de agua semicerrado	35
Figura A.2-25: Ejemplo de sistema de circuito cerrado de agua	36
Figura A.2-26: Circuitos de agua de un tren de laminación en caliente de bandas	36
Figura A.2-27: Uso de circuitos de agua en una planta de laminación en caliente	37
Figura A.2-28: Configuraciones típicas de las plantas de laminación en frío de bandas	40
Figura A.2-29: Línea de proceso de laminación en frío con recocido continuo	41
Figura A.2-30: Esquema de una línea de decapado en continuo	42
Figura A.2-31: Esquema de un horno de recocido de campana	46
Figura A.2-32: Ejemplo de horno de recocido continuo	47
Figura A.2-33: Flujo general de la emulsión	51
Figura A.2-34: Flujo de la solución de desengrase (línea de recocido continuo)	51
Figura A.2-35: Sistema de refrigeración de agua para un tren de laminación en frío	52
Figura A.2-36: Sistema de refrigeración de agua para decapado con HCl y recocido discontinuo	53
Figura A.2-37: Sistema de refrigeración de agua para una línea de recocido continuo	53
Figura A.2-38: Producción de alambre galvanizado pobre en carbono	55
Figura A.2-39: Producción de alambre rico en carbono	56
Figura A.3-1: Esquema general de entrada/salida de material para plantas de laminación en caliente	61
Figura A.3-2: Diagrama de Sankey de un horno de recalentar típico	64
Figura A.3-3: Balance de aceite y grasa de una acería normal, según se indica en [DFIU 96]	68
Figura A.3-4: Esquema general de entrada/salida de material para plantas de laminación en frío	73
Figura A.3-5: Diagrama de flujo del decapado con HCl y regeneración del ácido	75
Figura A.3-6: Diagrama de flujo para el decapado con H ₂ SO ₄ y regeneración	77
Figura A.3-7: Diagrama de flujo del decapado de acero inoxidable con mezcla de ácidos HNO ₃ -HF (incl. recuperación)	79
Figura A.3-8: Esquema general de entrada/salida de material para una planta de producción de alambre	89
Figura A.4-1: Hoja de flujo de reducción de escoria (ejemplo con PE húmedo)	100
Figura A.4-2: Esquema de la precipitación de humos de desbaste	102
Figura A.4-3: Esquema de caldera de calor perdido o de recuperación	117
Figura A.4-4: Esquema típico de refrigeración evaporativa de guías de horno	120
Figura A.4-5: Principio de precalentamiento de planchones mediante gas residual	122
Figura A.4-6: Almacenamiento modificado para aumentar la temperatura de carga	123

Figura A.4-7: Flujo de material: Carga en frío frente a carga en caliente.....	124
Figura A.4-8: Esquema del proceso de PBC (Producción de Bandas Compactas).....	127
Figura A.4-9: Esquema del Proceso de PBL (Producción de Bandas en Línea).....	128
Figura A.4-10: Funcionamiento del sistema AWC	132
Figura A.4-11: Disposición de la caja de bobinas	134
Figura A.4-12: Sistema de optimización de cizallamiento.....	136
Figura A.4-13: Ejemplo de sistema de recirculación de agua para planta de laminación en caliente.....	148
Figura A.4-14: Tratamiento del agua de lavado a contracorriente	149
Figura A.4-15: Distintos tipos de tanques de decapado	157
Figura A.4-16: Dependencia de la utilización del agua de enjuague del contenido de hierro.	161
Figura A.4-17: Ejemplo de decapado con HCl y regeneración del ácido sin efluentes.	162
Figura A.4-18: Sistema de separación de emulsión consumida	180
Figura A.4-19: Flujo de la solución desengrasante consumida (ejemplo de una línea de recocido continua).....	185
Figura A.6-1: Esquema del proceso de laminación sin fin en caliente de bandas.....	225
Figura A.6-2: Planta piloto de doble rodillo.....	226
Figura A.6-3: Planta piloto de Laminación de Moldeo, Prensado y Laminación (MPL)	227

Lista de Tablas

Tabla A.1-1: Producción de perfiles planos en los 15 países de la UE en 1996	4
Tabla A.1-2: Distribución por tamaños de las instalaciones de fabricación de Productos Planos	4
Tabla A.1-3: Producción de Perfiles Alargados en los 15 países de la UE en 1996	5
Tabla A.1-4: Distribución por tamaños de las instalaciones de fabricación de Productos Alargados	5
Tabla A.1-5: Producción de Tubos de Acero, número de plantas y empleados.....	6
Tabla A.1-6: Número y tamaño de las plantas de tubos en 1994	7
Tabla A.1-7: Producción de Chapas y Bandas Laminadas en Frío en 1996	7
Tabla A.1-8: Número y capacidad nominal de las plantas de Laminación en Frío.....	8
Tabla A.1-9: Distribución y tamaño medio de las empresas de Laminación de Bandas en Frío	8
Tabla A.1-10: Producción de bandas LF y bandas coradas.....	9
Tabla A.1-11: Industria de trefilado de alambre en la UE.....	11
Tabla A.2-1: Plantas de productos semiacabados	15
Tabla A.3-1: Niveles de consumo y emisión en la preparación de la superficie.....	62
Tabla A.3-2: Niveles de consumo y emisiones para hornos de recalentar/ de tratamiento térmico.....	65
Tabla A.3-3: Niveles de consumo y emisiones para el descascarillado	66
Tabla A.3-4: Niveles de consumo y emisiones para la laminación en caliente.....	67
Tabla A.3-5: Niveles de consumo y emisiones de la planta de tratamiento de agua.....	69
Tabla A.3-6: Residuos generados en plantas de laminación en caliente e índices de utilización	70
Tabla A.3-7: Niveles de consumos y emisiones para plantas de decapado con HCl (incl. regeneración).....	76
Tabla A.3-8: Niveles de consumos y emisiones del tratamiento de aguas residuales en plantas de decapado con HCl.....	77
Tabla A.3-9: Niveles de consumos y emisiones para plantas de decapado con H ₂ SO ₄ (incl. regeneración).....	78
Tabla A.3-10: Niveles de consumos y emisiones del tratamiento de aguas residuales en plantas de decapado con H ₂ SO ₄	78
Tabla A.3-11: Niveles de consumos y emisiones de plantas de decapado con mezcla de ácidos y recuperación	80
Tabla A.3-12: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación tándem con sistema de emulsión	81
Tabla A.3-13: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación reversibles	82
Tabla A.3-14: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación reversibles	82
Tabla A.3-15: Niveles de consumos y emisiones para el desengrase	83
Tabla A.3-16: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación tándem con sistema de emulsión	83
Tabla A.3-17: Niveles de consumos y emisiones para el recocido continuo	84
Tabla A.3-18: Niveles de consumos y emisiones de hornos de recocido continuo	85
Tabla A.3-19: Niveles de consumos y emisiones del decapado y recocido de acero de alta aleación.....	85
Tabla A.3-20: Niveles de consumos y emisiones del revenido.....	86
Tabla A.3-21: Niveles de consumos y emisiones del acabado.....	86
Tabla A.3-22: Niveles de consumos y emisiones del taller de rodillos.....	87
Tabla A.3-23: Niveles de consumos y emisiones de los sistemas de líquido hidráulico y lubricantes.....	87
Tabla A.3-24: Evacuación de aguas residuales de los talleres de laminación en frío.	88
Tabla A.3-25: Residuos generados en plantas de laminación en frío e índices de utilización.....	88
Tabla A.3-26: Niveles de consumos y emisiones para el descascarillado mecánico	90
Tabla A.3-27: Niveles de consumos y emisiones del decapado químico.....	91
Tabla A.3-28: Niveles de consumos y emisiones para la aplicación de portador de jabón	92
Tabla A.3-29: Niveles de consumos y emisiones del trefilado en seco	92
Tabla A.3-30: Niveles de consumos y emisiones del trefilado húmedo	93
Tabla A.3-31: Niveles de consumos y emisiones para hornos de campana y de crisol	94
Tabla A.3-32: Niveles de consumos y emisiones de los baños de plomo	95
Tabla A.3-33: Niveles de consumos y emisiones del decapado en continuo con HCl	95
Tabla A.3-34: Niveles de consumos y emisiones del temple patenting	96
Tabla A.3-35: Balance cualitativo de entrada/salida para el temple en aceite	96
Tabla A.3-36: Balance cualitativo de entrada/salida para el recocido de acero inoxidable.....	97
Tabla A.3-37: Balance cualitativo de entrada/salida para la eliminación de tensiones.....	97
Tabla A.4-1: Datos operativos y niveles de emisión de polvo alcanzables para la operación de desbarbado.....	101
Tabla A.4-2: Datos operativos y emisiones alcanzables para la reducción del polvo del desbaste	102

Tabla A.4-3: Comparación de la cantidad de desbarbado con o sin CCAO	103
Tabla A.4-4: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para la automatización de hornos	108
Tabla A.4-5: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para los sistemas regenerativos.....	110
Tabla A.4-6: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para recuperadores y quemadores recuperativos	111
Tabla A.4-7: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para quemadores de bajo nivel de NOx	113
Tabla A.4-8: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para calderas de calor perdido	118
Tabla A.4-9: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para refrigeración evaporativa de guías de horno	121
Tabla A.4-10: Efecto de la carga en caliente en el consumo de combustible y el tiempo de estancia en el horno	125
Tabla A.4-11: Costes de inversión para la carga en caliente.....	126
Tabla A.4-12: Plantas de moldeo de láminas (Julio 1995).....	129
Tabla A.4-13: Comparación de las cifras de consumo de la ruta de producción convencional y de la ruta de moldeo de láminas.....	130
Tabla A.4-14: Niveles de emisiones alcanzados y datos operativos para sistemas de eliminación de óxidos.....	140
Tabla A.4-15: Reducción típica de las emisiones fugitivas por pulverización de agua.....	141
Tabla A.4-16: Niveles de efluentes típicos para distintos sistemas de tratamiento de aguas.....	145
Tabla A.4-17: Estimación de costes para distintas plantas de tratamiento de aguas.....	146
Tabla A.4-18: Concentraciones de contaminantes en el circuito de agua	147
Tabla A.4-19: Concentración de efluentes del tratamiento de agua de lavado a contracorriente.	149
Tabla A.4-20: Reducción de contaminantes para diversos tratamientos de aguas residuales.....	150
Tabla A.4-21: Niveles de emisión de polvo conseguidos en la unidad de granallado utilizando filtros de tejido.....	156
Tabla A.4-22: Niveles de consumo y emisiones para tostación por atomización de HCl.....	159
Tabla A.4-23: Emisiones a la atmósfera de la tostación por atomización de HCl	159
Tabla A.4-24: Niveles de consumo y emisiones para cristalización al vacío de H ₂ SO ₄	163
Tabla A.4-25: Emisiones a la atmósfera de la cristalización al vacío de H ₂ SO ₄	163
Tabla A.4-26: Niveles de consumo y emisiones para regeneración de mezcla de ácidos mediante tostación por atomización.....	164
Tabla A.4-27: Niveles de consumo y emisiones para recuperación de mezcla de ácidos mediante intercambio iónico.....	165
Tabla A.4-28: Niveles de consumo y emisiones para recuperación de mezcla de ácidos por evaporación.	166
Tabla A.4-29: Niveles de emisiones para decapado con HCl utilizando torres de absorción.....	169
Tabla A.4-30: Niveles de emisiones obtenibles para decapado con H ₂ SO ₄ utilizando torres de absorción	169
Tabla A.4-31: Costes estimados para lavado con agua a contracorriente en columnas con relleno.	170
Tabla A.4-32: Niveles de emisiones obtenibles por inyección de H ₂ O ₂	171
Tabla A.4-33: Concentración de contaminantes en la evacuación de agua de las plantas de decapado con HCl y regeneración.....	175
Tabla A.4-34: Concentración de efluentes en el agua evacuada de las plantas de decapado con HCl y regeneración.....	175
Tabla A.4-35: Concentración de contaminantes en la evacuación de agua de las plantas de decapado con H ₂ SO ₄ y regeneración.....	175
Tabla A.4-36: Datos operativos para la separación electrolítica de emulsiones	180
Tabla A.4-37: Niveles de emisión alcanzados para la separación de vapores de emulsión en trenes de laminación.	182
Tabla A.4-38: Niveles de consumo y emisiones para el sistema de agua de refrigeración de un laminador tándem.....	183
Tabla A.4-39: Datos operativos y de emisiones para la limpieza del baño desengrasante por ultrafiltración.	184
Tabla A.4-40: Datos operativos y de efluentes para el tratamiento de agua residual alcalina	186
Tabla A.4-41: Niveles de emisión obtenibles con quemadores de bajo nivel de NOx en hornos de recocido discontinuos.	188
Tabla A.4-42: Niveles de emisión obtenibles con quemadores de bajo nivel de NOx en hornos de recocido continuos.....	188
Tabla A.4-43: Niveles de emisiones obtenibles para separadores de gotitas de tejido	191
Tabla A.6-1: Comparación de los parámetros seleccionados de distintas tecnologías de moldeo.....	226
Tabla A.6-2: Proyectos en desarrollo en moldeo de bandas.....	227

PARTE A

**Conformación en caliente y en frío
(laminación y trefilado del acero)**

A.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

La parte de conformación en caliente y en frío del sector de proceso de metales férreos comprende distintos métodos de fabricación, como la laminación en caliente, la laminación en frío y el trefilado de acero. Se fabrica una gran variedad de productos semiacabados y acabados con distintas líneas de producción.

La bibliografía sobre el sector siderúrgico emplea diversos modos para dividir y estructurar el sector y facilitar datos. Algunos informes distinguen según el proceso de conformación: en caliente o en frío; o en relación con la forma del producto final: perfiles planos o alargados.

Otros (ej: NACE¹) separan en grupos: producción de hierro y acero (incluida la mayoría de productos laminados en caliente y en frío así como bandas con recubrimiento en continuo), fabricación de tubos de acero y ‘otros procesos primarios del acero’ (estirado en frío, laminación en frío de bandas estrechas, trefilado de alambre, etc.).

Recopilar información general sobre el sector, datos estadísticos (productividad, número/tamaño de las plantas, distribución, etc.) e información económica es difícil, ya que la mayoría de las fuentes de datos disponibles utilizan distintas bases y divisiones diferentes del sector, lo que hace imposible comparar los datos facilitados.

Con objeto de presentar la información sobre el sector de conformación en caliente y en frío en este BREF, se escogió un esquema de acuerdo con los productos fabricados, como se muestra en la Figura A.1-1.

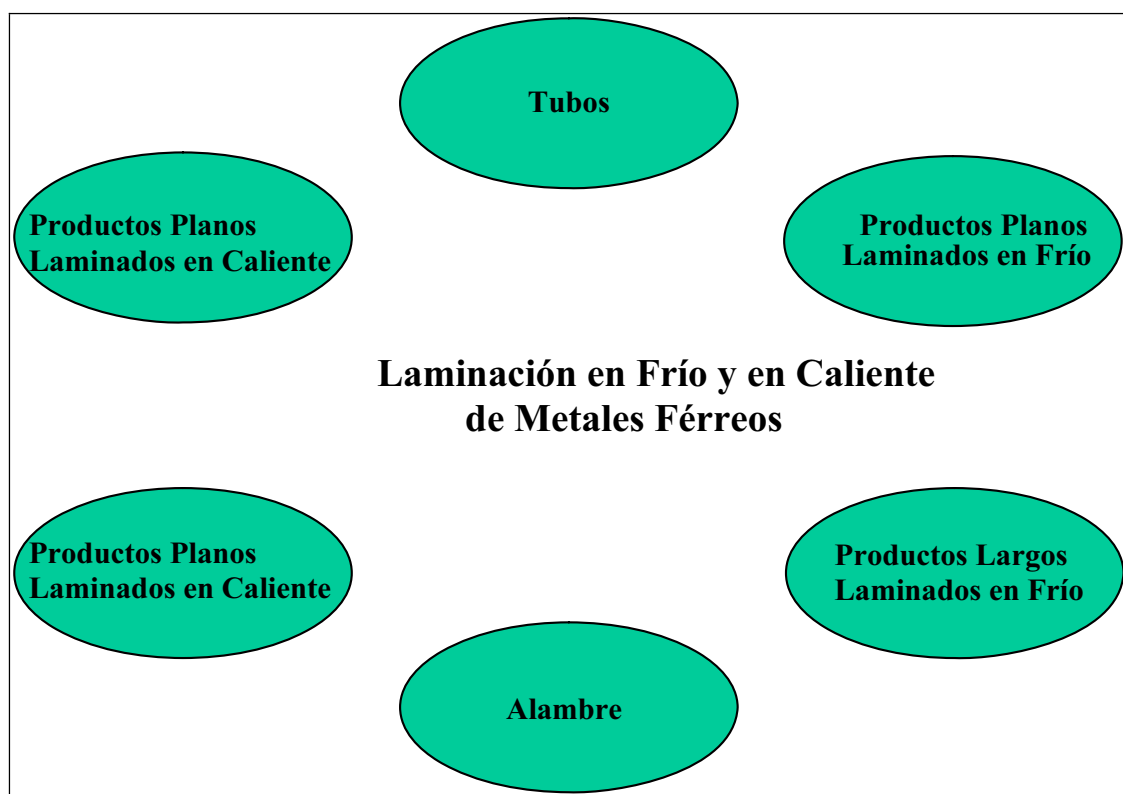


Figura A.1-1: Productos Laminados en Caliente y en Frío cubiertos por este BREF.

¹ Clasificación industrial general de las actividades dentro de la Comunidad Europea.

A.1.1 Productos planos laminados en caliente

La producción comunitaria total de productos laminados en caliente (LC) disminuyó desde 131,7 millones de toneladas en 1994 [EGKS95] a 127,8 millones de toneladas en 1996 [Stat97]. Aproximadamente el 62% de estos productos de laminación en caliente entran en la categoría: productos planos con una producción anual de 79,2 millones de toneladas. La Tabla A.1-1 presenta los datos de producción de perfiles planos individuales para cada Estado Miembro en 1996.

	P. planos anchos LC [1000 t]	Bandas estrechas LC [1000 t]	Bandas [1000 t]	Chapa LC [1000 t]	Total P. Planos LC [1000 t]
Alemania	103	623	19.138	2.748	22.612
Austria	0	0	2.621	340	2.961
Bélgica	0	0	9.350	566	9.916
Dinamarca	0	0	0	388	388
España	0	190	3.385	575	4.150
Finlandia	0	0	1.670	576	2.246
Francia	1	0	9.871	845	10.717
Grecia	0	9	346	4	359
Holanda	0	0	4.136	15	4.151
Irlanda	0	0	0	0	0
Italia	185	48	8.061	1.385	9.679
Luxemburgo	0	0	0	0	0
Portugal	0	0	0	0	0
Reino Unido	88	145	7.396	958	8.587
Suecia	46	32	2.832	569	3.479
Total	423	1047	68.806	8.969	79.245

Año de referencia 1996

Tabla A.1-1: Producción de perfiles planos en los 15 países de la UE en 1996 [Stat97].

A la vista de la producción total de perfiles planos por laminación en caliente, Alemania es el principal fabricante con más del doble de producción que los países que siguen (Francia, Bélgica., Italia y Reino Unido). La gran mayoría de los productos planos de laminación en caliente son bandas anchas.

A principios de 1993, 74 plantas de producción de perfiles planos estaban en funcionamiento en los 12 países de la UE. El número y tamaño de estas plantas se indica en la Tabla A.1-2.

	Número total de plantas	Capacidad técnica horaria media total (t/h)	Número de plantas con una capacidad técnica horaria promedio de más de 20 t/h
Plantas de bandas estrechas	17	45	15
Plantas de bandas anchas	25	474	25
Plantas de chapas gruesas y medias	32	109	23
Plantas de lámina	7	12	
Plantas de productos planos universales	2	31	
Plantas de relaminación para bandas anchas en caliente	8	677	

Tabla A.1-2: Distribución por tamaños de las instalaciones de fabricación de Productos Planos [EUROSTAT].

A.1.2 Productos alargados laminados en caliente

El 38% restante de los productos de laminación en caliente se clasifican como perfiles alargados. Las cifras de producción para todos los Estados Miembros se facilitan en la Tabla A.1.3.

	Material guías [1000 t]	Secciones/ perfiles gruesos [1000 t]	Barras de para hormigón [1000 t]	Barras comerciales [1000 t]	Alambrón [1000 t]	Productos Alargados LC [1000 t]
Alemania	243	1.914	1.566	1.287	5.268	10.278
Austria	238	0	159	90	389	876
Bélgica	0	61	8	174	805	1.048
Dinamarca	0	0	58	158	0	216
España	64	1.180	2.315	1.381	1.883	6.823
Finlandia	1	0	91	210	294	596
Francia	255	303	923	1.215	1.766	4.462
Grecia	0	0	635	56	197	888
Holanda	0	0	453	0	152	605
Irlanda	0	311	0	0	0	311
Italia	106	927	3.725	3.538	3.270	11.566
Luxemburgo	55	1.255	282	260	463	2.315
Portugal	0	0	523	0	138	661
Reino Unido	211	1.951	650	2.071	2.147	7.030
Suecia	48	17	128	587	107	887
Total	1.221	7.919	11.516	11.027	16.879	48.562

Tabla A.1-3: Producción de Perfiles Alargados en los 15 países de la UE en 1996 [Stat97].

Los dos principales países productores son Italia y Alemania, seguidos por el Reino Unido y España. La mayor parte del sector de productos alargados en términos de tonelaje es la producción de alambrón, que representa aproximadamente un tercio de la producción total, seguido de las barras para hormigón y de las barras comerciales, cuya cuota aproximada es de un cuarto de la producción.

La Tabla A.1-4 recopila la distribución por tamaños para las instalaciones de producción de perfiles alargados. En 1993 había un total de 306 plantas en funcionamiento.

Capacidad técnica horaria (CTH) [t/h]	< 20	20-39	40-59	60-79	80-99	100-119	120-139	≥ 140	Total
Productos alargados	* 89	56	53	44	28	14	10	12	306
Secciones gruesas sólo	3	2	5	4	3	6	1	3	27
Alambrón sólo	4	7	7	8	5	3	2	3	39
Alambrón + barras para hormigón en bobinas	0	3	3	2	4	0	4	3	19
CTH [t/h]	<30	30-49	50-69	70-89	≥ 90				Total
Secciones gruesas + Barras comerciales	3	2	4	3	1				13
CTH [t/h]	< 20	20 - 39	40 - 59	60 - 79	80 - 89	≥ 90			Total
Barras comerciales sólo	55	12	12	7	2	1			89
CTH [t/h]	< 20	20-39	40-59	60-79	80-99	100-149			Total
Barras comerciales y Barras para hormigón en largo	3	5	4	2	7	2			23

*excepto prensas de extrusión, maquinaria de forja y líneas de perfilado de pilotaje de planchas.

Tabla A.1-4: Distribución por tamaños de las instalaciones de fabricación de Productos Alargados [EUROSTAT]

A.1.3 Tubos

Con una producción que representa el 20,9% de la producción mundial total, la UE es el mayor fabricante de tubos de acero, seguida por Japón y EE.UU. La industria europea de tubos de acero tiene una estructura altamente concentrada. Cinco países – Alemania, Italia, Francia, Reino Unido y España – representan aproximadamente el 90% de la producción comunitaria total. En algunos países, una sola empresa puede representar el 50% o más de la producción nacional. Además de los principales fabricantes integrados de tubos de acero (que producen principalmente tubos soldados), existe un número relativamente grande de PYME independientes. Algunos fabricantes, a menudo pequeños en términos de tonelaje, se concentran en la fabricación de tubos de dimensiones y calidades especiales según las especificaciones particulares de los clientes. A finales de 1994 existían más 280 plantas de producción en la UE, pertenecientes a un número estimado de 245 empresas. De estas, 67 estaban especializadas en el estirado en frío de tubos sin costuras o soldados [Pan 97].

La información estadística de la Asociación Europea de Tubos de Acero – para 1994 y los 12 países de la UE – hace referencia a 252 plantas pertenecientes a un número estimado de 193 empresas [CEAM].

Los tubos de acero cubren tres categorías de productos, que difieren considerablemente en cuanto a su proceso de fabricación, materias primas y requisitos de inversión. Estas categorías se clasifican como:

- Tubos sin costuras.
- Tubos de acero soldados de sección transversal circular de más de 406,4 mm de diámetro exterior.
- Tubos de acero soldados de sección transversal circular de hasta 406,4 mm de diámetro exterior, junto con tubos de acero soldados de sección transversal no circular de cualquier perímetro.

Cabe reseñar que en ocasiones tubos de distintas categorías (ej: tubos sin costuras y soldados) y de distinta calidad (ej: calidad comercial, alta calidad) se fabrican en la misma planta.

Alrededor del 26,4 % de los tubos fabricados son tubos sin costuras, y del 73,6 % restante de tubos soldados, aproximadamente el 18,9 % son de gran diámetro. La mayor parte del total del sector de tubos de acero está compuesta por tubos de pequeño diámetro, con una cuota del 54,7 % [CEAM].

La Tabla A.1-5 muestra la producción de tubos de acero y el número de plantas y de empleados para los distintos Estados Miembros.

	Tubos de acero sin costuras [1000 t] ¹	Tubos de acero soldados [1000 t] ¹	Total Tubos de Acero [1000 t] ¹	Número de plantas de producción ²	Número de empleados ²
Alemania	1295	1991	3286	65	22774
Austria	234	255	489	ND	ND
Bélgica	---	118	118	3	554
Dinamarca	---	60	60	4	1100
España	242	662	904	29	4200
Finlandia	---	330	330	ND	ND
Francia	566	834	1400	32	8785
Grecia	ND	ND	ND	26	840
Holanda	---	393	393	5	775
Irlanda	ND	ND	ND	1	45
Italia	711	2508	3219	49	9050
Luxemburgo	---	95	95	ND	ND
Portugal	---	---	---	2	380
Reino Unido	73	1215	1288	36	6325
Suecia	131	90	221	ND	ND
Total	3252	8551	11803	252	54828

¹ Año de referencia 1996

² Año de referencia 1994

Tabla A.1-5: Producción de Tubos de Acero, número de plantas y empleados [CEAM].

Como puede verse en la Tabla A.1-6, las plantas de producción de tubo de acero soldado son predominantemente de tamaño medio y pequeño, y sólo 22 de 161 plantas tienen más de 500 empleados. En las plantas de producción de tubos sin costuras este efecto no es tan evidente, ya que 13 de 32 plantas puede considerarse grandes.

	Número de Empresas				
	Plantas Pequeñas (< 100 *)	Medianas (100 – 499*)	Grandes		Total
			(500 - 999*)	(>1000*)	
Tubos sin costuras	5	14	6	7	32
Tubos de acero soldado: 78	61	14	8	161	
Tubos soldados D.E. > 406,6 mm	6	17	2	2	27
Tubos soldados D.E. ≤ 406.4mm	72	44	12	6	134
Total	83	75	20	15	193

* Número de Empleados

Tabla A.1-6: Número y tamaño de las plantas de tubos en 1994 [CEAM].

A.1.4 Productos planos laminados en frío

La producción total de productos laminados en frío en 1994 fue de 39,7 millones de toneladas en los 15 países de la UE. La producción de lámina de acero inoxidable y eléctrica fue de 2,3 y 1,14 millones de toneladas respectivamente, lo que representa el 6,4 % y el 3,2 % del total [EGKS95].

Bandas anchas laminadas en frío

La producción de láminas y chapas laminadas en frío fue de 39,6 millones de toneladas en 1996 [EUROFER CR] La Tabla A.1-7 muestra la producción de chapa y de bandas laminadas en frío para cada uno de los Estados Miembros. El número y la capacidad de producción de las distintas plantas de laminado en frío en la UE se muestran en la Tabla A.1-8.

	Producción de Chapas y Bandas Laminadas en Frío [1000 t]
Alemania	10615
Austria	1289
Bélgica	3852
Dinamarca	0
España	3093
Finlandia	890
Francia	6296
Grecia	380
Holanda	2088
Irlanda	0
Italia	4271
Luxemburgo	336
Portugal	202
Reino Unido	4026
Suecia	1174
Total	38512

Tabla A.1-7: Producción de Chapas y Bandas Laminadas en Frío en 1996 [Stat97].

	Número de Plantas	Capacidad técnica horaria media [t/h]	Cierre previsto después de 1993
Trenes tándem de bandas anchas	44	138	2
Trenes doble tándem reversibles de bandas anchas	36	31	--
Trenes de laminación en frío de múltiples cilindros para bandas	43	16	--
Laminadores de láminas finas	91	63	4

Tabla A.1-8: Número y capacidad nominal de las plantas de Laminación en Frío [EUROSTAT].

Bandas (estrechas) laminadas en frío

El número de empresas disminuyó desde 166 en 1989 a 141 en 1995, con 61 plantas en Alemania, 22 en Italia, 16 en el Reino Unido, 15 en Bélgica/Luxemburgo, 13 en Francia, 10 en España, 2 en Grecia, 1 en Portugal y 1 en Holanda. La producción en la UE fue de 2,98 millones de toneladas en 1994 [Pan97].

La producción de bandas laminadas en frío puede dividirse en distintos sectores de producción: laminación en frío de bandas laminadas en caliente con un ancho de menos de 500 mm (en adelante denominadas bandas LC) y laminación en frío de chapas anchas laminadas en caliente y corte subsiguiente en bandas (en adelante denominadas bandas cortadas). Alrededor de dos tercios de los requisitos totales de bandas estrechas de la UE se producen cortando láminas anchas [Bed95].

El sector de bandas laminadas en frío en la UE (15) está a la vez concentrado y fragmentado. Las 10 mayores empresas representan el 50 % de la producción, mientras otras 140 empresas representan el 50% restante. La estructura del sector está marcada por diferencias nacionales en el tamaño de las empresas y en la concentración de la industria. Por ejemplo, en Francia, pequeñas empresas producen productos de bandas especializados de alto valor, mientras en España un número significativo de empresas mayores produce bandas de bajo valor. La mayor parte de las grandes empresas están situadas en Alemania, que domina el mercado con alrededor del 57% de la producción de la UE (15) (1,57 millones de toneladas en 1994). No obstante, la mayoría de las empresas pueden clasificarse como PYME [Bed95].

La distribución y tamaño medio de las compañías en la UE se indica en la Tabla A.1-9.

	Número de Productores de Bandas LF	Producción Media por Empresa [1000 t]	Número Medio de Empleados
Alemania	60	26	167
Italia	22	18	58
Reino Unido	16	13	73
España	10	18	80
Francia	13	7	80
Resto de la UE	30	11	70
Total UE (15)	151	18	109

Año de referencia 1994

Tabla A.1-9: Distribución y tamaño medio de las empresas de Laminación de Bandas en Frío [Bed95].

La producción de banda laminada en frío en la UE (15) en 1994 se estimó en 2,77 millones de toneladas, con:

- 2,09 millones de toneladas de bandas de acero sin alear (Contenido en C < 0.25 %)
- 0,46 millones de toneladas de bandas de acero sin alear (Contenido en C > 0.25 %)
- 0,12 millones de toneladas de bandas de acero recubierto.
- 0,10 millones de toneladas de acero inoxidable y bandas de otras aleaciones.

La Tabla A.1-10, la Figura A.1-2 y la Figura A.1-3 ofrecen un desglose de la producción total de bandas (bandas LF y bandas cortadas) por países.

	Producción de Bandas LF [1000 t]	Producción de Bandas Cortadas [1000 t]	Producción Total de Bandas [1000 t]
Alemania	1570	1950	3520
Italia	390	900	1290
Reino Unido	210	500	710
España	180	330	510
Francia	90	900	990
Resto de la UE:	320	970	1290
Suecia	140		
Benelux	100		
Grecia	30		
Portugal	30		
Finlandia	10		
Austria	10		
Total	2760	5550	8310

Año de referencia 1994

Tabla A.1-10: Producción de bandas LF y bandas cortadas [Bed95].

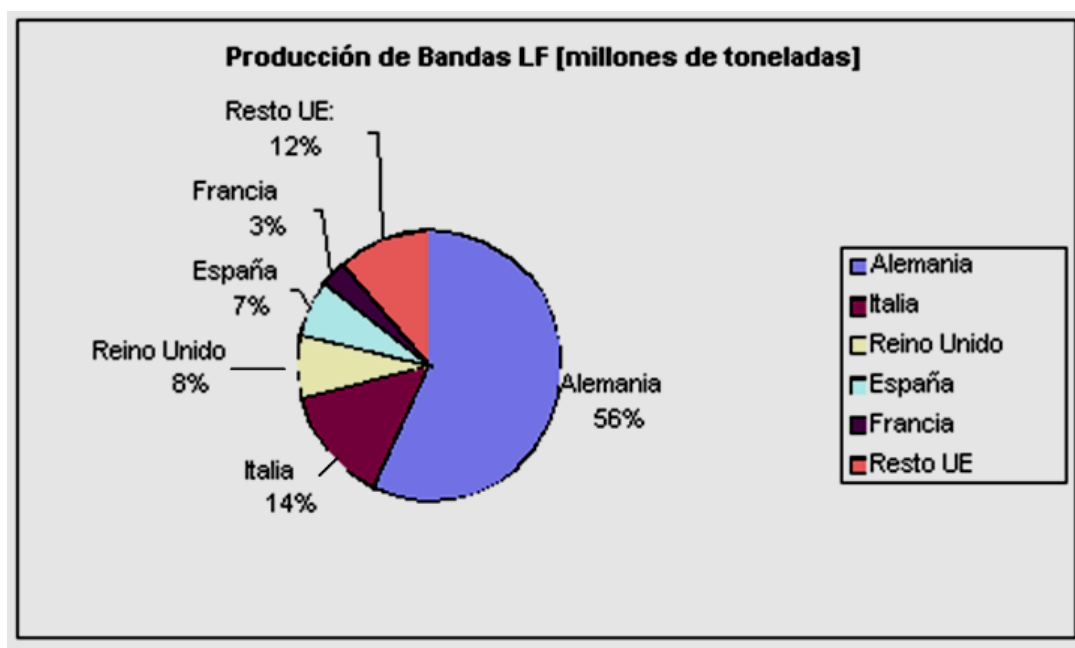


Figura A.1-2: Producción de bandas LF en 1994 [Bed95].

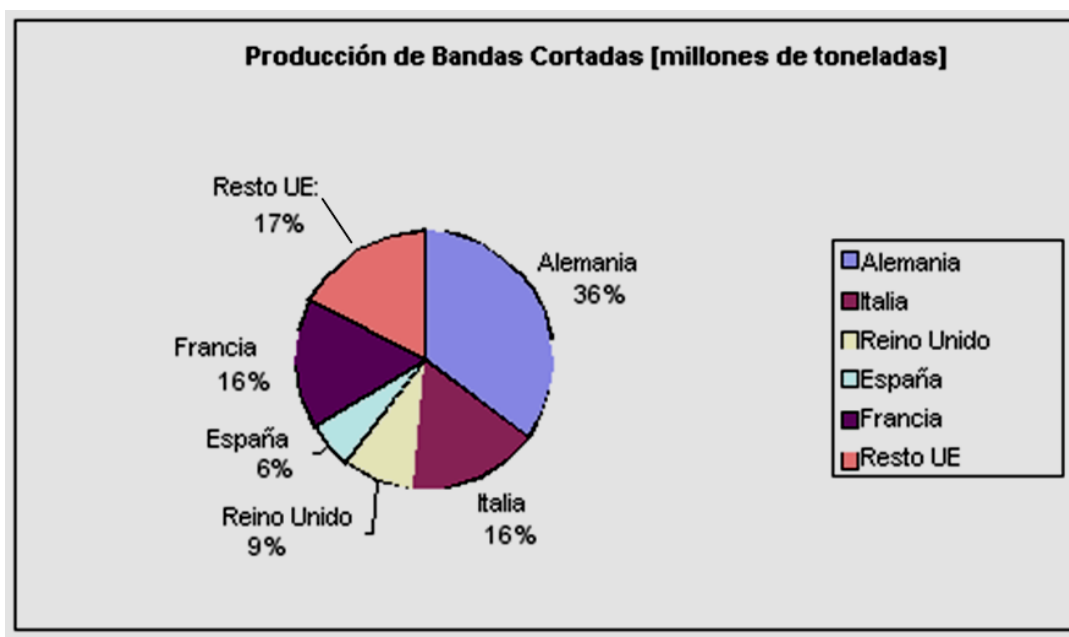


Figura A.1-3: Producción de Bandas Cortadas [Bed95].

A.1.5 Productos alargados estirados en frío / barras de acero pulido

La producción de barras de acero pulido en la UE fue de unos 2,4 millones de toneladas en 1994. El número de empresas disminuyó desde 154 en 1988 a 130 en 1995, con 46 de ellas en Alemania, 26 en España, 25 en Italia, 15 en el Reino Unido, 14 en Francia, 2 en Portugal, 1 en Dinamarca y 1 en Bélgica. Las barras de acero pulido se emplean en industrias como la de fabricación de vehículos de motor, maquinaria, aparatos eléctricos y otros sectores, en los que un material básico de alta calidad es obligatorio [Pan97].

A.1.6 Alambre

La Unión Europea cuenta con la mayor industria mundial de trefilado de alambre, seguida por Japón y Norteamérica. Produce unos 6 millones de toneladas de alambre al año. Incluidos los diversos productos del alambre, como alambre de espinos, rejillas, telas metálicas, mallas, clavos, etc., la producción del sector supera los 7 millones de toneladas al año. La industria de trefilado de alambre europea se caracteriza por un gran número de medianas empresas especializadas, con una media de 121 empleados y una facturación anual de 13,7 millones de € por empresa. No obstante, la producción de la industria está dominada por unos pocos productores grandes. Se estima que alrededor del 5% de las compañías fabrican el 70% de la producción del sector (y el 25% de las empresas el 90%).

Durante los últimos 10 años, las empresas independientes de estirado de alambre han ido progresivamente integrándose verticalmente. El trefilado de alambre y la fabricación de productos de alambre acabados en la parte baja del proceso de producción ha mostrado un alto grado de integración, pero también en la parte alta del proceso de producción ha habido una cierta integración entre la fabricación de acero y las industrias de producción de alambrón y de estirado de alambre. Aproximadamente un 6% de las trefilerías en Europa son productores integrados, lo que representa alrededor del 75% de la producción total de alambre de acero [C.E.T].

El principal productor de alambre de acero es Alemania con un 32% de la producción, seguido de Italia (aprox. 22%), Reino Unido, Benelux (principalmente Bélgica), Francia y España. Otros estados miembros que tienen una pequeña industria de estirado de alambre son Suecia, Austria, Grecia y Portugal.

La distribución de las instalaciones de estirado de alambre en la UE, su tamaño y el número de plantas para cada uno de los Estados Miembros se indica en la Tabla A.1-11.

	Producción de Alambre [1000 t] ¹	Productos de Alambre [1000 t] ¹	Número de plantas ²	Número medio de empleados por planta ²
Austria	120	115	2	ND.
Benelux	619	246	20	325
Dinamarca	ND	ND	ND	ND
Finlandia	ND	ND	ND	ND
Francia	406	102	36	136
Alemania	1908	89	85	125
Grecia	140	60	2	ND.
Irlanda	ND	ND	ND	ND.
Italia	1250	300	74	58
Portugal	82	30	2	ND
Suecia	135	63	11	85
España	463	138	26	ND.
Reino Unido	735	105	25	110
Total	5858	1248	283	121

¹ año de referencia 1996

² año de referencia 1994

Tabla A.1-11: Industria de trefilado de alambre en la UE
[C.E.T.] [Euro-Strategy].

A.2 PROCESOS APLICADOS EN LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

Las actividades de conformación en caliente y frío cubiertas en este BREF son la laminación en caliente, la laminación en frío y el trefilado del acero.

A.2.1 Plantas de laminación en caliente

A.2.1.1 Visión general del proceso

En la laminación en caliente, el tamaño, la forma y las propiedades metalúrgicas de los planchones, los tochos, las palanquillas o los lingotes de acero se modifican comprimiendo repetidamente el metal caliente (temperatura entre 1050 y 1330°C) entre rodillos alimentados eléctricamente. La **alimentación** de acero para la laminación en caliente varía en tipo y forma, dependiendo de la ruta de proceso y del producto a fabricar:

Los lingotes colados, predominantemente con sección transversal cuadrada, se utilizan para la fabricación de planchones y tochos en trenes de laminación de planchón/bloomings (trenes desbastadores de tochos). Los planchones y tochos son procesados para convertirlos en planchas o bandas en otros trenes de laminación. Actualmente, el uso de lingotes colados y de planchones/tochos está disminuyendo ya que la colada continua ha hecho que este paso sea obsoleto. Aproximadamente el 93,7% (1995) del acero bruto producido en Europa se moldea en continuo en productos semiacabados como planchones, tochos o palanquillas. Sólo una pequeña parte se moldea en moldes discretos para producir lingotes para algunos productos especiales (ej: chapas gruesas).

Los planchones (de 400 a 2500 mm de ancho y de 40 a 50 mm de grosor) son productos semiacabados de colada continua para la laminación de productos planos.

Las palanquillas (de forma cuadrada o rectangular con secciones transversales de 2500 mm² a 14400 mm² (de 50 x 50 mm a 120 x 120 mm)) y **los tochos** (de forma cuadrada o rectangular con secciones transversales desde 14000 mm² hasta aprox. 100000 mm² (de 120 x 120 mm a 250 x 400 mm)) son productos semiacabados de colada continua utilizados para la laminación de productos alargados.

Los perfiles en bruto (con dimensiones de 170 x 240 mm a 500 x 1120 mm) son producidos en moldeo en continuo de precisión. Los perfiles en bruto se utilizan para la laminación de productos alargados [EUROFER HR].

Los procesos de los trenes de laminación en caliente constan convencionalmente de las siguientes etapas:

- Acondicionamiento del material de alimentación (desbarbado, desbaste).
- Calentamiento a la temperatura de laminación.
- Descascarillado.
- Laminación (desbaste, incluye reducción de anchura, laminación a la dimensión y propiedades finales).
- Acabado (recortado, cortado en bandas, corte).

Los productos obtenidos de la laminación en caliente se clasifican normalmente en dos tipos básicos según su forma: productos planos y alargados. Los tubos también son cubiertos por el término 'producto alargado' en este documento.

La Figura A.2-1 muestra un resumen de los productos fabricados para distintos fines y aplicaciones.

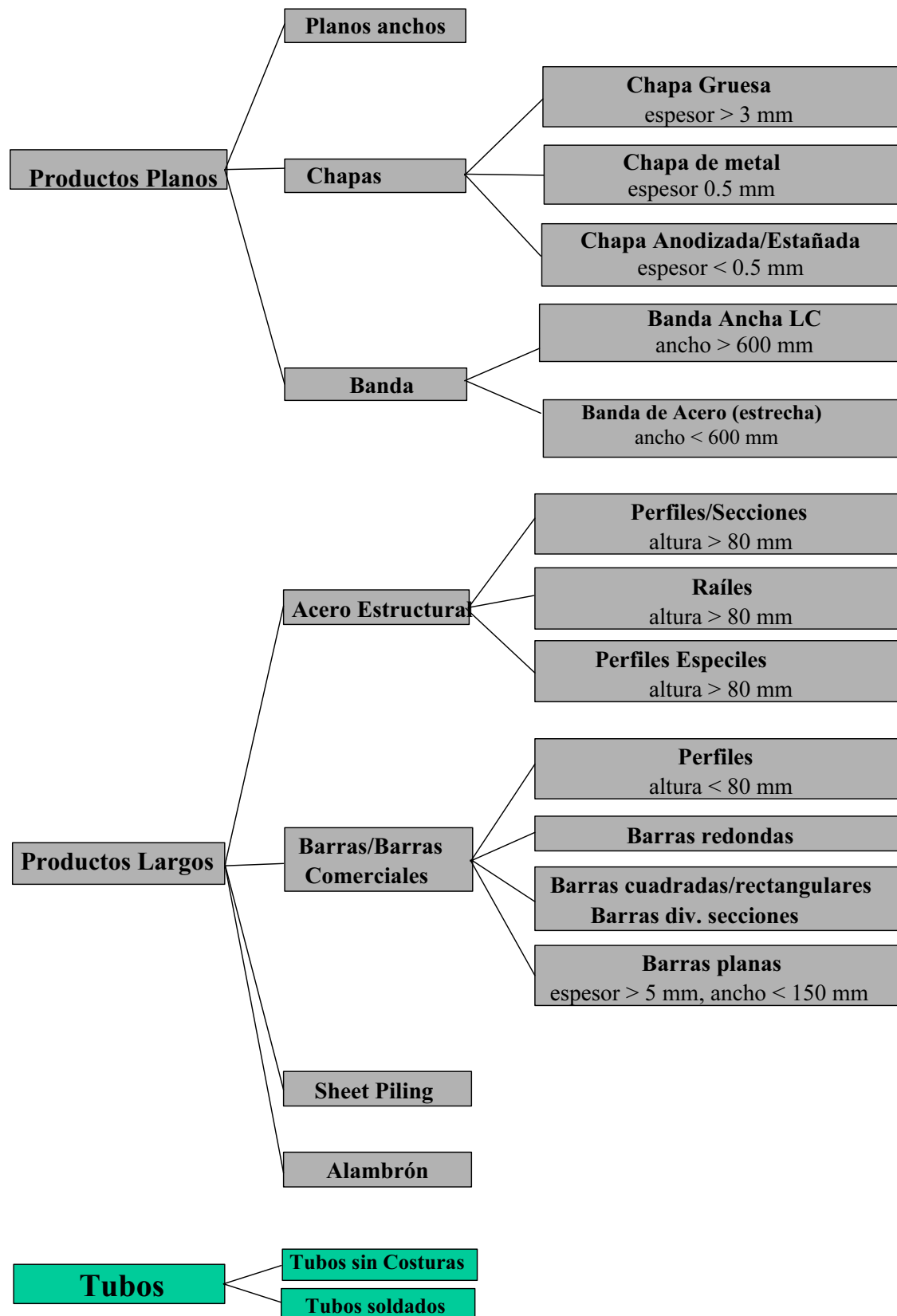


Figura A.2-1: Resumen de los Productos Laminados en Caliente

Los trenes de laminación en caliente se clasifican según el tipo de producto que fabrican y por sus características de diseño. Los siguientes capítulos dan una visión de las distintas estructuras de los trenes de laminación y secuencias de fabricación. Posteriormente se da información más detallada sobre las fases de los procesos individuales, que con frecuencia son similares en distintas plantas.

A.2.1.1.1 Bloomings/laminadores de planchones

Los bloomings (trenes desbastadores de tochos) y los laminadores de planchones se utilizan para laminar lingotes colados en productos semiacabados. La materia prima se calienta en hornos recalentadores de lingotes hasta unos 1300°C y se moldea subsiguientemente en cajas reversibles pesadas de dos rodillos superpuestos, en 15-30 pasadas de laminación.

El material a laminar se desplaza a lo largo de mesas con rodillos, se posiciona con ayuda de manipuladores, y se introduce en la abertura de laminación. El material es girado repetidamente en 90° a lo largo de su eje longitudinal durante la serie de pasadas.

La principal diferencia entre las cajas de bloomings y de laminadores de planchón es la mayor altura de las cajas utilizadas para laminar planchones. Esto se asocia con las características del producto, ya que los trenes de laminación de planchón se utilizan principalmente para laminar productos semiacabados planos y requieren una mayor altura de elevación de los rodillos superiores.

Otro sistema de laminación es el tren universal de laminación de desbastes planos. Pares de rodillos de trabajo se disponen horizontal y verticalmente en sucesión. Los rodillos verticales conforman los lados estrechos.

Los productos semiacabados laminados se cizallan con cizallas en ambos extremos, y se dividen en longitudes ordenadas. Los defectos superficiales del producto pueden eliminarse por escarpado a la llama (desbarbado) [Ullmann's].

Con el crecimiento de los productos de colada en continuo, el número y la importancia de los bloomings y laminadores de planchón ha disminuido. Desde 1988, el número se redujo en 18 hasta un total de 67 en 1993 (véase Tabla A.2-1).

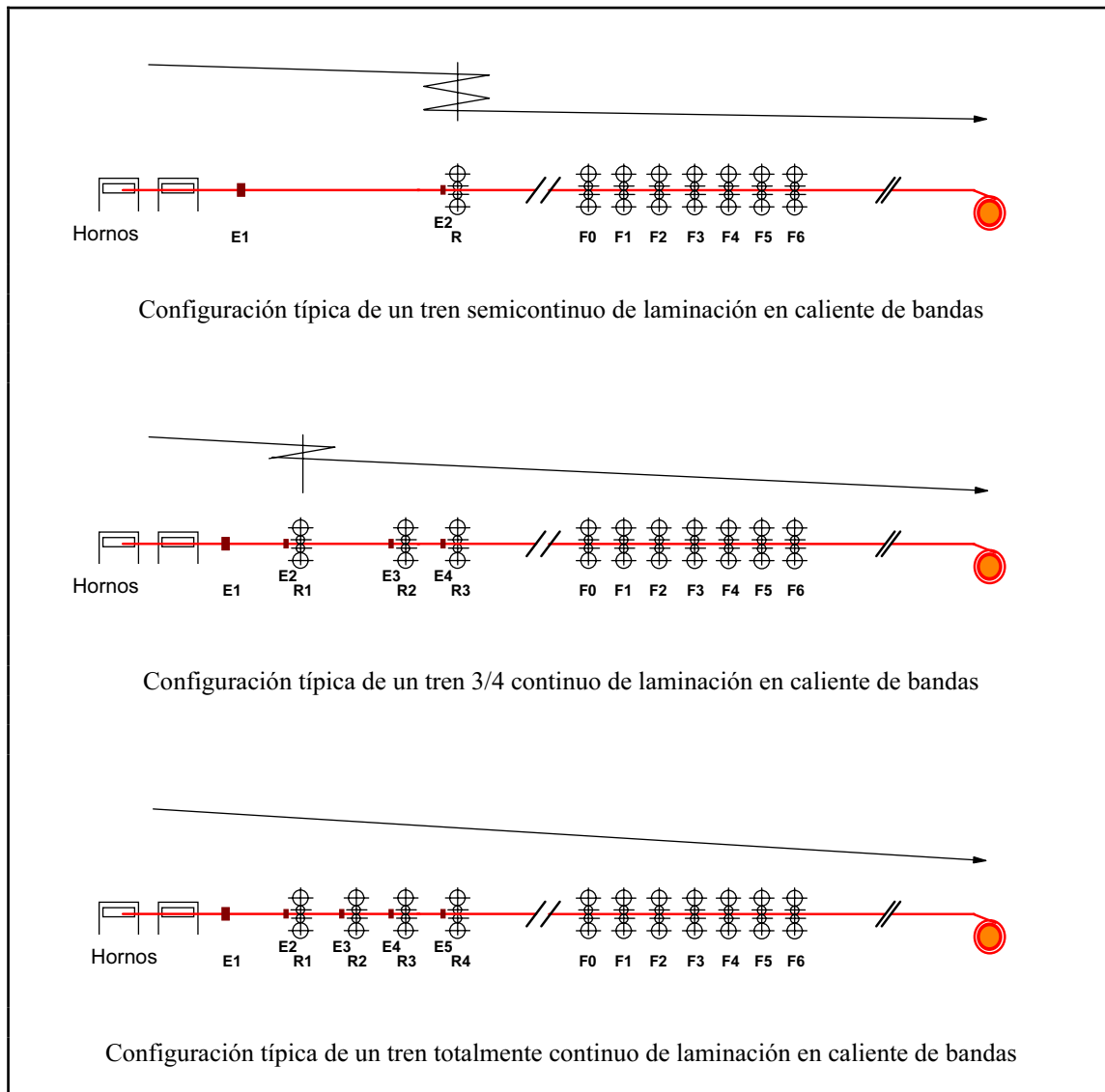
	Número de Plantas	Capacidad Media [t/h]
Bloomings	13	85
Bloomings y laminadores de palanquilla	8	84
Blooming y laminadores de planchón	13	187
Bloomings, laminadores de planchón, de palanquilla	6	109
Laminación de planchón (sólo)	5	284
Laminación de palanquilla (sólo)	20	83
Laminadores de palanquilla y de planchón	2	122
Total	67	122

Tabla A.2-1: Plantas de productos semiacabados [EUROSTAT].

A.2.1.1.2 Trenes de laminación en caliente

Para la producción de bandas laminadas en caliente, el planchón calentado – tras su descascarillado – pasa por el tren de desbaste, donde se reduce desde un grosor de unos 120 – 300 (500) mm hasta aproximadamente 20 – 50 mm (barra colectora). El desbaste puede incluir también una reducción de anchura.

Este desbaste se realiza en varias pasadas a través de una caja de laminación individual mediante inversión repetida, o mediante un paso continuo a través de varias cajas de laminado. La denominación de laminadores de bandas (laminador semicontinuo de bandas en caliente, laminador $\frac{3}{4}$ continuo de bandas en caliente y laminador continuo en caliente, véase Figura A.2-2) tiene su origen en esta configuración de planta.



E= Bordeadora R= Tren desbastador F= Tren de acabado

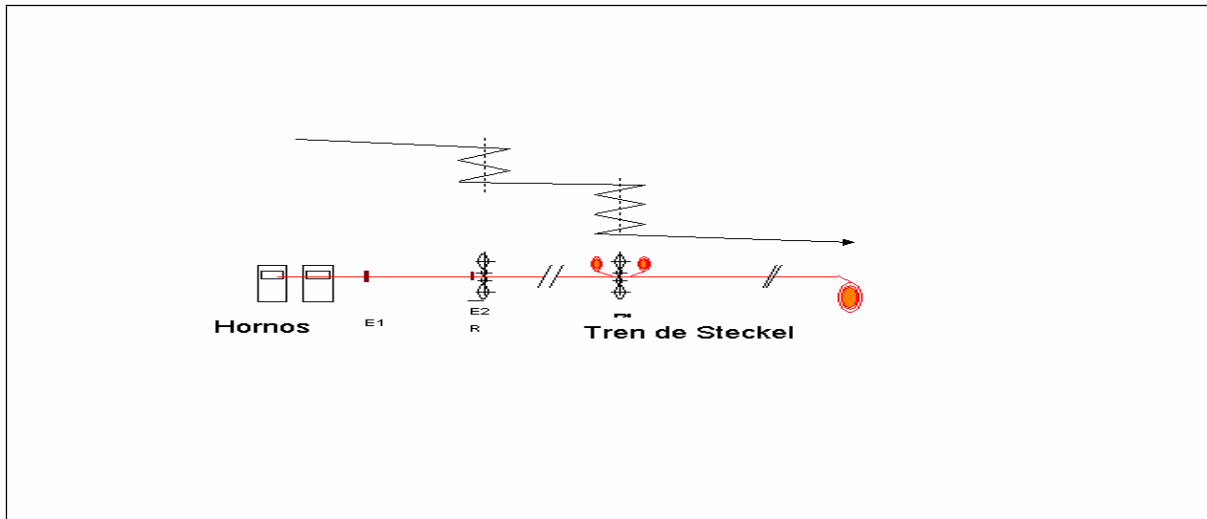
Figura A.2-2: Diseños típicos de Trenes de Laminación de Bandas en Caliente [EUROFER HR].

El material reducido a una barra de transferencia es dirigido al tren de acabado a través de una mesa de rodillos intermedia, que en muchos casos se combina con las denominadas cajas de bobinas. Antes de entrar en el tren de cajas de laminación para la reducción del espesor al tamaño final (entre 1.2 y aprox. 20 mm), la barra de transferencia es cizallada. La laminación a temperatura controlada en el tren de acabado, que incluye el enfriamiento de bandas controlado instalado en la mesa de rodillos de salida, confiere los parámetros técnicos deseados (resistencia, tenacidad) a la banda caliente. Al final del tren de laminación, el producto acabado se enrolla en bobinas.

Las bandas laminadas en caliente que no se destinan a ulterior proceso de laminación en frío se venden parcialmente con los bordes curvados, aunque según el uso externo previsto deberá procederse a su acondicionamiento. Este acabado de las bobinas incluye el recorte lateral, el corte en bandas pequeñas a lo largo de líneas de corte y corte en láminas [EUROFER HR].

Tren de Laminación de Steckel

Un método especial de producción de bandas laminadas en caliente se realiza en los llamados trenes de laminación Steckel. Aquí el material inicial se procesa normalmente en bandas mediante su inversión a través de una caja de desbaste y una caja de acabado, en algunos casos incluso con inversión sólo a través de una caja.



E= Bordeadora R= Tren desbastador F= Tren de acabado

Figura A.2-3: Configuración típica de un Tren de Laminación STECKEL [EUROFER HR].

Para mantener las pérdidas de calor durante el largo proceso de conformación dentro de límites razonables y para manipular más fácilmente las bandas, de tamaño relativamente largo, se conectan dispositivos de bobinado en caliente denominados bobinadores STECKEL a ambos lados de la caja de laminación (tren de acabado), donde se almacena temporalmente el material arrollado.

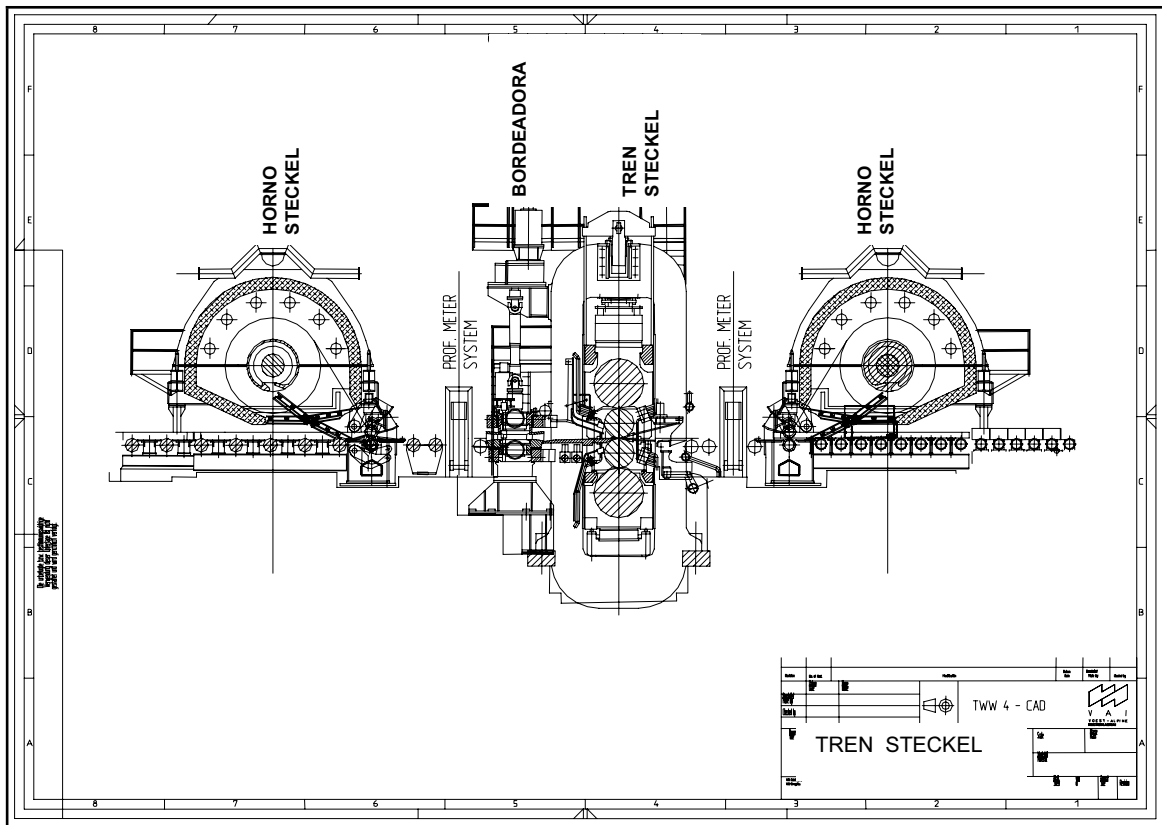


Figura A.2-4: Tren de Laminación STECKEL con hornos de bobinado [EUROFER HR].

Tren de Laminación Planetario Sendzimir

Los trenes de laminación de este tipo se caracterizan por el uso de rodillos de cilindros de apoyo giratorios que accionan los rodillos de trabajo, de modo que la superficie de los últimos se mueve en dirección opuesta a la de la pieza de trabajo. Los rodillos de trabajo están encerrados en jaulas, que giran alrededor de los cilindros de apoyo de forma controlada. Para facilitar el trabajo con material de entrada de mayor grosor (planchones), los trenes planetarios pueden contar con la asistencia de prensas excéntricas anexas.

Tipos especiales de trenes planetarios son el tren planetario simple – sólo el juego de rodillos inferior está diseñado como del tipo planetario y se dispone un rodillo superior giratorio o un bloque fijo encima de la línea de paso, y el tren de laminación planetario ‘Krupp-Platzer’ que cuenta con rodillos intermedios entre los rodillos de trabajo y el cilindro de apoyo [EUROFER HR].

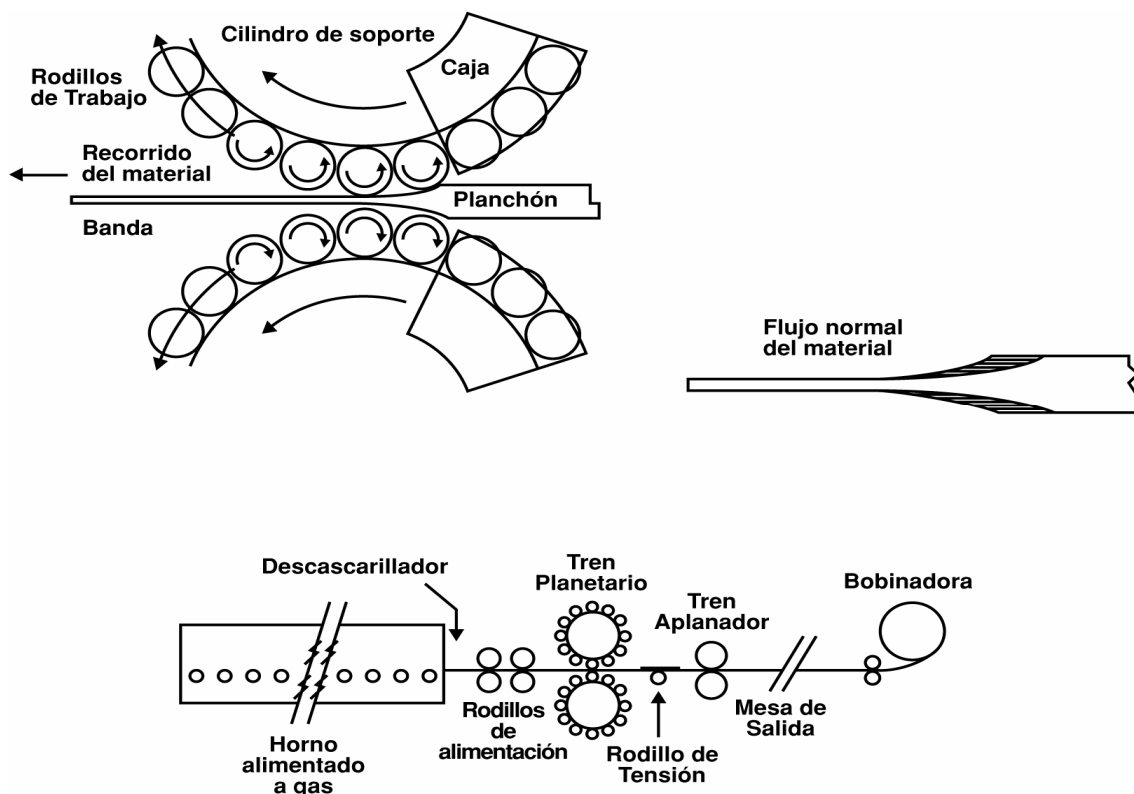


Figura A.2-5: Tren de Laminación Planetario (SENDZIMIR)
[EUROFER HR].

A.2.1.1.3 Trenes de laminación de chapa

La producción de chapas gruesas (espesor entre 5,0 y 380 mm, ancho hasta 5.2 m) se realiza invirtiendo el la dirección de funcionamiento en un tren de laminación simple o con un tren de laminación tándem.

Tras su laminación, las chapas se colocan en un lecho de enfriamiento (transferencia cruzada) y se enfrían a temperatura ambiente y/o a temperaturas máximas de 500°C para su ulterior procesamiento [EUROFER HR].

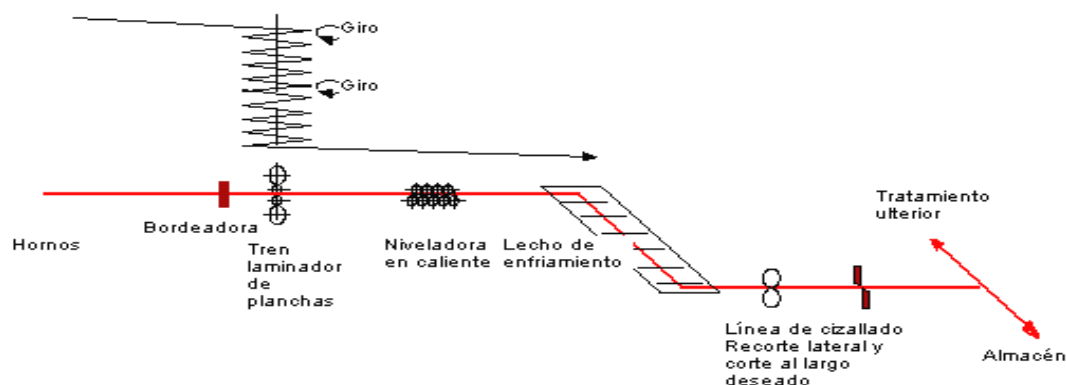


Figura A.2-6: Configuración típica de un Tren de Laminación de Chapas [EUROFER HR].

En casos especiales, el producto laminado se trata térmicamente con sistemas de enfriamiento por agua (ej: cortinas de agua) inmediatamente tras la laminación en caliente. Se disponen aplanadores en caliente y/o frío delante o detrás del enfriador para enderezar las chapas.

Tras el proceso de enfriado en el enfriador, se realiza el tratamiento secundario de las chapas en los talleres de acabado (cizallado, recorte lateral y corte al largo requerido). Una parte de la producción es sometida a un tratamiento térmico subsiguiente antes de su expedición. Estos tratamientos pueden ser recocido, recocido de esferoidización, eliminación de las tensiones, normalización, temple y revenido.

Chapeados

Los productos especiales como chapas multicapa (chapeados) requieren una técnica de preparación y laminación (principalmente una doble laminación en caliente) aparte. En estos productos, se une permanentemente al acero al carbono un material de superficie resistente a la corrosión, de menor coste y probablemente más robusto.

El primer paso comporta la fabricación de ‘sandwiches’ compuestos por planchas de los materiales de revestimiento y de refuerzo con grosores en la proporción exacta para lograr las dimensiones requeridas de la chapa con el porcentaje de metales exigido. El conjunto es entonces laminado al calibre, ancho y largo requeridos, quedando los dos materiales permanentemente unidos gracias a la elevada presión de laminación.

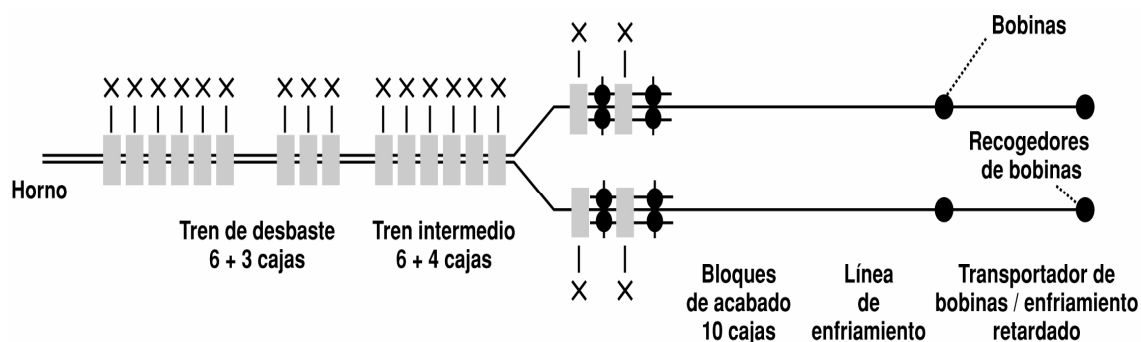
En la laminación, las reducciones de sección están normalmente limitadas y las temperaturas de acabado se controlan cuidadosamente. En algunos casos los sandwiches se laminan en una primera fase en planchones, siendo cortados a los tamaños deseados en una segunda serie, realizándose la laminación final en trenes de laminación de bandas en caliente o en el tren de chapas. En ocasiones se requieren tratamientos térmicos para producir la resistencia a la corrosión y las propiedades físicas deseadas, eliminándose la cascarilla resultante mediante decapado con arena o granallado [EUROFER HR].

A.2.1.1.4 Trenes de laminación de barras

Las barras y las barras de alambre (alambrones) constituyen productos laminados en caliente de secciones relativamente pequeñas fabricados en forma bobinada o recta. Para su laminación se utilizan rodillos perfilados con el fin de dar al acero la forma final deseada.

Alambrones

Los alambrones tienen por lo general secciones circulares con un diámetro de 5 a 14 mm. Las secciones transversales mayores y las distintas formas como ovalada, cuadrada, hexagonal, octogonal, etc. pueden también laminarse en trenes de laminación de barras con rodillos de la forma adecuada. El alambón laminado en caliente se utiliza principalmente para su ulterior proceso en trefilado o laminación en frío.



Nota: Ejemplo de un tren de laminación de alambraón de 2 líneas y 30 cajas con enfriamiento controlado Stelmor.

Figura A.2-7: Esquema típico de un Tren de Laminación de Alambrón [EUROFER HR].

Las palanquillas que alimentan los trenes de laminación de alambraón se calientan a la temperatura de laminación en caliente en hornos de empuje o de balancín. Se instala un sistema de descascarillado entre la salida del horno y la primera caja de laminación.

Los trenes de laminación de alambraón son continuos con secciones de prelaminaación, intermedias y de acabado. Las cajas de laminación son de 2 alturas y en un número normalmente mayor de 25, según la sección transversal de las palanquillas que alimentan el laminador (de 80 a 155 mm). Las secciones de desbaste e intermedias pueden ser de múltiples líneas (hasta 4), mientras que las secciones de acabado son siempre de una sola línea.

Se instalan cizallas entre las distintas secciones del laminador, que se utilizan para realizar un corte limpio que mejore la introducción en el siguiente tren de laminación. También se utilizan cizallas para cortar la barra atrapada en el proceso de laminación en caso de que se produzca un incidente más adelante.

El tratamiento térmico en líneas del alambraón se realiza con rampas de enfriamiento por agua situadas entre las cajas de laminación finales y las bobinadoras, seguido de enfriamiento por aire de las bobinas situadas en cintas transportadoras. El control del caudal de aire permite conferir al alambraón la microestructura deseada para su ulterior proceso (enfriamiento STELMOR®) [EUROFER HR].

Barras

Las barras laminadas en caliente incluyen básicamente dos tipos de productos de acero, **aceros comerciales** o aceros industriales con secciones transversales redondas, cuadradas, hexagonales, octogonales, en forma de L, en forma de U o en forma de I de hasta 1600 mm² y **barras para hormigón** (barras de refuerzo) con secciones redondas, de 6 a 40 mm de diámetro, principalmente con nervaduras en su superficie.

Los trenes de laminación de barras son similares a las primeras secciones de los trenes de alambraón. Tienen normalmente trenes de una sola línea y 2 alturas con grupos de desbaste, intermedios y de acabado, seguidos de cizallas que cortan el producto laminado en caliente en barras largas que son luego transportadas a un enfriador. Los trenes de alta capacidad son todos continuos con cajas alternantes horizontales y verticales, mientras que los grupos frontales de los trenes de laminación de menor capacidad son del tipo 'abierto'.

Tras el enfriado, las barras son cortadas a longitudes comerciales y pueden ser enderezadas en una máquina de enderezar en frío.

Las barras para hormigón son tratadas térmicamente en línea en muchos casos mediante enfriamiento intensivo con agua, para obtener una alta resistencia a la tracción (proceso TEMPCORE®). Otro modo de aumentar la resistencia a la tracción de las barras para hormigón es su tratamiento mecánico tras el enfriamiento: las barras son deformadas por torsión por encima de límite elástico hasta obtener la resistencia a la tracción deseada [EUROFER HR].

Estirado en frío de barras de acero

El estirado en frío hace referencia a la fabricación de barras o secciones de acero mediante estirado en frío, desbaste o pulido de barras de acero laminadas en caliente para convertirlas en ‘barras de acero pulido’ con el perfil y las características requeridas por los usuarios. El acabado en frío durante las operaciones de estirado en frío endurece y aumenta la resistencia a la tracción del acero, reduciendo al mismo tiempo la ductilidad, lo que puede hacer necesario un tratamiento de recocido del producto tras el trefilado. Las barras de acero estirado son principalmente de sección transversal cuadrada, rectangular o hexagonal, pero pueden producirse todos los tipos de secciones según la demanda. Los productos son barras de acero sin alear, barras de acero aleado de distintas calidades, incluido acero inoxidable y otros aceros para herramientas, y formas y perfiles de distintas calidades de acero [Pan97].

Las barras de acero pulido son utilizadas por las industrias de automoción, maquinaria, aparatos eléctricos y otros sectores en los que la alta calidad de los materiales básicos es indispensable.

A.2.1.1.5 Trenes de laminación de perfiles

Como la mayoría de los trenes de laminación, los trenes de laminación están divididos en cajas de desbaste, intermedias y de acabado, precedidos de una máquina de descascarillado instalada entre el horno de recalentar y el tren de desbaste.

Las cajas de desbaste son generalmente cajas reversibles de 2 alturas. Los rodillos tienen varios juegos de perfiles, que se utilizan en secuencia. El rodillo superior puede moverse verticalmente con objeto de reducir progresivamente el hueco entre los cilindros, reduciendo con ello la sección de paso.

La cizallas o sierras en caliente se instalan generalmente entre las distintas secciones de los trenes de laminación y se utilizan para obtener una barra con extremos cortados limpiamente para facilitar su introducción en la siguiente caja de laminación.

Al salir de la caja o tren de acabado, las barras se cortan a la longitud del enfriador o al largo comercial con sierras. Tras su enfriado, las barras son enderezadas en máquinas de enderezado mecánicas o hidráulicas, siendo cortadas a la longitud deseada con sierras [EUROFER HR].

Para obtener las distintas formas requeridas para la laminación de perfiles, se utilizan rodillos acanalados o cajas ‘universales’ con 2 rodillos horizontales y 2 verticales como se muestra en las Figuras A.2-8 y A.2-9.

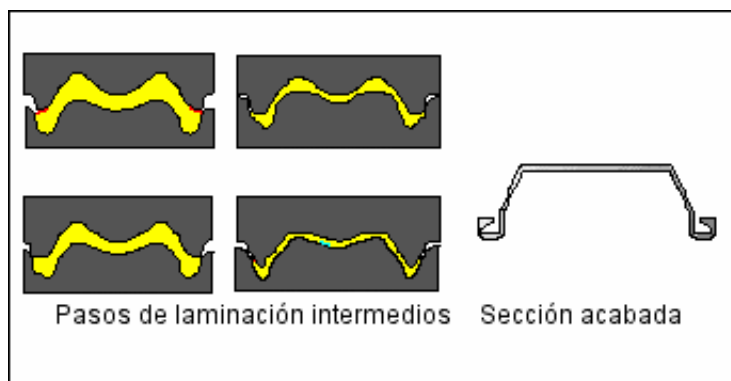


Figura A.2-8: Rodillos perfilados para perfiles de pilotajes de planchas [EUROFER HR].

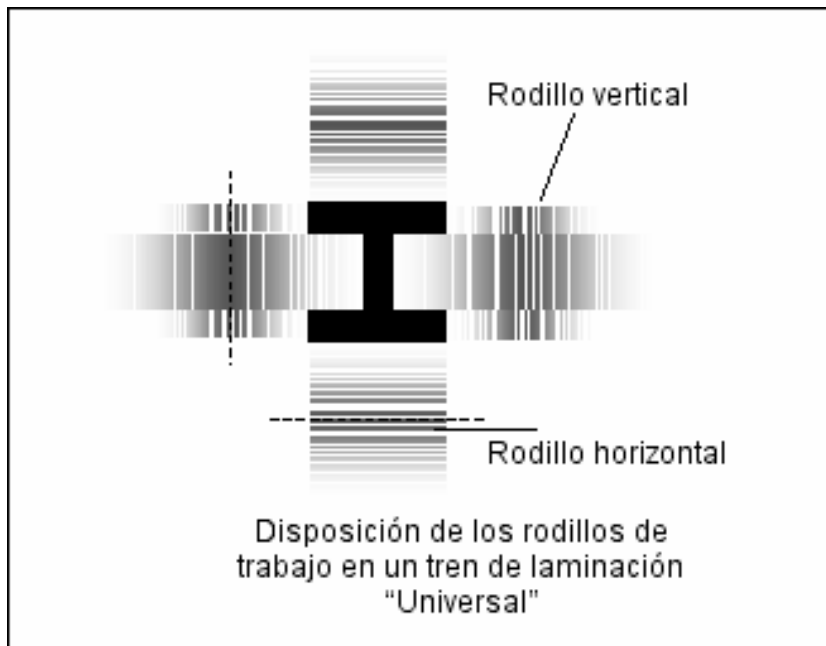


Figura A.2-9: Trenes universales para productos con bordes redondeados paralelos [EUROFER HR].

El control de la geometría es de la máxima importancia en la laminación de perfiles, ya que las tolerancias bastante estrechas son habituales para los perfiles laminados en caliente. Los dispositivos de medición con aplicación de sofisticadas técnicas, incluida la tecnología de láser y los elementos radiactivos son de uso común.

Los diseños de los trenes de laminación de perfiles varían enormemente según el programa de fabricación. La Figura A.2-10 muestra el esquema de laminación de perfiles gruesos con trenes universales, especializado en perfiles de bordes paralelos en H y en I. Incluye tratamiento térmico en línea (QST - Temple y autorevenido) para obtener una microestructura óptima para aplicaciones de elevada resistencia y ductilidad.

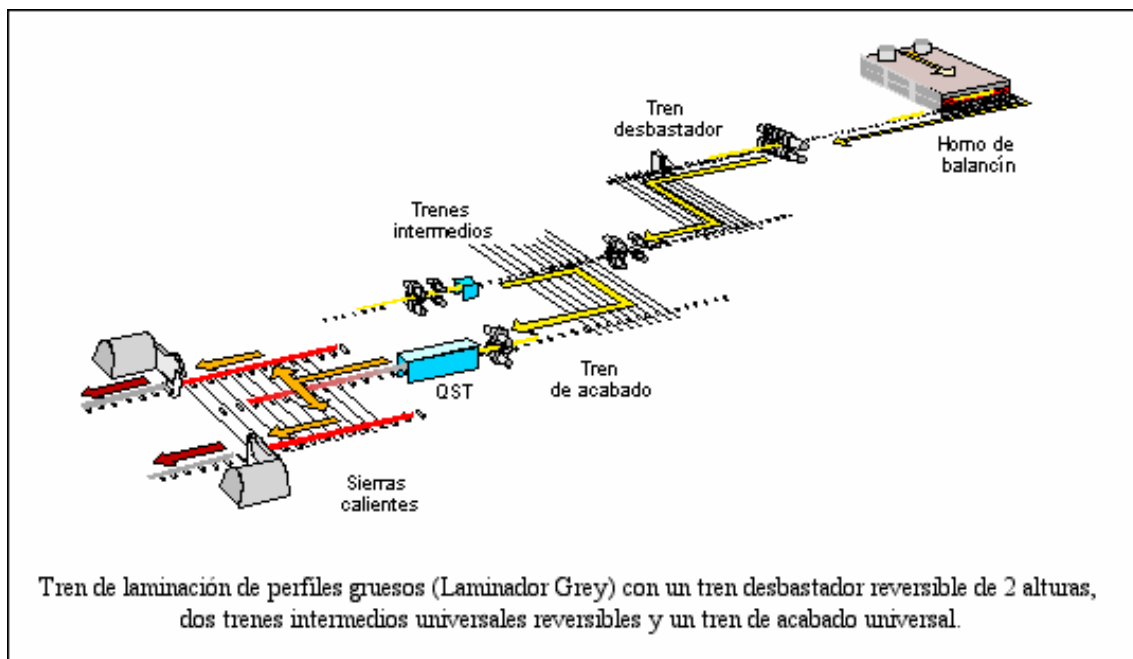
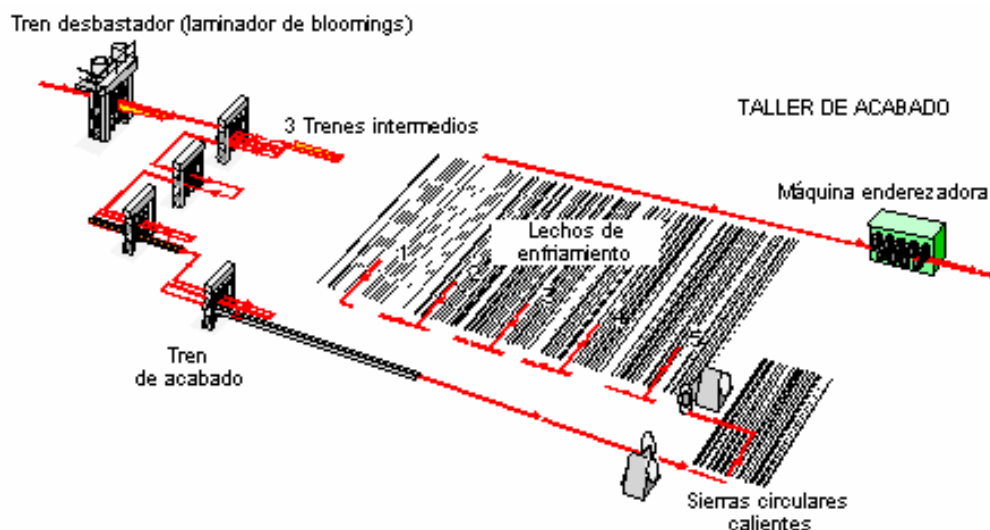


Figura A.2-10: Esquema de una Planta de Laminación de Perfiles Gruesos [EUROFER HR].

La Figura A.2-11 presenta el esquema de una planta de laminación de perfiles gruesos/medios especializado en la laminación de secciones de pilotajes de planchas. Las cajas intermedias son del tipo ‘abierto’ con transmisión común. El tren de acabado de 2 alturas puede sustituirse por un tren universal para la producción de productos con bordes redondeados paralelos.



Tren de laminación de perfiles medios/gruesos con un tren desbastador reversible de 2 alturas, tres trenes intermedios de 2 alturas con transmisión común y un tren de acabado reversible.

Figura A.2-11: Esquema de una planta de Laminación de Perfiles Gruesos/Medios para pilotajes de planchas [EUROFER HR].

Los trenes de laminación de perfiles utilizan cada vez más perfiles en bruto semiacabados con moldeo de precisión (véase Figura A.2.12) para aumentar la productividad y reducir el aporte energético.

Perfiles en bruto para distintos perfiles de viga



Figura A.2-12: Ejemplos de perfiles en bruto para laminación de perfiles [EUROFER HR].

Si el ritmo de producción y el programa de fabricación lo permiten, cada vez se aplica más la carga en caliente de perfiles semiacabados de colada continua, directamente desde la zona de salida de la máquina de colada al horno de recalentar del tren de laminación. Se pueden conseguir un ahorro importante en el consumo energético, pero depende de la proximidad del tren de laminación a una planta de colada continua.

A.2.1.1.6 Trenes de laminación de tubos

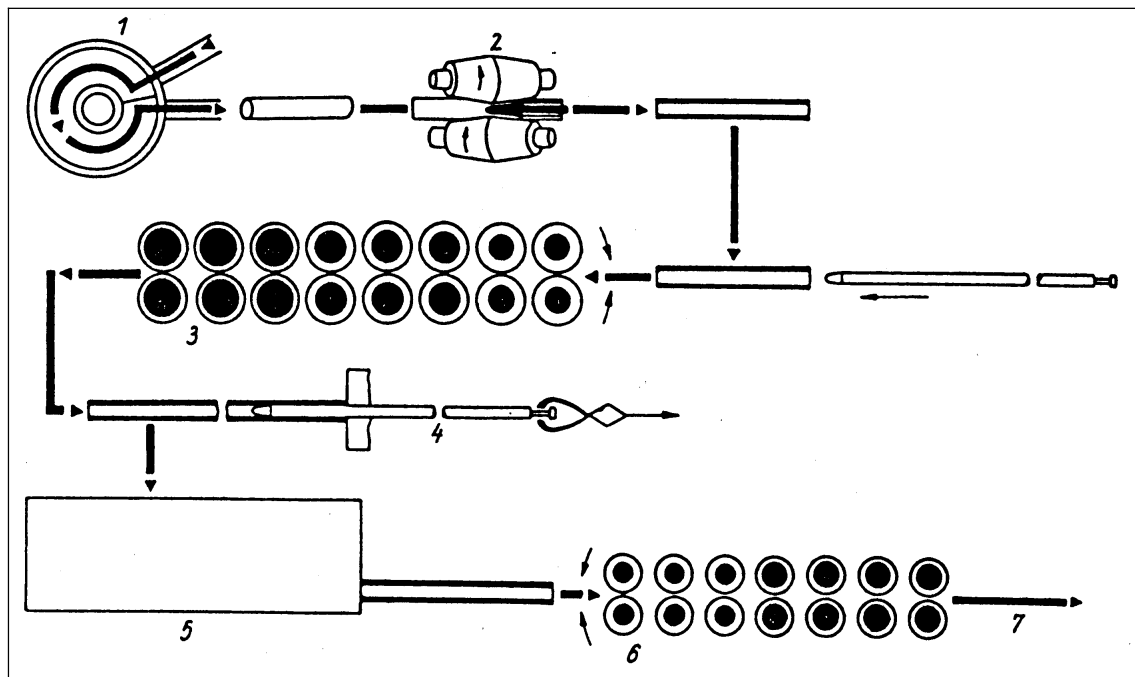
Tubos sin costuras

La producción de tubos sin costuras se compone básicamente de los siguientes pasos de fabricación:

- Calentamiento del material de alimentación.
- Perforación (prensa de perforación o laminador perforador).
- Alargamiento/Estirado.
- Laminación Final.
- Tratamiento Térmico.

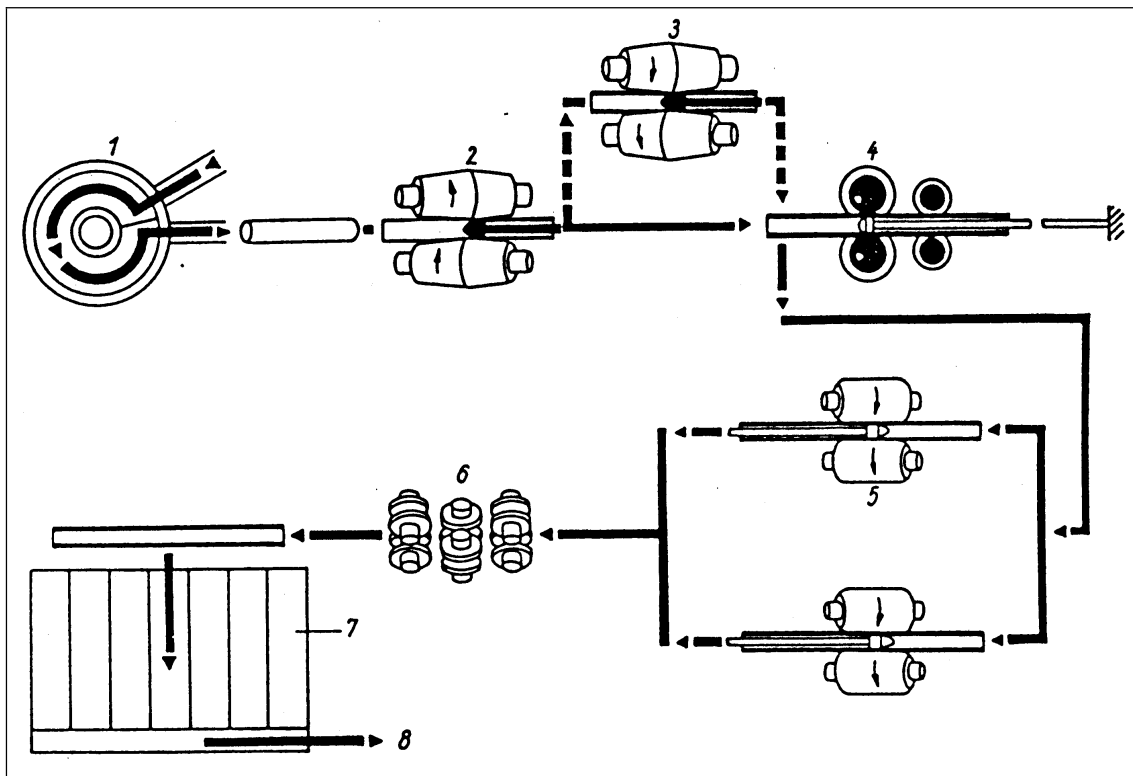
Los tipos más importantes de plantas utilizadas actualmente son los trenes de mandriles, trenes de tapones, trenes de banco para estirado, y trenes Pilger. Las Figuras A.2-13 y A.2-14 muestran algunos diseños de trenes de laminación de tubos.

La materia prima para la producción de tubos de acero sin alear y de aleación media son palanquillas y tochos de colada continua, aunque en ocasiones se utilizan palanquillas con secciones transversales cuadradas. La materia prima para tubos de acero con alto contenido en cromo son principalmente barras redondas, laminadas a partir de palanquillas coladas. La alimentación se calienta a la temperatura de laminación en hornos de solera giratoria a gas natural o aceite. Luego se produce una palanquilla hueca (lingote) por perforación. El proceso más importante de perforación de orificios utiliza rodillos oblicuos. El orificio es producido por dos rodillos oblicuos que giran en la misma dirección, de modo que el lingote se lamina con un movimiento de tornillo sobre un mandril perforador para formar un lingote hueco. El mandril perforador está fijado a una barra de giro libre apoyada en un cojinete de empuje en el lado de salida.



1 Horno de solera giratoria	5 Horno de recalentar
2 Perforador de laminación transversal	6 Tren de reducción de tensión (descentrado 60°)
3 Tren de mandriles (descentrado 45°)	7 Al lecho de enfriamiento y líneas de acabado
4 Desprendedor	

Figura A.2-13: Tren de Laminación de Mandriles
[Tech Metal].



- 1 Horno de solera giratoria
- 2 Perforador de laminación transversal
- 3 Estirado con laminación transversal
- 4 Tren de tapones

- 5 Reeler
- 6 Tren de dimensionado
- 7 Lecho de enfriamiento
- 8 Al taller de acabado

Figura A.2-14: Tren de Laminación de Tapones
[Tech Metal].

Para la fase de alargamiento, se utiliza laminación longitudinal, laminación transversal o prensas. El proceso más importante es el de laminación continua de tubos, ya que es uno de los procesos más eficientes y productivos.

Se utilizan varias cajas de laminación simultáneamente, normalmente 6-8 cajas de dos rodillos superpuestos por grupo, formando un ángulo de 90° entre sí. La reducción del espesor de la pared se produce entre los rodillos y un mandril cilíndrico lubricado.

La laminación a la dimensión final se realiza sin mandril interno en trenes de dimensionado o trenes de estirado-reducción. Los trenes de dimensionado tienen 2-10 cajas, y pueden tener dos o tres rodillos por caja. A medida que se reduce la circunferencia, el espesor de pared aumenta. En los trenes de estirado-reducción, que normalmente tienen tres rodillos por caja y hasta 30 cajas, se evita un aumento del espesor de pared, ya que se aplican fuerzas de tracción entre las cajas durante el proceso.

Los tubos para aplicaciones poco exigentes pueden expedirse inmediatamente tras la laminación. Para requisitos de calidad más exigentes, especialmente buenas propiedades de dureza, se realiza un tratamiento térmico separado tras la laminación que puede incluir normalización y revenido.

Tubos soldados

Los tubos soldados (sin costuras) se fabrican a partir de bandas de acero laminadas en frío o en caliente; chapas laminadas en caliente o chapas gruesas. Básicamente, la secuencia de producción comprende el curvado de la banda o chapa hasta formar un tubo abierto, y el cierre del hueco mediante soldadura. La Figura A.2-15 muestra un esquema de la producción continua de tubos (Proceso Fretz-Moon).

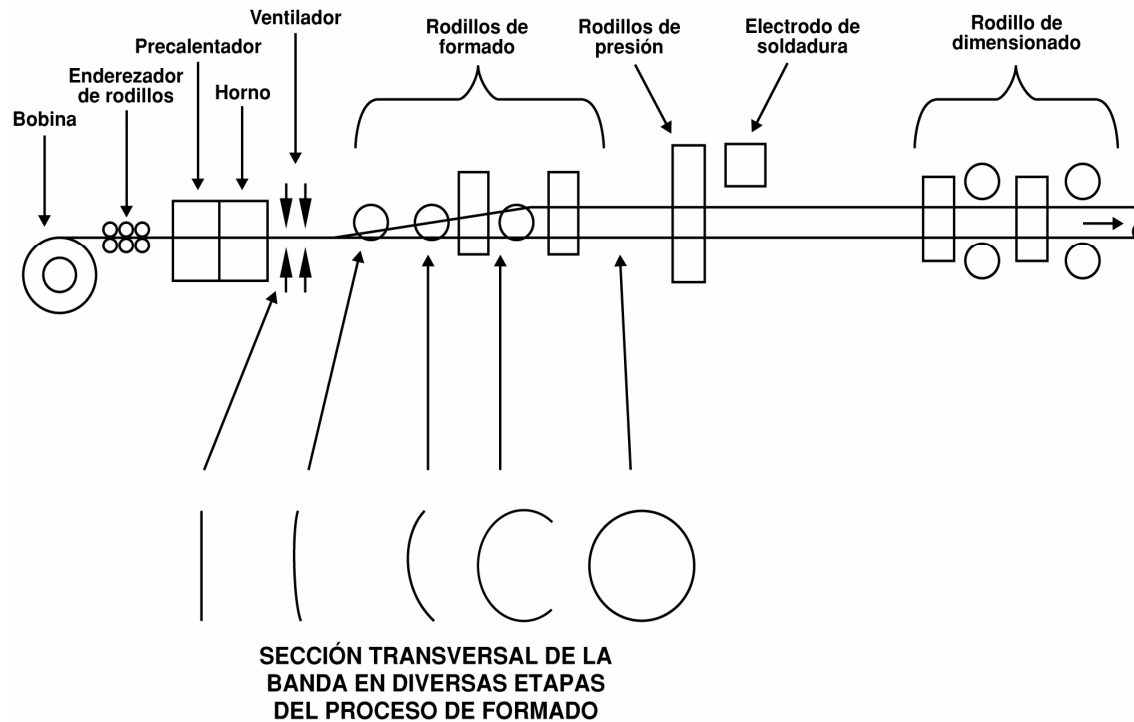
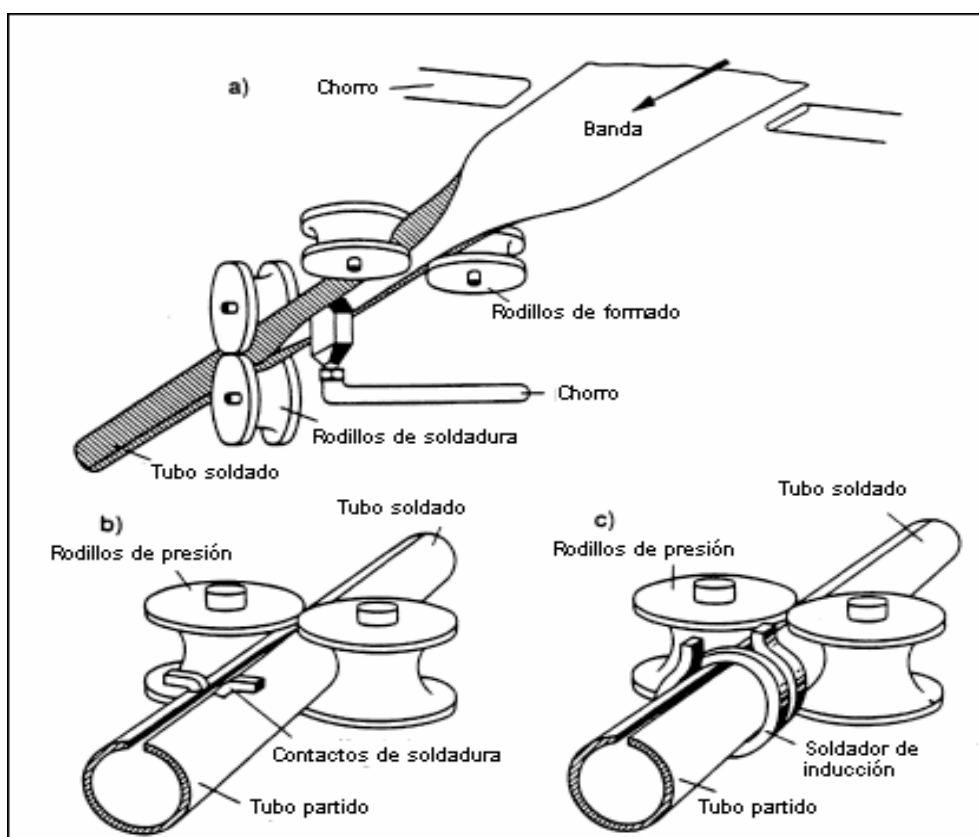


Figura A.2-15: Diagrama de flujo para producción continua de tubos [HMIP].

En el proceso Fretz-Moon (soldadura por presión), las bobinas de banda laminada en caliente se calientan hasta una temperatura elevada en un horno de túnel. Los bordes de la banda se calientan hasta la temperatura de soldadura mediante quemadores adicionales. La banda se conforma hasta formar un tubo con un hueco longitudinal. Un dispositivo de compresión de dos rodillos a 90° reduce luego el hueco y comprime los bordes uno contra el otro de modo que quedan soldados.

El tubo semiacabado pasa, sin calentamiento ulterior, a través de un tren de estirado, donde las dimensiones se reducen según se requiera. Una sierra pendular corta el tubo continuo en largos, que luego se enfrían en un lecho de enfriamiento.

Una alternativa de soldadura es la soldadura por resistencia-presión, en la que el calor de soldadura requerido es generado por corriente alterna de alta frecuencia, conducción o inducción. Las propiedades de las juntas soldadas pueden mejorarse, bien mediante tratamiento térmico en continuo o mediante tratamiento térmico separado del tubo individual. La soldadura por fusión se utiliza principalmente para producir tuberías de acero de gran diámetro (> 457.2 mm). La Figura A.2-16 muestra los principales procesos de soldadura de tubos.



- a) Proceso de soldadura Fretz-Moon
 b) Soldadura conductiva a alta frecuencia
 c) Soldadura inductiva a alta frecuencia

Figura A.2-16: Procesos de soldadura de tubos [EUROFER HR].

A.2.1.2 Rectificación y acondicionamiento del material inicial

Los planchones, tochos y palanquillas pueden presentar defectos superficiales, con grietas, pliegues o costuras. La preparación superficial del material a laminar es necesaria para asegurar superficies impecables en el producto laminado. Los defectos superficiales de los productos semiacabados pueden también ser eliminados mediante los procesos siguientes:

Desbarbado

El desbarbado elimina los defectos superficiales de las calidades mediante un soplete oxiacetilénico. La llama se emplea para fundir y oxidar rápidamente la superficie de acero mientras una corriente separada de oxígeno a alta presión al filo desprende la costra de escoria. El desbarbado se realiza manualmente (para lotes pequeños) o mecánicamente.

La cascarilla del desbarbado mecánico es lavado de la superficie del acero mediante agua a alta presión, siendo conducida a un foso de agua donde la cascarilla se elimina mediante grúa. El agua es tratada y recirculada. La recogida de la chatarra del desbarbado manual se realiza mediante imanes.

Las emisiones de polvo del desbarbado mecánico se recogen, y normalmente se abaten mediante precipitadores electrostáticos (húmedos o secos).

Desbaste

Para aceros inoxidables y calidades especiales de acero, la eliminación térmica de los defectos superficiales no es posible. Por consiguiente, los defectos deben eliminarse por desbaste. El proceso de desbaste puede ser manual o mecánico.

El desbaste manual se realiza con herramientas manuales de motor, en algunas ocasiones en cabinas equipadas con extracción de humos a filtros de bolsa. Las máquinas de desbaste están equipadas con una mesa de rodillos en la que se apoya la pieza de trabajo y sobre la que puede moverse. La muela para desbaste se monta en un carro que permite su movimiento de avance y retroceso sobre la pieza de trabajo. El conjunto se encuentra encerrado en una cabina, que recoge el polvo generado durante el desbaste y lo conduce a un filtro de bolsa antes de su evacuación a la atmósfera.

Corte de planchones al tamaño requerido

En algunos casos, los planchones deben ser cortados al tamaño apropiado. Los planchones tipo cuña, resultantes del ajuste de anchura en la planta de colada continua (ajuste del molde) y del cambio del tamaño de lote, deben ser acondicionados mediante oxicorte para obtener la forma geométrica deseada.

A.2.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico

Para laminación en caliente, el acero de alimentación debe ser calentado a la temperatura de laminación apropiada entre 1050 y 1330°C, y debe asegurarse una distribución uniforme de temperatura.

Según el material de carga y el proceso de laminación en caliente, el recalentamiento se realiza en distintos tipos de hornos, como hornos Pit, hornos de empuje, hornos de balancín, hornos de solera giratorios u otros. Estos hornos se encienden directamente, normalmente con aceite, gas natural o gases de planta como COG o BFG. Según el medio de calentamiento se producirán distintas emisiones de gases residuales (principalmente SO₂ y NO_x).

A.2.1.3.1 Hornos discontinuos

Los hornos de tipo discontinuo se utilizan a menudo para aceros y forjas especiales. Un ejemplo típico de horno discontinuo es el horno Pit, utilizado para recalentar lingotes, planchones y otros materiales de alimentación. Consta de cámaras con forro refractario en las que el material inicial se coloca verticalmente (lingotes) u horizontalmente (planchones). Una tapa móvil permite la carga del material y su extracción para laminación. Los lingotes colados pueden ser cargados inmediatamente tras el desmoldeo para conservar energía. La capacidad típica de un horno Pit es de 50 a 170 toneladas con un aporte térmico de 9,5 MW (Th) y una velocidad de calentamiento de 10,7 t/h.

Los hornos Pit ya no son tan ampliamente usados, dado que el acero se produce cada vez más por colada continua, un proceso que muchas veces hace innecesarios este tipo de hornos. En la Figura A.2-17 se muestra un ejemplo de horno Pit [EUROFER HR].

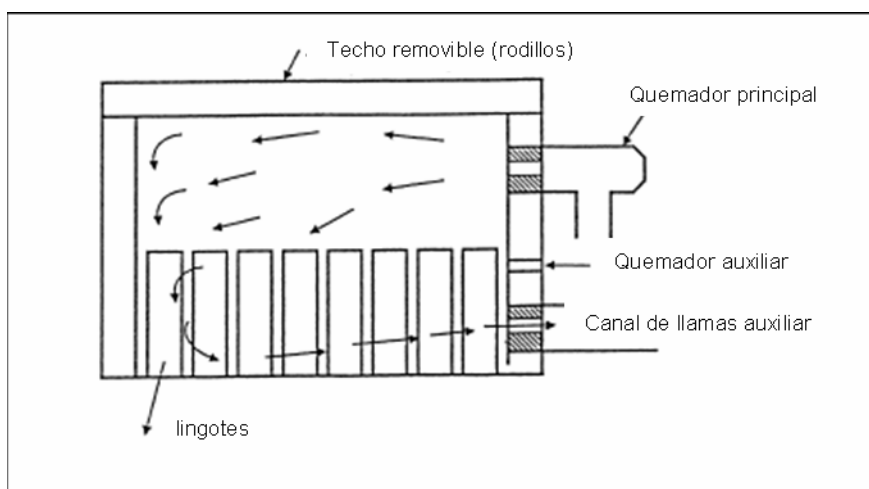


Figura A.2-17: Horno Pit
[ETSU-NP-54].

Otro tipo de horno discontinuo es el horno de solera con bogie. El material es transportado a la cámara del horno en un bogie. La cámara del horno se cierra mediante una puerta y se calienta el material. Una vez se alcanza la temperatura deseada, se abre la puerta, se extrae el bogie con el material y el planchón o pieza moldeada se retira para su uso posterior [EUROFER HR].

A.2.1.3.2 Hornos continuos

Los hornos grandes se alimentan normalmente en continuo. El material es empujado a través del horno por el material siguiente (horno de empuje) o se mueve a través del horno mediante balancines (hornos de balancín), una solera móvil o sobre/entre rodillos.

Ejemplos de los hornos de gran tamaño (> 20 MWTh) - hornos de empuje y de balancín – se muestran en la Figura A.2-18 y la Figura A.2-19. Los mayores hornos utilizados actualmente son hornos de balancín de unos 125 MW (Th) y hornos de empuje de 200 MW (Th) [EUROFER HR].

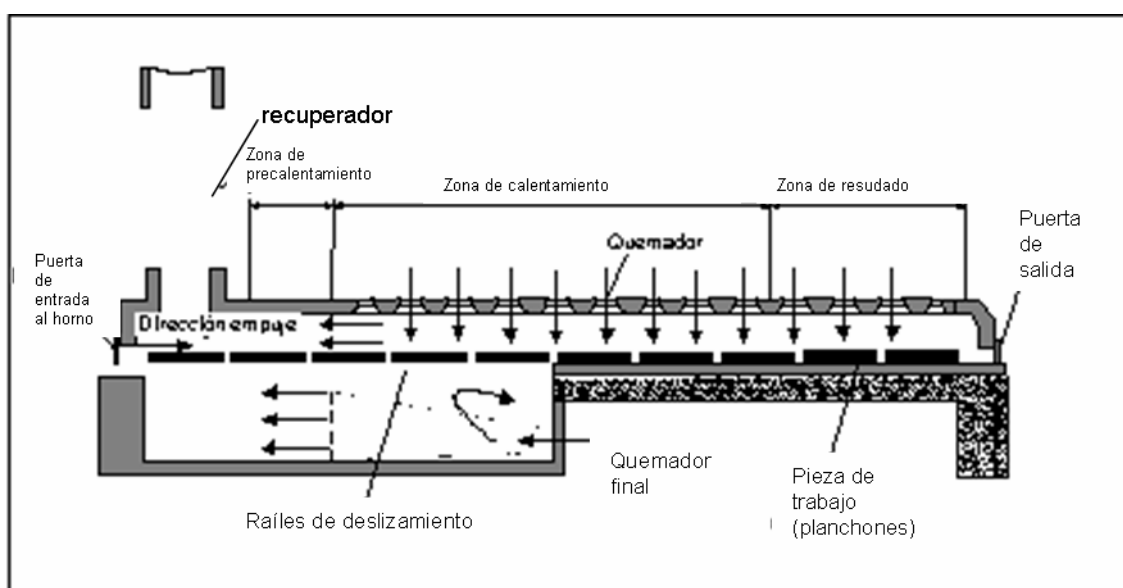


Figura A.2-18: Horno de empuje
[DFIU98].

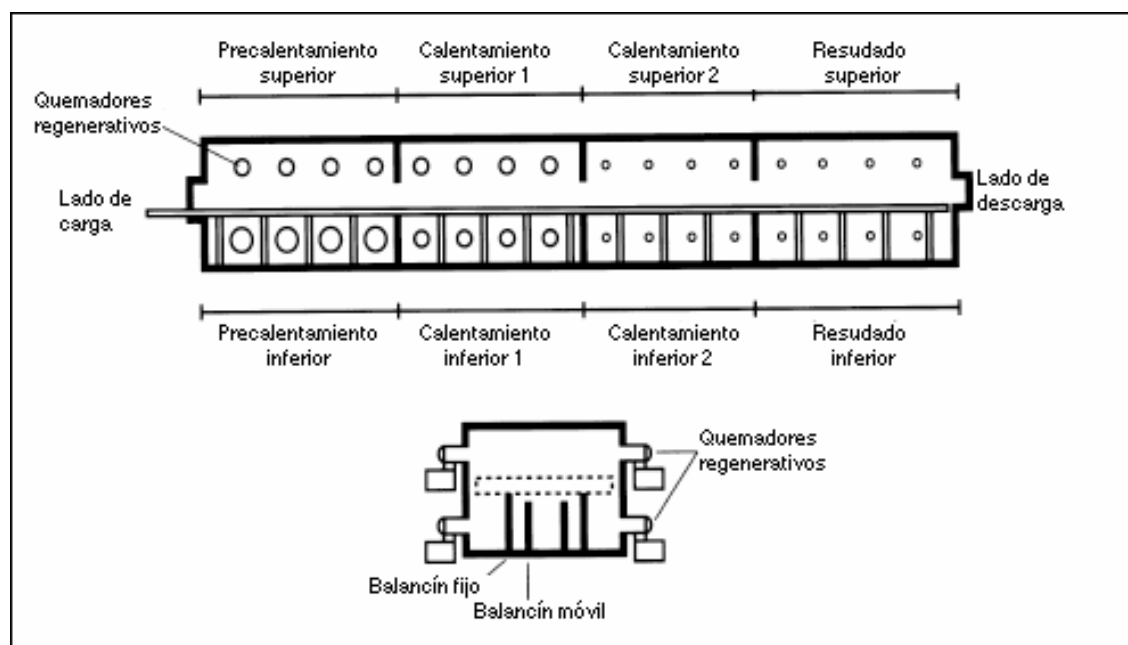


Figura A.2-19: Horno de balancín
[ETSU-G77].

En un horno de solera giratoria (véase Figura A.2-20) el material de carga se coloca en una solera giratoria. Durante su paso por el horno (la solera gira) el material se calienta y, tras una rotación completa, es descargado.

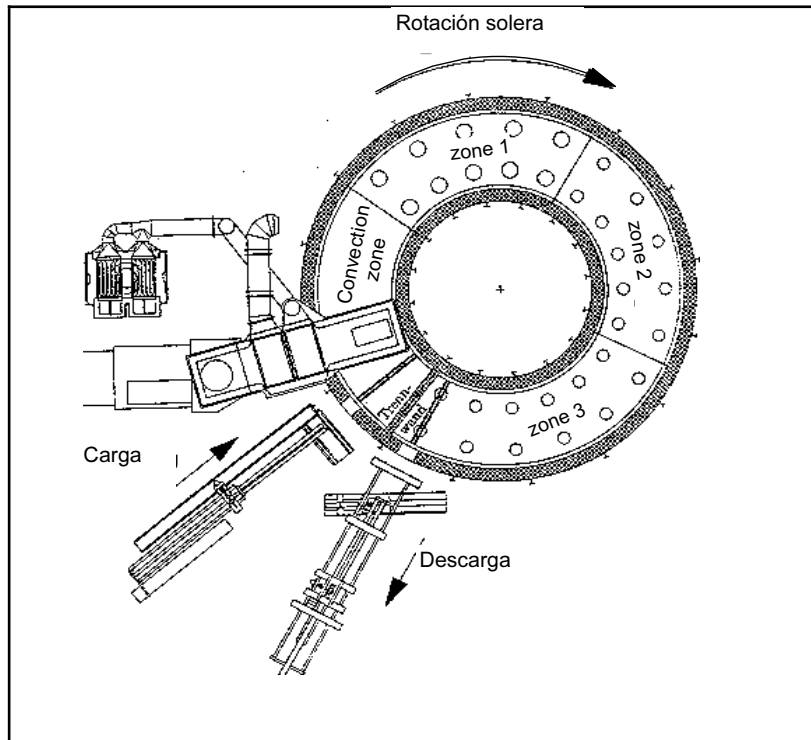


Figura A.2-20: Diseño típico de un horno de solera giratoria [EUROFER HR].

A.2.1.4 Descascarillado

Antes de laminar, debe eliminarse la cascarilla adherida que se forma durante el recalentamiento, con el fin de evitar la contaminación de la superficie del material por cascarilla impresa por los rodillos (contaminación de laminación).

El descascarillado mecánico, en el que la cascarilla adherida se rompe mecánicamente en una pasada ligera (principalmente en cajas de dos rodillos superpuestos) y luego es desprendida por chorro o eliminada mecánicamente, ya no suele utilizarse. Hoy, un método convencional de descascarillado es la rotura y eliminación a chorro de la cascarilla mediante agua a alta presión. Se aplica agua a presiones entre 120 y 250 bar (excepcionalmente 600 bar) mediante boquillas de chorro plano sobre la superficie del material. Para el efecto de limpieza, la presión de impacto (es decir, la presión determinada por la distancia de las boquillas de descascarillado al material a laminar) es más importante que la presión del sistema. Las siguientes técnicas se aplican a lo largo de todo el proceso de laminación:

- Descascarillado primario en los denominados descascarilladores de alta presión instalados antes de la entrada al tren de desbaste y equipados con 1 o 2 pares de cabezales de descascarillado, ajustables a veces.
- Descascarillado en los trenes de laminación mediante cabezales de descascarillado dispuestos encima y debajo del paso de plancha, a ambos lados del tren reversible y en el lado de la entrada en el caso de trenes continuos.
- Descascarillador a la entrada del tren de acabado para eliminar la cascarilla secundaria, es decir, la cascarilla formada en la banda en bruto en la mesa transportadora de rodillos del tren de desbaste y del tren de acabado.
- Pares de pulverizadores de descascarillado a la entrada de la primera caja del tren de acabado [EUROFER HR].

En el caso de líneas de producción para productos alargados, los cabezales de descascarillado están diseñados como anillos pulverizadores o como una combinación de cabezales verticales y horizontales, en ocasiones ajustables a la sección transversal del material, para un adecuado descascarillado de todas las superficies del mismo [EUROFER HR].

A.2.1.5 Bordeado

El bordeado se aplica habitualmente en la fabricación de bandas y chapas. Los planchones producidos en la planta de colada continua se suministran en ciertas anchuras definidas y escalonadas. El ancho debe reducirse a la dimensión especificada de la banda laminada, con una tolerancia de recortado lo más estrecha posible (minimización de chatarra y mejora del rendimiento). En muchos casos, esta reducción de anchura se realiza en las llamadas bordeadoras (trenes de laminación verticales) – recientemente también en prensas de planchones – que se instalan antes del tren de desbaste. La precisión de la reducción de anchura, y la óptima adherencia a la forma rectangular tiene efecto sobre la cantidad de chatarra derivada del cizallado (cabeza y cola) en la planta de laminación y en los talleres de acabado (recorte).

A.2.1.6 Desbaste

El desbaste supone la primera reducción de volumen realizada en el material inicial de laminación para la producción de bandas, barras y perfiles. Generalmente, el tren de desbaste consiste en una o más cajas horizontales para reducción del espesor, incluidas bordeadoras (cajas verticales) situadas delante del tren para el ajuste de la anchura. Los trenes de desbaste reversibles están equipados a veces con bordeadoras en ambos extremos el tren de laminación. [EUROFER HR].

A.2.1.7 Laminación de bandas / tren de acabado

En general, el tren de acabado consta de una serie de cajas de laminación dispuestas una tras otra. Las cajas tienen huecos de laminación escalonados de modo que la reducción de espesor hasta el valor final requerido se realiza en una pasada de la barra colectora. El número de cajas depende de la calidad y del espesor del material de entrada (planchones), así como del rango de espesor de la banda acabada.

Las cizallas dispuestas antes del tren de acabado sirven para cortar los extremos de la banda en bruto, que puede tener forma de lengua o de cola de pez. Esto garantiza una entrada segura en el tren de acabado y evita daños en los rodillos, así como la producción de chatarra.

En la mayoría de casos, se instala un dispositivo de descascarillado adicional (descascarillado a chorro) como los descritos anteriormente entre las cizallas y el tren de acabado. En ocasiones hay también una caja vertical, que se utiliza principalmente para guiar las bandas, y también ocasionalmente para pequeños ajustes de anchura.

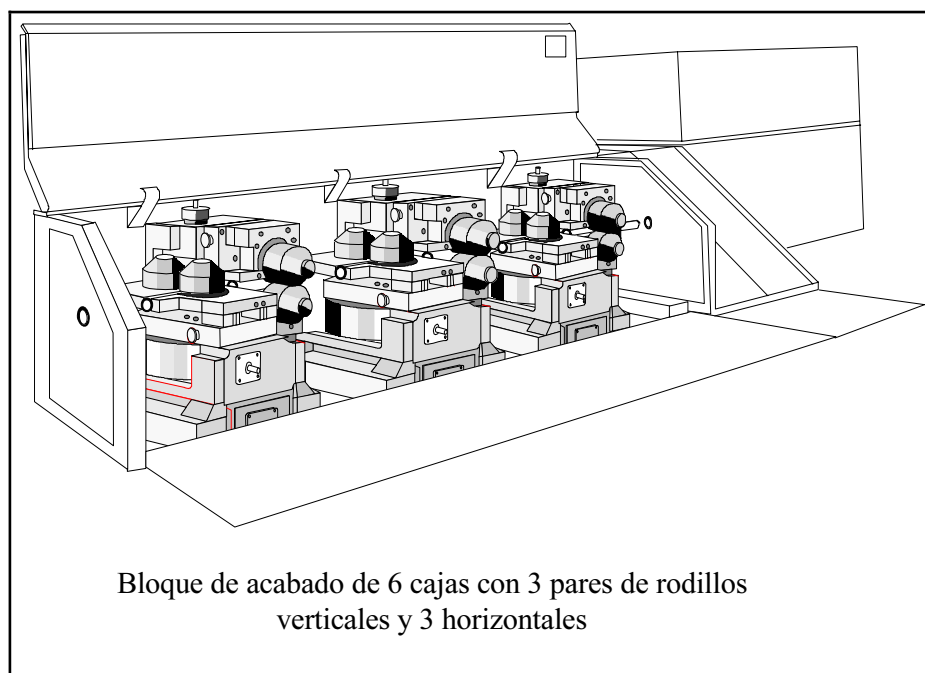
Bobinadoras

Las bandas de laminado en caliente con una longitud de hasta 2 km e incluso más se arrollan en las denominadas bobinadoras situadas al final del tren de laminación, con velocidades hasta 20 m/s o más. La banda caliente es guiada alrededor de un mandril expandible mediante rodillos de arrollamiento especiales. Tras unas 3 o 4 vueltas, los rodillos de arrollamiento se elevan y la banda es bobinada en el mandril expandido. Una vez finalizada la operación de bobinado, el mandril se colapsa y la bobina caliente es transportada a una estación de producción de flejes mediante un vagón portabobinas [EUROFER HR].

A.2.1.8 Laminación de alambrón / tren de acabado

El tren de acabado de los trenes de laminación de alambrón consta de bloques de laminación con hasta 10 juegos de pares de rodillos alternados horizontales y verticales como se muestra en la Figura A.2-21.

En las fases finales se alcanzan velocidades de laminación de más de 100 m/s. El material empleado para



Bloque de acabado de 6 cajas con 3 pares de rodillos
verticales y 3 horizontales

Figura A.2-21: Disposición de la sección de acabado de alambraón [EUROFER HR].

los rodillos de desbaste e intermedios es generalmente acero templado o hierro colado, mientras que los rodillos de acabado están hechos de carburo, un material particularmente resistente al desgaste. La calibración típica utilizada para laminadores de alambraón es una secuencia de calibres alternados redondos y ovales.

A.2.1.9 Laminación de chapas

La laminación de chapas mediante un proceso reversible es similar al desbaste en la producción de bandas. Los planchones son laminados en chapas en procesos de laminación en varias etapas, en los que los planchones son estirados, girados 90° mediante rodillos cónicos sobre una mesa de rodillos especial, extendidos, girados de nuevo y laminados al espesor requerido.

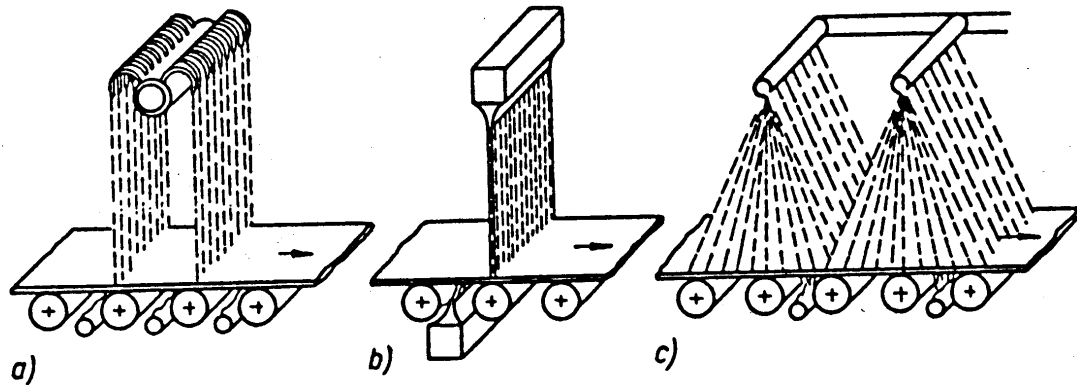
A.2.1.10 Transporte del material a laminar entre los trenes de laminación

Normalmente, las mesas de rodillos dispuestas a lo largo de todo el tren de laminación de bandas se utilizan como medio de transporte para el material a laminar. Estas mesas de rodillos consisten en cilindros metálicos huecos y/o macizos con transmisión individual o en grupo mediante un motor eléctrico y engranaje, si es necesario.

En casos especiales, por ejemplo en una modernización de un tren de laminación que incluya un aumento del peso producido de productos o la instalación de equipos adicionales, la distancia entre el tren de desbaste y el tren de acabado ya no es suficiente para desacoplar los dos procesos. Las llamadas cajas de bobinas – desarrolladas por STELCO, Steel Company of Canada Ltd. – se insertan entonces como dispositivos de almacenamiento intermedio [EUROFER HR].

A.2.1.11 Líneas de enfriamiento

Para conseguir un adecuado control de la temperatura dentro de los trenes de acabado, la línea de enfriamiento confiere los parámetros mecánicos y tecnológicos al material. El acero se enfría rápidamente usando pulverizadores de agua, pantallas de agua o flujos laminares (véase Figura A.2-22).



a) Flujos laminares

b) Pantallas de agua

c) Rociadoras de agua

Figura A.2-22: Distintos tipos de enfriamiento por agua [Tech Metal].

La técnica más extendida actualmente es el uso de flujo laminar en las mesas de salida. Normalmente, los cabezales pulverizadores (dispuestos arriba y debajo de la línea de paso) están agrupados en secciones, normalmente con un caudal de agua distinto. Cada sección y/o cada cabezal se puede controlar individualmente de modo que pueda conseguirse la temperatura de enfriamiento deseada. Las líneas de enfriamiento y los pulverizadores individuales están controlados por ordenador, mientras que los cabezales de pulverización se activan y desactivan de acuerdo con modelos matemático-empíricos complejos, basados en mediciones periféricas de temperatura [EUROFER HR].

A.2.1.12 Producción de chapas y láminas

Para la producción de chapas, los rollos producidos en caliente se desbobinan mediante carretes de devanado, siendo introducidas en una línea de cizallamiento equipada con aplanadores para enderezar la banda. Las chapas laminadas de la longitud deseada se apilan y se almacenan [EUROFER HR].

La producción de láminas tiene lugar en líneas de cizallamiento a continuación del proceso de laminación. Las placas se recortan en ambos lados, siendo cizalladas y cortadas a la longitud deseada. El corte a medida para piezas en bruto para mecanizado se realiza con máquinas de corte CNC (unidades de oxicorte, corte por plasma o corte por láser). La calidad interna de las láminas se puede determinar mediante técnicas ultrasónicas. Y se pueden instalar dispositivos de mecanizado en la mesa de salida del cizallado.

Las operaciones de acabado son controladas por ordenador en la mayoría de instalaciones. También se da consideración al temple y tratamiento superficial de las láminas en línea tras la última pasada de laminación como medio para conservar energía [EUROFER HR].

A.2.1.13 Tratamiento térmico de chapas

Las chapas acabadas son sometidas parcialmente a tratamiento térmico. En el **recocido**, el acero se calienta a una temperatura subcrítica para eliminar las tensiones. En el tratamiento térmico de **normalización**, el acero se calienta por encima de su temperatura crítica y se enfría con aire. La finalidad es refinar los tamaños de grano y obtener una distribución de carburo que se disuelva más fácilmente, la austenita. También puede aplicarse **temple**, **revenido** y otros métodos.

A este fin se utilizan varios tipos de hornos, como los de balancín, de solera giratoria o con carro. El sistema de calentamiento y combustión de estos hornos es comparable con el de los sistemas relacionados con el recalentamiento del material. Para el encendido de los hornos de tratamiento pueden utilizarse todos los medios de calentamiento disponibles normalmente [EUROFER HR].

A.2.1.14 Taller de rodillos

Los rodillos de trabajo, así como los cilindros de apoyo de los trenes de acabado y desbaste se acondicionan de acuerdo con especificaciones claramente definidas, según el producto a laminar. Este acondicionamiento se realiza en el taller de rodillos, donde se aplican técnicas típicas de taller de mecanizado, como mecanizado y desbaste [EUROFER HR].

Un taller de rodillos incluye generalmente las siguientes áreas:

- Zona de enfriado, en la que los rodillos de trabajo son enfriados, bien al aire libre o mediante rociado con agua.
- Zona de preparación donde se desmontan y ajustan los amortiguadores (en algunos casos, las máquinas del taller de rodillos permiten el reacondicionamiento de los rodillos sin desmontarlos previamente).
- Zona de limpieza donde los rodillos a reacondicionar se limpian de incrustaciones y lubricantes (las técnicas de limpieza incluyen limpieza al vapor, aplicación de soluciones desengrasantes alcalinas, aplicación de disolventes orgánicos).
- El equipo de un taller de mecanizado típico incluye tornos y desbastadoras con sistema de enfriamiento individual en el que el líquido refrigerante es procesado continuamente con el fin de separar las virutas de torno y los lodos de desbaste [EUROFER HR].

A.2.1.15 Circuitos de agua / gestión del agua en las plantas de laminación en caliente

A lo largo del proceso de laminación en caliente y los procesos relacionados, se utiliza agua para refrigerar o enfriar y por motivos técnicos. Los motores eléctricos, los hornos de recalentar, las salas de control y sistemas producción de energía, los instrumentos y el control de procesos suelen estar refrigerados indirectamente. El acero, los rodillos, las sierras, los extremos cizallados, las bobinadoras y las mesas de salida calientes se enfrían directamente. También se utiliza agua para el descascarillado y para el transporte de la cascarilla. Cuando el agua está en contacto con el material laminado (agua de proceso) y con el equipo de laminación se contamina de cascarilla y aceite.

El sistema de alimentación de agua más simple aplicado en un **sistema abierto** (sin recirculación), como el que se muestra en la Figura A.2-23. El agua se toma de recursos naturales (agua de ríos, lagos o subterráneas), fluye a través de los distintos puntos de consumo de la planta de laminación en caliente y se envía de nuevo su curso.

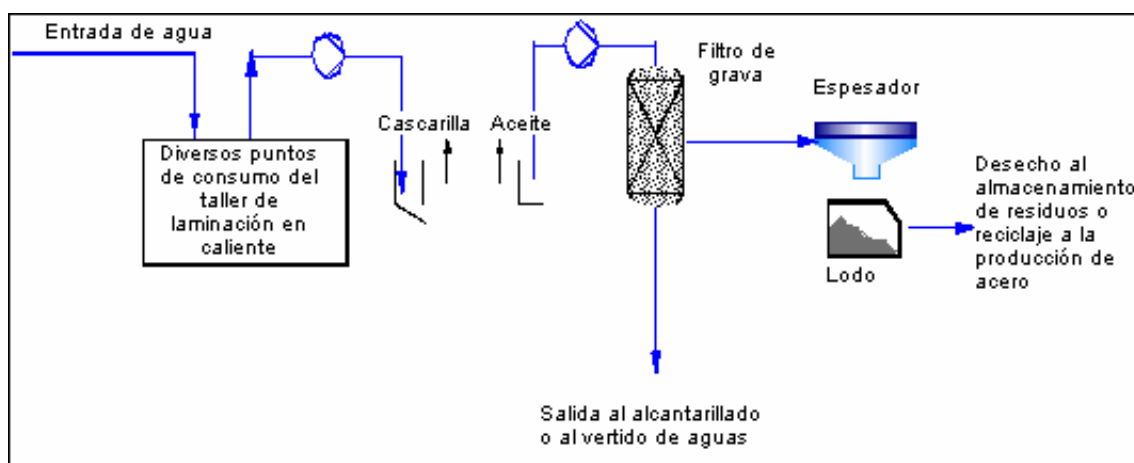


Figura A.2-23: Ejemplo de sistema de agua sin recirculación
[EUROFER HR].

Las aguas de enfriamiento y de proceso contaminadas son recogidas y tratadas antes de su evacuación. La primera fase de tratamiento es un estanque de sedimentación en el que los sólidos, principalmente óxidos de hierro, se dejan sedimentar en el fondo.

Los sólidos sedimentados se evacúan a través de los dispositivos apropiados (cuchara mecánica, hélice, etc.) y, en caso de plantas de acero integradas, devueltos al proceso de producción a través de la ruta de metal caliente. Los contaminantes de aceite que flotan en la superficie son eliminados mediante dispositivos de derivación del agua superficial y son evacuados a los respectivos estanques de recogida.

El rebose pre-limpiado es suministrado a través de tuberías a las baterías de filtros cuyo número, tamaño y capacidad están diseñados de acuerdo con el volumen de agua. En la mayoría de casos, estos filtros son filtros de grava, es decir, el agua de rebose se limpia pasando a través de lechos de grava.

Los contaminantes de los filtros de grava deben eliminarse mediante lavado a contracorriente con el fin de mantener su función y la eficacia de separación de los filtros. El agua residual purificada de los filtros se evacúa al sistema de alcantarillado y/o lagos o ríos.

Las aguas que contienen lodos (principalmente compuestos por óxido de hierro) de las baterías de filtros son separadas en un espesador de lodos. El rebose es recirculado al circuito de limpieza. El material de alimentación de alta calidad contenido en el lodo es deshidratado y desechado o devuelto al proceso de producción de acero, siempre que se halle disponible el equipo técnico apropiado.

Con el fin de reducir o evitar la evacuación de agua de las operaciones de laminación en caliente, se utilizan circuitos semicerrados y cerrados.

En los **circuitos semicerrados**, como se muestra en la Figura A.2-24, el agua es tratada y reutilizada parcialmente según la temperatura. Los dispositivos de tratamiento de agua son los mismos que para los sistemas abiertos, pero el residuo filtrado del agua no se desecha directamente. En su lugar es transportado a un estanque de agua filtrada y se mezcla con agua fresca, si es necesario. Según la temperatura del agua mezclada, el agua filtrada es devuelta a los distintos puntos de consumo de la planta de laminación en caliente y sólo se evacua el rebose. Por consiguiente, el volumen del agua de recirculación depende de la estación del año y de la situación geográfica.

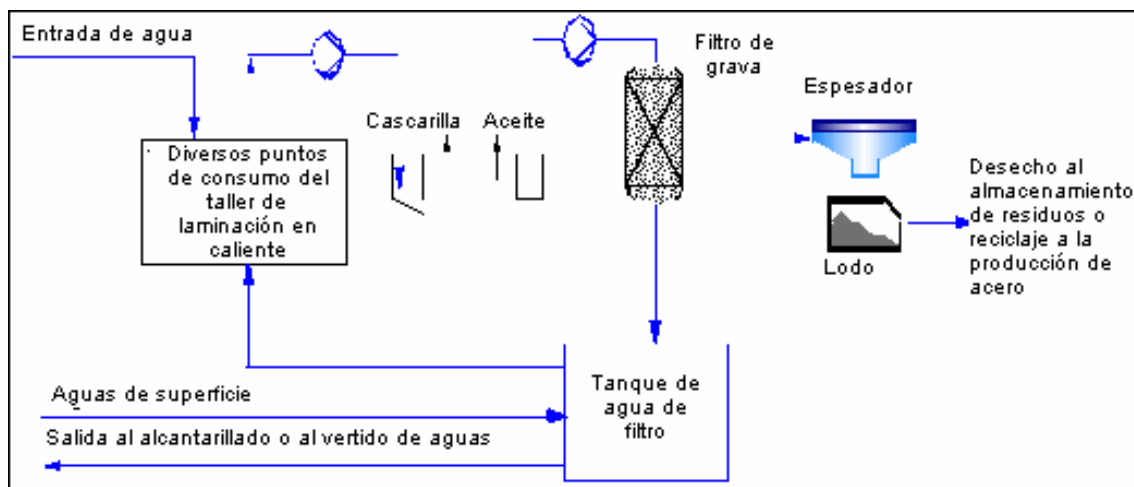


Figura A.2-24: Ejemplo de circuito de agua semicerrado [EUROFER HR].

Con la aplicación de **circuitos de agua cerrados** (véase Figura A.2-25), el agua purificada no es evacuada, sino que se vuelve a enfriar en torres de refrigeración o intercambiadores de calor a la temperatura requerida, siendo reutilizada en el proceso de laminación. Para las plantas que utilizan torres de refrigeración, el consumo de agua se restringe al agua adicional (aprox. 3 - 5%) necesaria para compensar las pérdidas por evaporación y por purga. Cuando se utilizan intercambiadores de calor, se requieren grandes volúmenes de recirculación de agua reenfriada.

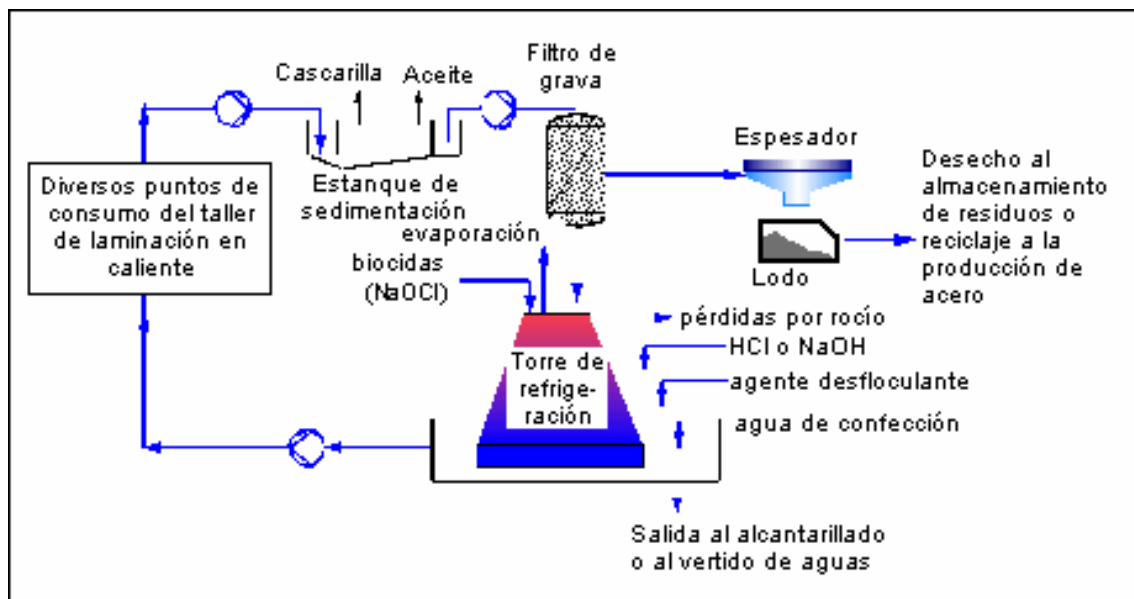
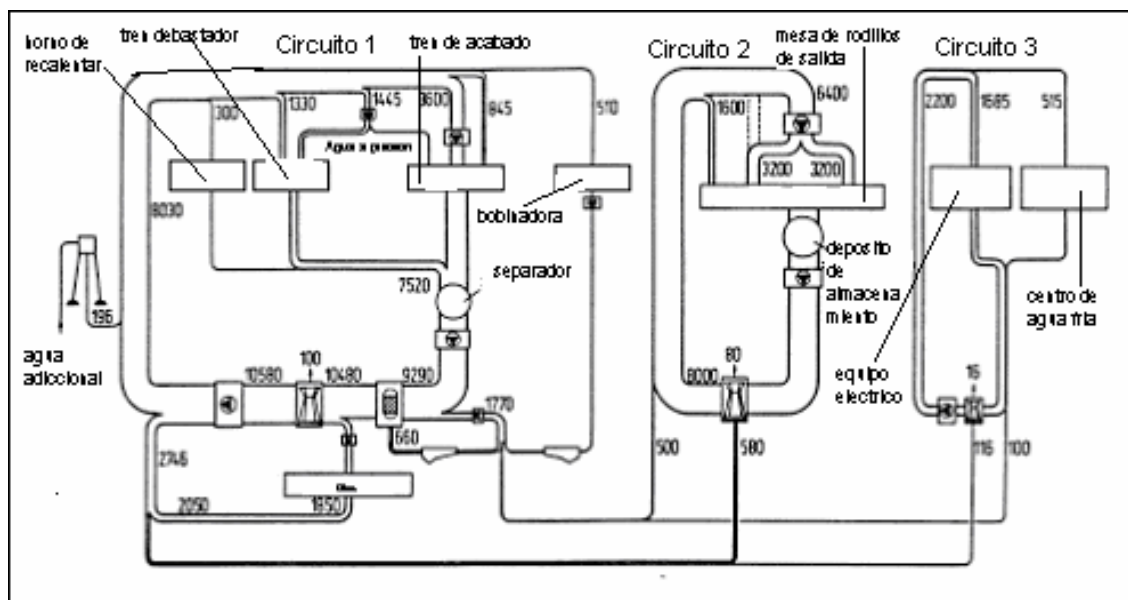


Figura A.2-25: Ejemplo de sistema de circuito cerrado de agua [EUROFER HR].

Los sistemas de alimentación de agua en los trenes de laminación en caliente son normalmente muy complejos, con varios circuitos de agua parcialmente interconectados y uso de agua en múltiples etapas. En algunos casos, el circuito de agua del tren de laminación va conectado a sistemas de alimentación de agua de otras unidades de producción de hierro y acero, como por ejemplo la colada continua. Los motivos de esta conexión son la similitud del contenido de las aguas residuales y la proximidad de las instalaciones.



Notas: 1) Las cifras indicadas representan el caudal de agua en m^3/h
 2) Capacidad de la planta de laminación: 270000 t por mes

Figura A.2-26: Circuitos de agua de un tren de laminación en caliente de bandas [StuE-96-7].

La Figura A.2-26 muestra el diagrama de flujo de agua de un tren de laminación en caliente de bandas anchas en el que se establecen 3 circuitos de agua. El circuito 1, con 8030 m³/h, comprende el tren desbastador, el tren de acabado y el horno de recalentar; el circuito 2 (8000 m³/h), la mesa de rodillos de salida, y el circuito 3 (2200 m³/h) principalmente el equipo eléctrico. Los circuitos están conectados de modo que la entrada de agua de los circuitos 2 y 3 sea abastecida por el lado de agua limpia del circuito 1. El agua de proceso de los circuitos 2 y 3 es enviada a las instalaciones de tratamiento del circuito 1, donde también se puede evacuar el agua de purga.

La Figura A.2-27 muestra otro ejemplo de un sistema de gestión de agua para un tren de laminación en caliente de bandas anchas. Los circuitos establecidos en este caso son para refrigeración del horno y de los motores, para los trenes de laminación y para el enfriamiento laminar de las bandas y de la mesa de rodillos.

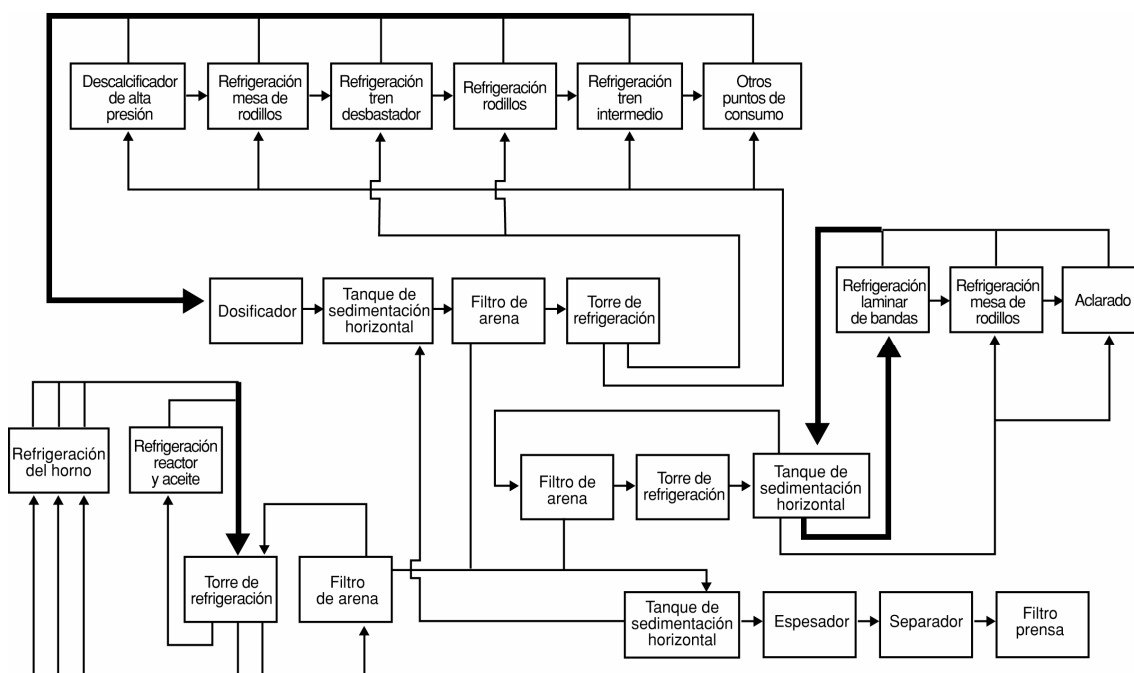


Figura A.2-27: Uso de circuitos de agua en una planta de laminación en caliente [DFIU98].

La prevención de efluentes utilizando agua en circuitos o en múltiples fases es una práctica conocida y extendida dentro de la industria siderúrgica. Los trenes de laminación en caliente ofrecen un gran potencial de reducción del consumo de agua y de evacuación de aguas residuales debido a las grandes cantidades de agua necesarias.

A.2.1.16 Gestión de residuos y subproductos en los trenes de laminación en caliente

Aparte del agua residual, las operaciones de laminación en caliente generan distintos tipos de subproductos y residuos sólidos y líquidos.

- Residuos y subproductos metálicos.
- Cascarilla/virutas del desbarbado.
- Polvos del desbarbado y de la laminación.
- Cascarilla de laminación (sin aceite y con aceite).
- Lodos de tratamiento de agua y de cascarilla de laminación.
- Lodos de desbaste (taller de rodillos).
- Aceites y grasas.

Los **residuos y subproductos metálicos**, como chatarra, material de baja calidad, extremos cortados, etc. derivados de la laminación en caliente están normalmente bastante limpios y se reciclan fácilmente a procesos metalúrgicos (ej: hornos BOF).

La **cascarilla** sin aceite y con bajo contenido en aceite ($< 1\%$) se realimenta directamente al proceso metalúrgico, normalmente a través de la planta de sinterización. Los lodos férreos con aceite, con un contenido en FeO_n de hasta un 80%, como la **cascarilla con aceite** y los **lodos de desbaste**, obtenidos de las plantas de tratamiento de aguas, deben ser acondicionados antes de su reciclaje interno.

La cascarilla también se vende para uso externo (ej: a fabricantes de cementos), o se suministra a una compañía externa para su tratamiento (normalmente tratamiento térmico para quemar el contenido de aceite). Las plantas de tratamiento térmico pueden rendir un producto con un contenido en hierro de alrededor del 60 - 70%. Si la planta de tratamiento térmico es alimentada con cascarilla de laminación con aproximadamente un 4,5% de aceite, no es necesario un aporte de energía adicional.

Los **polvos de óxido** de los dispositivos de limpieza del aire, por ejemplo los filtros de bolsa para la eliminación de óxidos en los trenes de laminación, son reciclables para la producción de acero (ej: planta de sinterización) sin riesgos.

El **aceite** y la **grasa**, separados y recogidos en diversas etapas, son fuentes de energía que pueden utilizarse como combustibles secundarios, por ejemplo mediante su inyección en el alto horno o en el proceso de fabricación de coque. Su deshidratación puede ser un requisito previo. Alternativamente, estos materiales pueden usarse en los hornos de coque para aumentar la densidad aparente del carbón antes de su carbonización [EUROFER HR], [Com2 HR].

Las **emulsiones gastadas** en el taller de laminación u otros puntos de consumo pueden separarse en componentes: aceite y agua. El aceite separado puede utilizarse térmicamente o ser reciclado externamente [Com2 HR].

A.2.2 Plantas de laminación en frío

A.2.2.1 Visión general del proceso

En la laminación en frío, las propiedades de productos laminados en caliente, como su espesor o sus características mecánicas y técnicas, se modifican por compresión entre rodillos sin calentamiento previo del material inicial. El material de entrada se obtiene de las plantas de laminación en caliente en forma de bobinas.

Los pasos y la secuencia de proceso en una planta de laminación en frío dependen de la calidad del acero tratado. El proceso de **acero de baja aleación y acero aleado (aceros al carbono)** sigue normalmente el orden: decapado, laminación, recocido, laminación de revenido / laminación de efecto superficial (“skin pass”) y acabado.

La ruta de proceso para **acero de alta aleación (acero inoxidable)** requiere un paso de recocido inicial previo al decapado debido a la dureza de la calidad del acero y, además, pueden ser necesarios varios pasos adicionales de recocido y/o decapado durante la laminación.

Los productos laminados en frío son principalmente bandas y láminas (grosor típico 0,16 – 3 mm) con acabado superficial de alta calidad y propiedades metalúrgicas precisas para su uso en productos de altas especificaciones.

Plantas de laminación en frío (plantas de LF de bandas)

Los esquemas típicos de las plantas de laminación en frío se muestran en la Figura A.2-28. Las plantas normalmente se componen de:

- **Línea de decapado en continuo**, donde se elimina la capa de óxido formada durante la laminación en caliente mediante decapado con ácido sulfúrico, clorhídrico o una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico. Puede usarse un dispositivo de estirado/aplanado o una laminación de efecto superficial en línea para mejorar la forma de la banda y producir la ruptura mecánica de la capa de óxido.
- El **tren de laminación en frío** consiste normalmente en un tren de laminación tándem de cuatro rodillos superpuestos de 4 cajas o de 5 cajas, o de un tren de laminación reversible de cuatro rodillos superpuestos. La laminación en frío reduce normalmente el espesor inicial de la banda laminada en caliente en un 50 – 80%.
- **Instalaciones de recocido** para restablecer la ductilidad de la banda de acero, que se pierde a causa del endurecimiento por deformación plástica durante la laminación en frío.
- **Trenes de revenido** para conferir al material recocido las propiedades mecánicas requeridas (evita la formación de líneas de Lüders durante el estirado). El material se somete a una ligera laminación de efecto superficial, normalmente en un tren de laminación superficial (skin pass) de cuatro cilindros superpuestos. La rugosidad de los rodillos de trabajo del laminador es transferida a la banda por la presión de los mismos.
- **Líneas de inspección y acabado**, donde bobinas de distinta longitud pueden soldarse juntas para alcanzar el peso requerido, o pueden ser cortadas al ancho requerido. Asimismo, las bobinas se cortan en chapas de la longitud y anchura deseadas. Al mismo tiempo, se desechan las secciones de banda defectuosas.
- **Líneas de empaquetado de bobinas o láminas** según el destino y/o el medio de transporte.
- **Taller de rodillos**, donde se preparan los rodillos de trabajo y los cilindros de apoyo para el tren de laminación en frío y el tren de revenido.

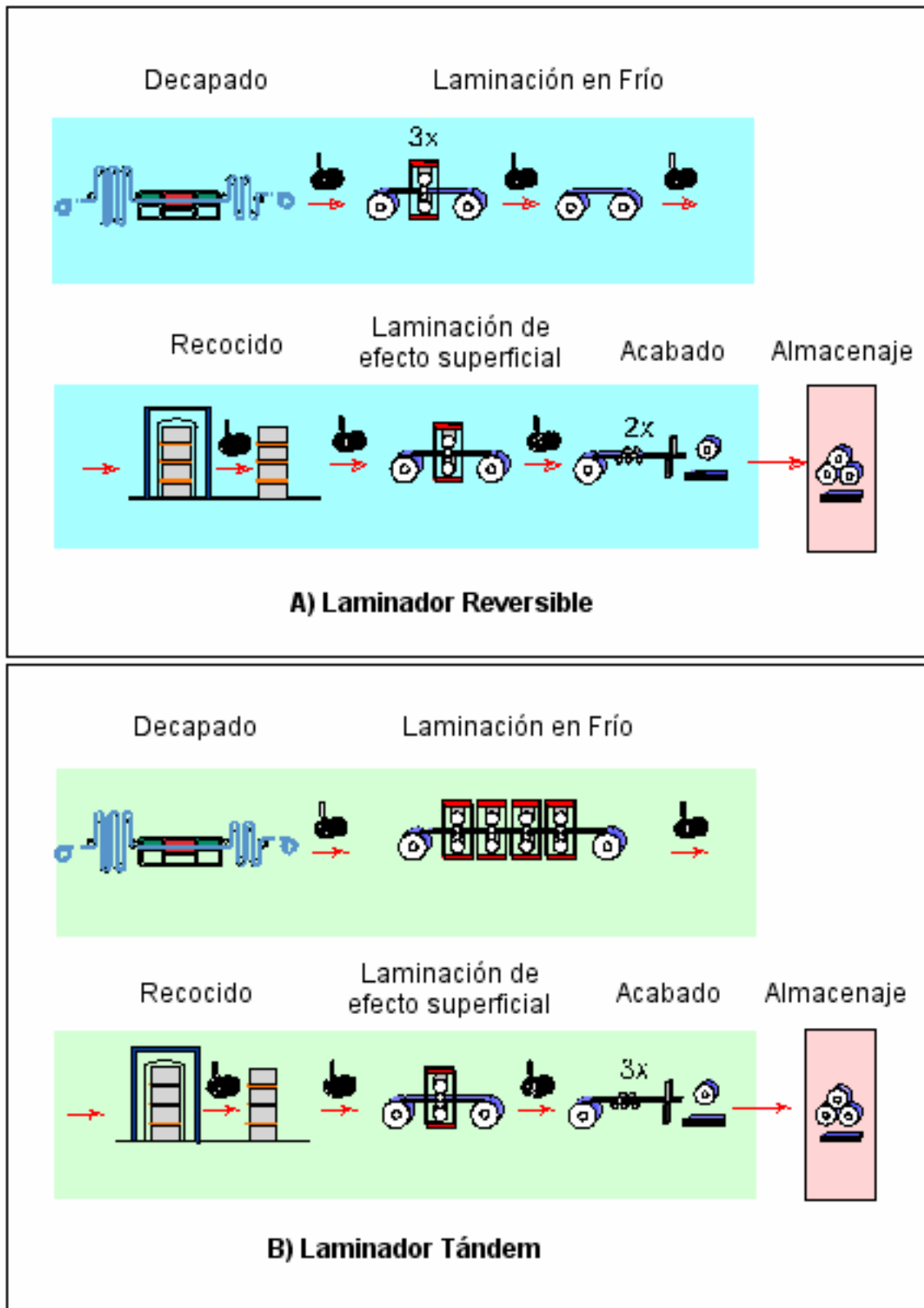


Figura A.2-28: Configuraciones típicas de las plantas de laminación en frío de bandas [EUROFER CR].

Para la producción de lámina de acero de horno eléctrico, el diseño de la planta de laminación es bastante similar a los descritos anteriormente. El tren de laminación se compone normalmente de una caja reversible de cuatro rodillos superpuestos, que se amplía a laminación y la alternativa de laminación de efecto superficial (pasada de desbaste con una deformación hasta el 7%). Para contenidos más elevados de Si, la soldadura de contacto por chispas de la cabeza y la cola de las bobinas a una banda sin fin debe sustituirse por el ‘agrafiado’ de los extremos de las bobinas.

Las tendencias y avances técnicos en la producción de bandas laminadas en frío, impulsadas por la demanda creciente del mercado y por la competencia de materiales alternativos, tienen por misión aumentar la eficiencia y la producción de las plantas minimizando el tiempo de proceso y el consumo de materiales y energía. Simultáneamente, se reduce el impacto medioambiental de las instalaciones. La Figura A.2-29 muestra como ejemplo un concepto de planta modificada que acorta el tiempo de proceso para el recocido y operaciones siguientes desde 3-7 días (2-3 días si se usa hidrógeno) a unos 10 minutos. [EUROFER CR], [Com VDMA].

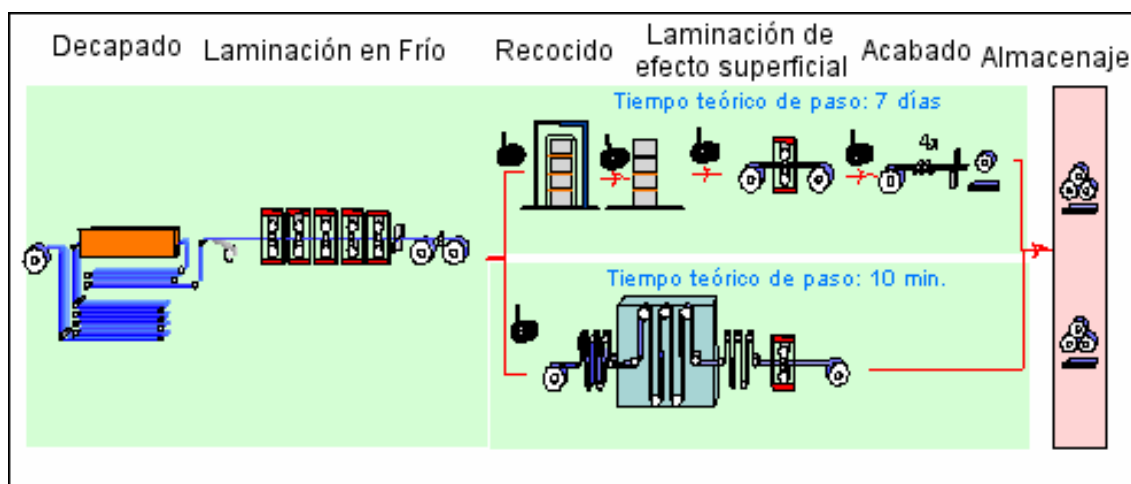


Figura A.2-29: Línea de proceso de laminación en frío con recocido continuo [EUROFER CR].

A.2.2.2 Decapado de acero aleado y de baja aleación laminado en caliente

Toda la superficie de la bobina laminada en caliente está cubierta por una fina capa de cascarilla que contiene óxidos, que debe eliminarse antes de la laminación en frío. Esto se hace mediante decapado con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, a temperaturas que normalmente van de 75 °C a 95 °C.

Una vez decapada la banda o lámina debe ser enjuagada a fondo con agua desmineralizada (o de igual calidad), y secarse posteriormente. El engrase se realiza con aceite de laminación o con aceite anticorrosivo [EUROFER CR].

Líneas de laminación

La laminación puede hacerse en proceso discontinuo (normalmente para barras, varillas o tubos), semi-continuo o continuo, y puede también comportar una serie de etapas con varios baños de ácido. La siguiente descripción de proceso hace referencia a las líneas de decapado en las que el acero es decapado en forma de bobina. Cada uno de los pasos de decapado descritos a continuación puede también realizarse como un proceso individual discontinuo. Una planta típica de decapado puede incorporar:

- Equipo anti-rotura de las bobinas en la desbobinadora para evitar que se produzcan líneas de fluencia (líneas de Lüders) en la bobina caliente entrante.
- Soldadura de las bobinas laminadas en caliente a la banda continua para asegurar que los tiempos de decapado sean definidos y constantes.
- Equipo de enderezado antes de la entrada de la banda laminada en caliente en los tanques de

decapado. La planeidad de la banda laminada en caliente se aumenta mediante aplanado, y la capacidad de decapado aumenta por el efecto de rotura de la cascarilla del aplanado.

- Zona de decapado químico; tanque de decapado profundo o llano (turbulento).
- Zonas de enjuague para eliminar el ácido remanente en la superficie de la banda.
- Recorte de la banda para obtener bordes cortados y anchuras exactas.
- Inspección de la banda en cuanto a tolerancias dimensionales, defectos superficiales y residuos.
- Engrase de la tira (Nota: puede no ser necesario en una línea combinada de decapado y laminación).

El decapado se realiza en un equipo totalmente encerrado o en tanques equipados con campanas. En ambos casos, las unidades tienen extracción en continuo para eliminar los humos generados.

El diseño moderno de plantas de decapado incluye tanques de decapado equipados con bombas externas. En lugar de pasar simplemente la banda de acero a través de un baño de ácido, el ácido es bombeado por un sistema de circulación a través de boquillas montadas en el mismo baño. La turbulencia resultante promueve las reacciones de decapado [EUROFER CR].

Las grandes líneas de decapado en continuo pueden tener capacidades de hasta 2,4 millones de t/a. La Figura A.2-30 muestra los pasos operativos de las líneas de decapado en continuo [DFIU98].

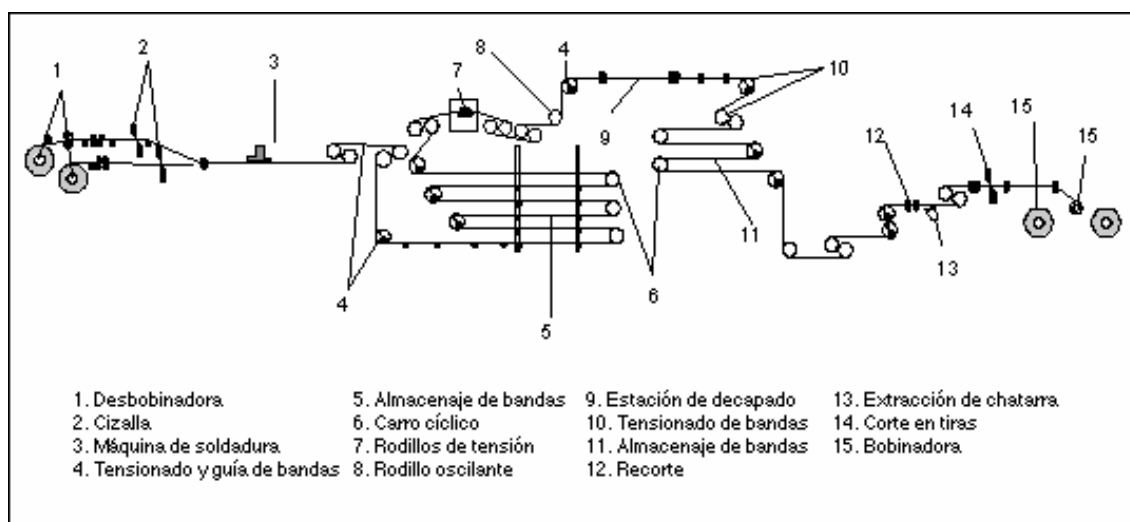


Figura A.2-30: Esquema de una línea de decapado en continuo [DFIU98].

A.2.2.3 Recocido (I) y decapado (I) de acero de alta aleación laminado en caliente

Las bobinas de acero inoxidable laminadas en caliente se denominan bobinas de “banda caliente”. Debido a la presencia de una cascarilla de óxido y de capa sin cromo formadas durante la laminación en caliente, el acero también debe ser descascarillado / decapado antes de la laminación en frío. Además, la mayor dureza del acero en comparación con los aceros al carbono hace necesario un recocido inicial (I). El proceso de recocido tiene tres componentes, calentamiento a la temperatura de recocido, igualación de la temperatura y enfriamiento. Pueden usarse procesos de recocido tanto continuos como discontinuos [EUROFER CR].

Recocido

Los **aceros ferríticos** de calidad se recuecen generalmente como bobinas fuertemente arrolladas en una instalación de tratamiento térmico discontinuo. Estas instalaciones pueden ser usadas para la totalidad de los ciclos de calentamiento, igualación de temperatura y enfriamiento. Se colocan una o más bobinas en la base del horno y se cubren para formar una cámara de horno cerrada. El calentamiento puede realizarse mediante combustión de gas o calentamiento eléctrico. Se requiere una atmósfera protectora inerte

(nitrógeno/hidrógeno) por motivos metalúrgicos. Los aceros ferríticos se recuecen generalmente a temperatura superiores a 800°C [EUROFER CR].

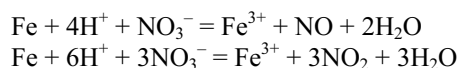
Para el **recocido continuo** de **aceros austeníticos**, la bobina de acero se devana y se pasa a través de uno o más hornos de tratamiento térmico. Estos hornos normalmente consisten en una estructura de acero con revestimiento refractario (u otro tipo de aislamiento) y se alimentan normalmente con combustibles gaseosos. Se requiere una atmósfera oxidante para formar una cascarilla rica en oxígeno para permitir un mejor decapado. Los gases residuales se evacúan a través de canales de llamas con aspiración natural o forzada. Normalmente se requieren temperaturas de hasta 1100 °C para el recocido de aceros austeníticos. La banda de acero pasa luego a través de la sección de enfriamiento y puede enfriarse mediante chorros de gas, aire, pulverización de agua o enfriamiento rápido con agua. El recocido continuo se combina normalmente con una planta de descascarillado / decapado como se ha descrito anteriormente para formar una línea continua de recocido y decapado [EUROFER CR].

Descascarillado y decapado

Tras el recocido, el acero es descascarillado para producir una superficie del acero adecuada para la laminación en frío. Puede usarse un descascarillado mecánico como granallado o disgregación de la cascarilla antes del decapado químico para eliminar la carga de cascarilla gruesa. No obstante, es necesario un control cuidadoso de dichos procesos mecánicos con el fin de minimizar los daños en la superficie de la banda, que podrían afectar a la calidad del producto final.

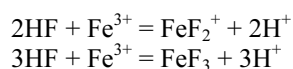
La eliminación final de la cascarilla, incluida la eliminación de la capa sin cromo bajo la cascarilla, se realiza generalmente mediante decapado en una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico de hasta 70°C. Las concentraciones de ácidos empleadas dependen de material procesado, pero normalmente están en el rango de 10 - 18 % de ácido nítrico y 1 - 5 % de ácido fluorhídrico.

Las reacciones químicas que tienen lugar durante el decapado de aceros inoxidables son complejas y comportan la eliminación de la cascarilla adherente mediante la acción combinada de los ácidos empleados. La reacción química dominante durante el decapado es la disolución de los metales por el ácido nítrico. Como subproducto de estas reacciones se forma monóxido y dióxido de nitrógeno. Las reacciones siguientes son para el metal dominante – hierro – pero también ocurren reacciones similares para los elementos de aleación presentes en el acero inoxidable, como níquel y cromo.



El NOx generado es parcialmente soluble en el ácido, pero una vez alcanzado el límite de solubilidad los vapores de NOx se transfieren a la fase gaseosa y son liberados de los tanques de decapado. La velocidad de formación de NOx aumenta con la temperatura.

Los iones metálicos formados en las reacciones de disolución reaccionan luego con el ácido fluorhídrico, lo que lleva a la formación de complejos metálicos.



La combinación de estos dos grupos de reacciones conlleva el consumo de los ácidos nítrico y fluorhídrico. Para mantener las condiciones óptimas para el decapado se requieren adiciones regulares de ácido fresco. Los complejos de fluoruro de hierro producidos en las reacciones de disolución tienen una solubilidad limitada, y si se deja que la concentración de hierro alcance un 5% (40 g/l) se iniciará la precipitación de fluoruro de hierro. Esta precipitación produce la formación de grandes cantidades de lodo cristalino duro.

El diseño de la línea de decapado es normalmente el mismo que para el decapado de aceros de baja aleación, con la excepción de que, a la salida del último tanque de decapado, la banda de acero se enjuaga con agua para eliminar los restos de ácido y se seca, pero no es necesario aplicar aceite debido a la resistencia a la corrosión del acero [EUROFER CR].

A.2.2.4 Laminación en frío de la banda laminada en caliente decapada

A.2.2.4.1 Acero de baja aleación y acero aleado

En la laminación en frío, las barras, láminas o bandas laminadas en caliente y decapadas, pasan a través de juegos de rodillos en trenes reversibles o en laminadores continuos en línea. Los aceros con bajo contenido en carbono, menos duros, se laminan generalmente en trenes multicajas tipo tándem debido a la mayor capacidad de dichos trenes. Consisten en una serie de cajas de cuatro o seis rodillos superpuestos. La banda entra en la primera caja y sufre una primera reducción de espesor, lográndose ulteriores reducciones en cada una de las cajas subsiguientes hasta obtener el calibre final.

Para bandas de bajo contenido en carbono generalmente se requiere una emulsión del 0,5 al 4 % (10 – 20 % para aplicación directa) de aceite en agua para:

- Lubricación.
- Enfriamiento de la banda y de los rodillos de trabajo y cilindros de apoyo.
- Eliminación de partículas de Fe.

En el proceso de laminación, la banda ancha se deforma principalmente en dirección longitudinal, siendo la deformación transversal prácticamente despreciable. La reducción de espesor del material se obtiene por la acción de las fuerzas de laminación y las tensiones (de avance y retroceso) aplicadas sobre la banda. El proceso de laminación en frío produce el correspondiente endurecimiento del material. Puede usarse un control exacto del flujo de masa (control de la fuerza de laminación y/o de posición), asistido por control mediante láser de la velocidad y de la tensión de la banda. También se emplean circuitos adicionales de control de planeidad (flexión en laminación, enfriamiento zonal, etc.) para obtener la planeidad requerida de la banda. La textura de rugosidad de la superficie de la banda se aplica en la última caja del tren de laminación tándem.

Para una limpieza óptima de la superficie de las bandas, es importante evitar la contaminación de la emulsión del tren tándem por aceite hidráulico, por aceite Morgoil, por grasa o por el agua de enfriamiento (utilizada para enfriar la emulsión). Entre las precauciones tomadas para evitar la contaminación se pueden incluir las siguientes:

- Monitorización continua de los niveles de aceite.
- Monitorización de la concentración de aceite.
- Control regular del equipo hidráulico y cojinetes.
- Monitorización de los parámetros de la emulsión como temperatura, valor del pH, índice de saponificación, equivalente ácido, conductividad.
- Filtrado de la emulsión del tren tándem (utilizando técnicas como filtros magnéticos, filtros de papel, filtros de pre-recubrimiento).

Para limpiar la banda y eliminar los restos de jabón o aceite, puede someterse a desengrasado químico y/o electroquímico. Con este fin, se instalan zonas de limpieza en el lado de entrada de las plantas de proceso inferior como plantas de galvanización por inmersión en caliente o plantas de recocido continuo [EUROFER CR].

Laminación discontinua convencional

La banda laminada en caliente y decapada alimenta al tren de laminación en frío bobina a bobina. Esto produce una variación en el espesor de las bandas correspondiente a las condiciones geométricas de la línea en los extremos de la banda durante la inserción y a la salida del extremo de la bobina.

Para producir una “lámina limpia de laminación”, a menudo puede usarse una emulsión ligera con una concentración máxima del 1% en las últimas cajas del tren de laminación tándem. La emulsión se aplica normalmente a través de boquillas de pulverización sobre los rodillos y la banda. En ocasiones se utilizan concentraciones más elevadas en sistemas de aplicación directa.

La laminación discontinua ofrece un alto grado de flexibilidad del proceso para compensar las variaciones en la composición del producto. Esta técnica es preferible para ciertas calidades de acero [EUROFER CR].

Laminación continua

Para conseguir las tolerancias de espesor más estrechas posibles, la máxima producción y cifras de productividad óptimas, puede acoplarse una planta de decapado por turbulencia en tanque llano con un laminador tándem, que se amplía en una caja. Normalmente un acumulador y una máquina de soldar antes del laminador tándem ofrecen resultados igual de buenos y un aumento de capacidad. El uso de una máquina de soldar y del acumulador permite la unión de las bobinas y la alimentación continua de la banda al laminador.

En una línea tándem, la banda entrante laminada en caliente y decapada se reduce al espesor final deseado en una sola pasada a través de la línea. Gracias a la instalación de varios sistemas de emulsión separados, puede aplicarse una emulsión especial en la última caja para aumentar el efecto limpiador. Para ello, puede usarse un detergente o una emulsión ligera (1% de contenido de aceite).

El laminado en continuo puede permitir un buen control del espesor de la banda en los extremos de las bobinas y de la calidad de la superficie. Esto puede tener un efecto beneficioso en el rendimiento del material. Además, permite la optimización del consumo de aceite [EUROFER CR].

A.2.2.4.2 Acero de alta aleación

Tras el recocido inicial y el decapado, el acero es generalmente laminado al espesor requerido en laminadores de cilindros de apoyos múltiples durante un serie de pasadas hasta alcanzar las dimensiones o hasta que el endurecimiento por deformación plástica haga necesario un recocido ulterior.

El proceso de reducción en frío genera calor, parte del cual es transferido al aceite de laminación que se rocía sobre el acero y los rodillos para enfriamiento y lubricación. Este calor se disipa posteriormente a través de intercambiadores de calor o sistemas de refrigeración por agua.

Normalmente se utilizan aceites minerales como aceite de laminación, y es necesario un control estricto de su limpieza para un funcionamiento óptimo. Esto puede conseguirse utilizando circuitos de filtrado de aceite, que incorporan filtros con agentes de retención o sistemas de filtro de pre-recubrimiento con polvo. Aunque predomina el uso de aceites minerales, pueden emplearse sistemas de enfriamiento con emulsión similares a los utilizados para aceros al carbono. En tales casos deben tomarse precauciones adicionales para controlar la limpieza del aceite con el fin de evitar el marcado de las bandas.

El laminador va equipado con campanas de extracción continua para eliminar la niebla de aceite que se forma [EUROFER CR].

A.2.2.5 Recocido de acero de baja aleación y de acero aleado

Las etapas básicas del proceso de recocido son:

- Calentamiento a la temperatura de recocido (por encima de 650 °C).
- Mantenimiento a la temperatura de recocido.
- Enfriamiento.

Este proceso de recocido puede realizarse en hornos discontinuos o continuos. El ciclo de recocido tiene una considerable importancia sobre las propiedades mecánicas y, en consecuencia, sobre la conformabilidad de la banda de acero. Varía según si el recocido se realiza en un horno continuo o discontinuo y según la resistencia o dureza requerida del producto. El ciclo de recocido depende de una serie de parámetros que incluyen el análisis del material, la reducción obtenida durante la laminación en frío, las propiedades mecánicas y la limpieza superficial requeridas, el tipo de gas protector, etc.

Los recocidos continuo y discontinuo se consideran procesos complementarios y no son plenamente intercambiables. Los aspectos relativos a la producción son integrales a la selección de la técnica de recocido.

A.2.2.5.1 Recocido discontinuo

Desengrase / Limpieza con álcalis

Antes del proceso de recocido, la banda puede limpiarse (desengrasarse) para conseguir una superficie más limpia. Esta limpieza sirve para eliminar los residuos de aceite de la superficie del acero. El proceso es similar al utilizado para el decapado con ácido, excepto en los agentes químicos empleados. Los agentes limpiadores más frecuentemente empleados son fosfatos, silicatos alcalinos, sosa cáustica y sosa comercial (carbonato sódico anhidro). En algunos casos también se recurre a la limpieza electrolítica y a cepillos para eliminar los finos de hierro de la superficie de la banda.

La lámina de acero se devana de la bobina y pasa a través de tanques de limpieza, que pueden tener agitación para mejorar el efecto limpiador. Posteriormente, el acero se enjuaga con agua y se vuelve a bobinar. La solución desengrasante puede regenerarse y reciclarse.

Recocido

La banda laminada en caliente bobinada se apila en un horno con campana para su recocido (véase Figura A.2-31). La cámara de combustión (espacio entre el calentamiento y la campana protectora) se calienta mediante quemadores de aceite o de gas. Un ventilador de circulación de aire proporciona una distribución de temperatura lo más uniforme posible. La atmósfera en plantas convencionales es normalmente gas HNX (una mezcla de nitrógeno-hidrógeno con un contenido en hidrógeno próximo al límite de inflamabilidad). La atmósfera puede ser también 100% H_2 como en partes del ciclo de trabajo de los hornos de alta convección.

El calor pasa a las bobinas a través de sus bordes exteriores, de modo que estas áreas están siempre más calientes que los bordes internos, especialmente durante el calentamiento. El tratamiento térmico hace que

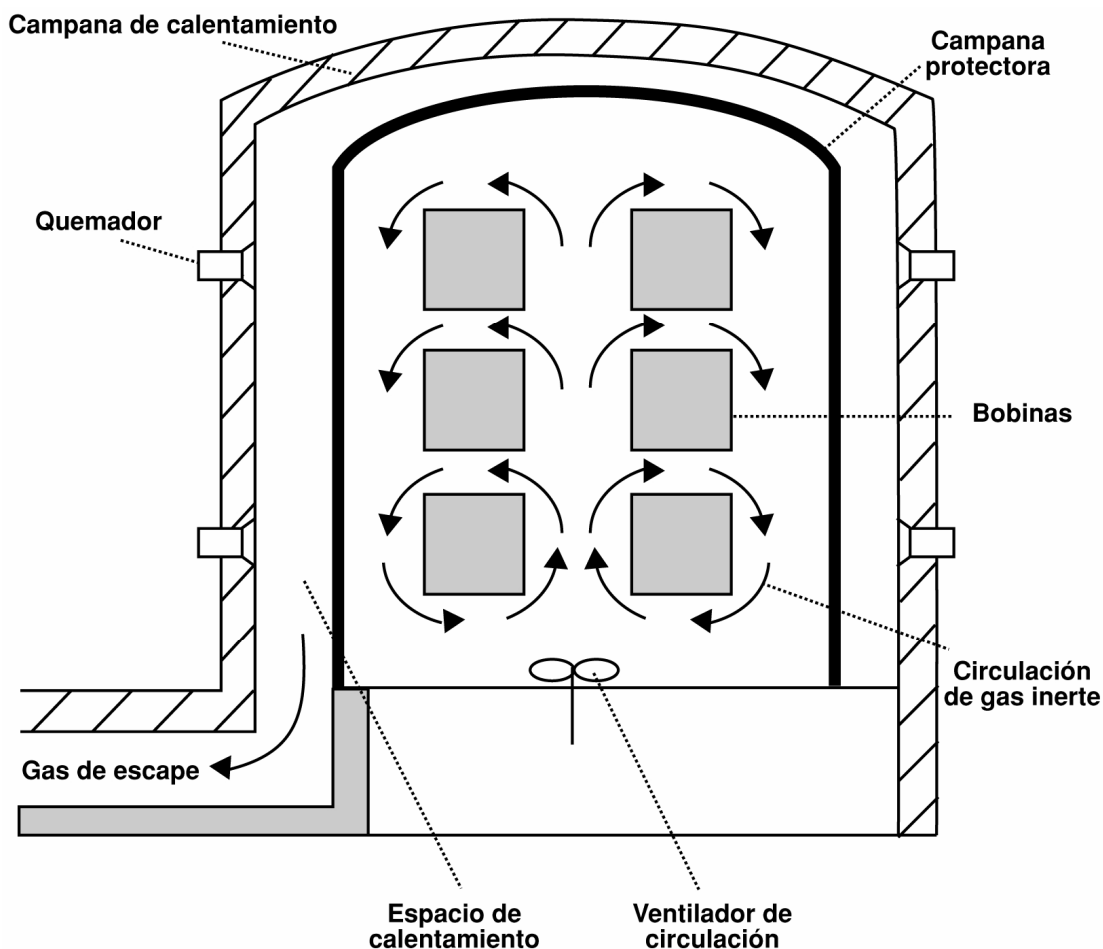


Figura A.2-31: Esquema de un horno de recocido de campana [DFIU98].

los residuos orgánicos de la emulsión se quemen parcialmente; también se produce parcialmente un proceso de destilación. Los productos de las reacciones que tienen lugar son CO/CO_2 , H_2 , FeO_x y CH_4 . La banda es recalentada a la temperatura de recrystalización, y recocida a unos 700°C , lo que produce la recrystalización completa del acero laminado en frío. Para enfriar las bobinas, se quita la campana de calentamiento. El efecto de enfriamiento puede potenciarse pulverizando agua sobre la cubierta protectora; cubriéndola con una campana y soplando aire sobre la misma o utilizando un sistema de refrigeración en derivación que enfría la atmósfera protectora bajo la cubierta protectora. El tiempo necesario para el recocido depende de la temperatura de recocido y del peso de la carga, y puede ser de 2 a 7 días.

El recocido en este tipo de hornos es muy lento, y la velocidad de enfriamiento tampoco es adecuada para ciertas calidades de acero. Por consiguiente, se desarrolló un proceso de recocido en una atmósfera de hidrógeno al 100%, con lo que se obtienen tiempos de recocido más cortos y un enfriamiento más rápido.

A.2.2.5.2 Recocido continuo

Para el recocido continuo, las bobinas se unen por soldadura en el lado de entrada de la planta y se someten a los siguientes procesos:

- Limpieza alcalina/electrolítica de las bandas.
- Calentamiento y mantenimiento de la temperatura de recocido requerida.
- Enfriamiento (enfriamiento por chorro lento, enfriamiento por chorro de gas (con velocidades de enfriamiento de hasta 150°C/s), temple en agua caliente (HOWAQ), sobre-envejecimiento, enfriamiento por rodillos, enfriamiento final, enfriamiento por chorro de atomización).

El recocido continuo se realiza pasando la banda de acero a través de un horno de calentamiento multizonal con cámara de calentamiento, cámara de recocido, zona de enfriamiento, zona de revenido y una segunda zona de enfriamiento. El acero se calienta a un rango entre 650°C y 830°C , y luego se enfría con chorros de gas, pulverizadores de gas-agua, rodillos de contacto o temple en agua, según las propiedades metalúrgicas deseadas. Estos hornos son normalmente alimentados con gas (directa o indirectamente) o bien se calientan eléctricamente. El acero puede protegerse con una atmósfera de gas inerte o una atmósfera reductora en partes del horno. Los principales pasos operativos del recocido continuo se muestran en la Figura A.2-32.

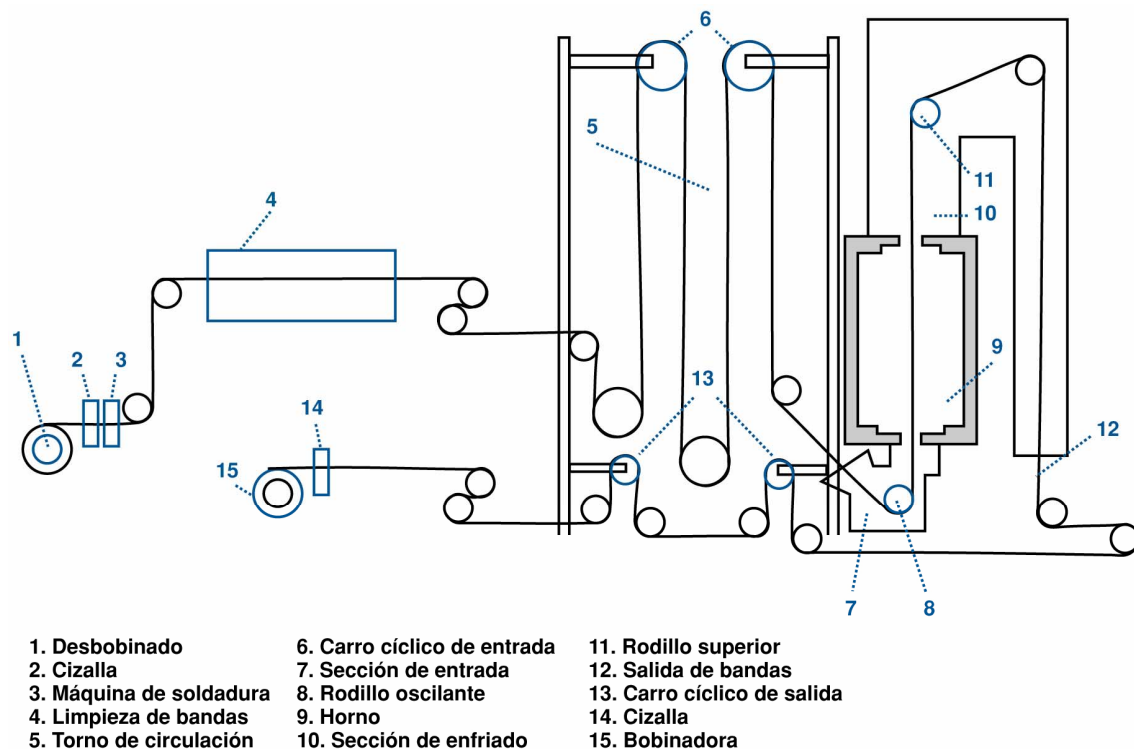


Figura A.2-32: Ejemplo de horno de recocido continuo [DFIU98].

El recocido continuo permite un tiempo de proceso más corto (unos 10 minutos), menos almacenamiento intermedio, propiedades mecánicas uniformes y una superior limpieza de la superficie. El recocido continuo es más apropiado para la producción de aceros de alta resistencia. El esquema del horno facilita la recuperación de energía del gas de salida.

A.2.2.6 Recocido (II) y decapado (II) de acero de alta aleación

Desengrase

Antes del proceso de recocido final puede ser necesario el desengrase de la banda para eliminar posibles contaminantes de la superficie del acero. Esto puede hacerse con sistemas limpiadores con base alcalina, que pueden incorporarse en la sección de la entrada de las líneas de recocido continuo.

La bobina de acero se devana y se hace pasar a través de una serie de tanques que contienen las soluciones limpiadoras. Normalmente se incorpora agitación de la solución para mejorar la limpieza. Después, la banda se enjuaga con agua. Puede usarse agua desmineralizada para el último paso de enjuague [EUROFER CR].

Recocido

La ruta de proceso para el recocido y el decapado final viene dictada por el acabado de superficie requerido. Ejemplos de ello son el acabado estándar EN '2R', que requiere un tratamiento de recocido brillante con acabado de superficie y el '2B' que requiere recocido y decapado.

El recocido brillante se realiza normalmente en un horno eléctrico o a gas con atmósfera protectora inerte de nitrógeno y/o hidrógeno. Puede usarse recocido tanto continuo como discontinuo. Se requiere el desengrasado de la superficie del acero para evitar su decoloración.

El material con un acabado de superficie '2B' se procesa generalmente en líneas de recocido continuo y decapado. El diseño y funcionamiento del horno es generalmente similar al del recocido de bandas laminadas en caliente descrito anteriormente. El acero se devana y pasa a través de uno o más hornos, que normalmente son a gas. El recocido tiene lugar en un atmósfera rica en oxígeno. Esto es necesario para asegurar que la cascarilla generada en el horno sea de una composición fácilmente eliminable por los procesos de decapado químico subsiguientes.

Decapado

A diferencia del descascarillado de bandas laminadas en caliente descrito anteriormente, no es posible aplicar técnicas de descascarillado mecánico para la eliminación de esta cascarilla debido a los desperfectos superficiales que se producirían en la banda laminada en frío final. Por consiguiente sólo se aplica decapado químico. Este se realiza del mismo modo descrito anteriormente para el decapado de bandas laminadas en caliente.

La cascarilla del acero de alta aleación, debido a la presencia de óxidos de los elementos de aleación, no siempre puede eliminarse en un solo paso de decapado con ácido. Pueden ser necesarios procesos adicionales de tratamiento o tratamiento preliminar. Entre ellos puede incluirse un proceso inicial de decapado electrolítico (usando por ejemplo sulfato sódico) que se instala antes de la sección de decapado con mezcla de ácidos. Generalmente, estas instalaciones trabajan con sales neutras o ácidos como electrolito. Es apropiado considerar el proceso electrolítico como un sistema de decapado previo, ya que un descascarillado satisfactorio no puede realizarse únicamente con esta sección. Con ello se reduce considerablemente la longitud requerida de la sección de decapado con mezcla de ácidos (y por consiguiente el mayor consumo de ácidos y el impacto medioambiental). Además, la combinación de decapado electrolítico y con mezcla de ácidos puede proporcionar un mejor acabado de superficie. [EUROFER CR], [Com2 CR].

A.2.2.7 Revenido de la banda laminada en frío

A.2.2.7.1 Acero de baja aleación y acero aleado

Tras el recocido, el acabado de superficie y las propiedades mecánicas del acero se modifican, de acuerdo con los requisitos del cliente. Esto se hace mediante revenido por laminación, que consiste en someter la

banda a una ligera pasada de laminación con una reducción de espesor entre el 0,3 y el 2%. Antes del revenido, la temperatura de la banda debe ser inferior a 50°C.

El revenido por laminación se realiza en el tren de revenido, compuesto normalmente por una o dos cajas de cuatro cilindros superpuestos, aunque también pueden usarse cajas de dos o seis rodillos superpuestos. Para la producción de chapas de estaño es común usar dos cajas de cuatro cilindros superpuestos. Los rodillos de estas cajas tienen un acabado superficial extremadamente preciso con objeto de controlar la rugosidad final de la banda de acuerdo con el uso final del producto acabado. El revenido mejora asimismo la planeidad de la banda.

Para evitar que queden en la banda residuos del proceso de laminación pueden usarse agentes limpiadores (un agente de laminación de revenido húmeda) durante el revenido. Los rodillos también pueden pulirse con equipo de pulido mecánico con un sistema de extracción asociado [EUROFER CR].

A.2.2.7.2 Acero de alta aleación

De modo similar al proceso de los aceros al carbono, se realiza una laminación de revenido o laminación de efecto superficial con el fin de obtener el acabado superficial deseado del acero. Este tratamiento de laminación en frío, que comprende una mínima reducción de calibre (hasta un 2%) se realiza normalmente en seco sin aplicación de aceite o enfriamiento. El revenido se realiza normalmente en una sola caja de dos o cuatro cilindros superpuestos con cilindros de precisión.

A.2.2.8 Acabado

El acabado comprende el corte en bobinas de distintos anchos de banda y el cizallado transversal para obtener láminas. También se realizan pasos adicionales, como el enderezado, muestreo, engrase y marcado. En general, las técnicas empleadas son similares para los aceros de baja y alta aleación, aunque el engrase no es necesario para los aceros inoxidables.

El proceso de acabado comprende las siguientes operaciones:

- Control dimensional (anchura, espesor y longitud).
- Inspección y eliminación de defectos de superficie.
- Muestreo para determinar las propiedades mecánicas y técnicas, la estructura de rugosidad de la banda y el contenido de residuos de partículas provenientes del desgaste de los rodillos y del carbono en la superficie de la banda (muestreo estadístico).
- Recortado de las bobinas al ancho exacto.
- Enderezado de las bandas hasta una óptima planeidad.
- Engrase de las bandas con máquinas de engrase electrostáticas o con máquinas de engrase equipadas con atomizadores o rodillos (aceites anticorrosivos o de pre-engrase).
- Marcado de los productos acabados con el número de bobina, fecha de producción, etc.
- Soldadura de distintas bobinas pequeñas para formar bobinas grandes.

En los talleres de acabado, las bobinas grandes utilizadas para maximizar la productividad se cortan para obtener los pesos de bobina solicitados por los clientes. Las partes defectuosas de las bobinas se eliminan o, si es necesario, se somete el material a un tratamiento adicional para la eliminación de los defectos. Esto puede incluir un recocido adicional, una laminación de revenido o enderezado [EUROFER CR].

Desbaste de las bandas

El desbaste de la superficie del acero puede usarse para generar una calidad de superficie uniforme, así como para rectificar defectos. La banda se debobina normalmente en líneas de proceso especiales, siendo rociada con aceite y desbastada con cintas de distinta rugosidad superficial. Normalmente, para este proceso se emplea aceite mineral y circuitos de filtrado para separar las virutas generadas durante el desbaste [EUROFER CR].

Empaquetado

El material, ahora en su forma final, se empaqueta normalmente para su envío al cliente. El empaquetado está diseñado para asegurar que no se produzcan daños durante el almacenamiento o el transporte al

usuario final. También es necesario adoptar medidas de control para evitar daños de origen mecánico o climático. Además, el equipo de elevación y transporte de la planta de producción debe estar también diseñado y ser utilizado para minimizar los daños al acero. Tras el acabado se realiza el empaquetado de los artículos individuales pedidos por el cliente. Los materiales de embalaje utilizados son: flejes de acero, papel, plástico, madera, embalajes de tipo marítimo, embalajes especiales [EUROFER CR].

A.2.2.9 Taller de rodillos

Las actividades de este taller incluyen normalmente el desmontaje de los amortiguadores, el desbaste de los cilindros, la texturización de los rodillos de trabajo y su nuevo montaje.

Para satisfacer las tolerancias requeridas de las bandas y los estándares de superficie, los rodillos deben ser desbastados regularmente. Durante esta operación de desbaste, los rodillos normalmente se enfrían y se lubrican con emulsión de desbaste. La emulsión utilizada puede ser recirculada y filtrada, pero se requiere su sustitución parcial de forma periódica. Además, se genera aceite usado y lodos de desbaste, que deben desecharse adecuadamente.

Los principales sistemas de texturización de rodillos empleados son:

- SBT (Shot blast texturing o Texturización por granallado): se trata de una aplicación mecánica de la textura en el rodillo mediante granallado con chorro de arena.
- EDT (Electron Discharge Texturing o Texturización por descarga electrónica): los rodillos de trabajo son texturizados mediante la generación de chispas en un baño de aceite.
- EBT (Electron beam texturing o texturizado por haz de electrones): en este sistema, el rodillo es colocado en una cámara de vacío y se aplica la textura mediante una pistola de haz de electrones.
- LaserTex (Texturización por láser): el rodillo es texturizado a la rugosidad predeterminada con una pistola Láser.
- Pretex (Texturizado premium): el rodillo es texturizado mediante cromado electrolítico. El proceso de recubrimiento con cromo se realiza en un recinto totalmente cerrado y equipado con un sistema de extracción de gases con lavado húmedo de gases. Todo el proceso funciona sin evacuación de efluentes, debido a las pérdidas por evaporación [EUROFER CR].

A.2.2.10 Gestión del agua y de los baños de proceso en las plantas de laminación en frío

El agua se utiliza en las plantas de laminación en frío para limpiar la superficie del material laminado, para la preparación de los baños de decapado y desengrase, para enjuague y para enfriamiento. El decapado y procesos relacionados (enjuague, operaciones de limpieza de gases, regeneración de ácidos) causan caudales de agua con desechos ácidos. En caso de que el desengrase forme también parte del proceso, se producen aguas residuales alcalinas.

Para enfriamiento y lubricación se utilizan emulsiones de agua/aceite en las secciones de laminación, lo que da lugar a caudales de agua con aceite y sólidos suspendidos. Generalmente, las emulsiones y soluciones de desengrase son recicladas al proceso en circuitos cerrados. El agua utilizada para refrigeración indirecta también circula en circuitos cerrados. (Las clasificaciones y definiciones de los circuitos de agua son análogas a las utilizadas en la laminación en caliente, véase Capítulo A.2.1.15).

A.2.2.10.1 Sistema de emulsión

En las plantas de laminación en frío normalmente hay instalados ciclos de emulsión como el que se muestra en la Figura A.2-33. Para mantener estos circuitos, los líquidos circulados deben ser tratados y acondicionados mediante sedimentación y enfriamiento de la emulsión. Las medidas para mantener la calidad de la emulsión y prolongar su vida útil se describen en el Capítulo 4.

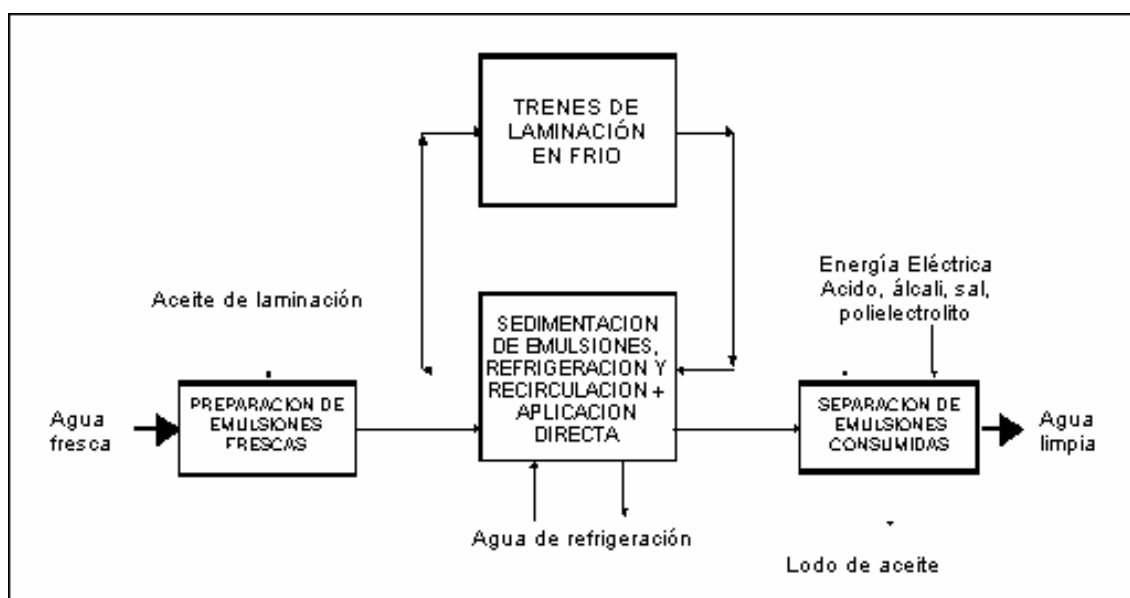


Figura A.2-33: Flujo general de la emulsión
[EUROFER CR].

A.2.2.10.2 Sistema de solución de desengrase

En los sistemas de solución de desengrase (véase Figura A.2-34), la recirculación de la solución es posible eliminando el aceite y otros contaminantes, por ejemplo mediante filtración magnética o ultrafiltración. Las medidas de limpieza se describen en el Capítulo 4.

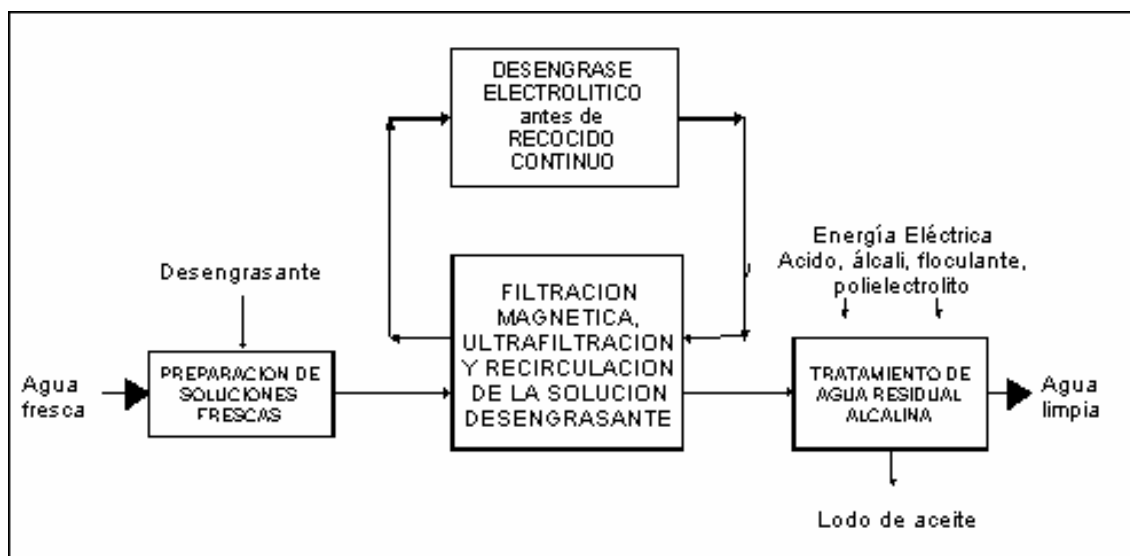


Figura A.2-34: Flujo de la solución de desengrase (línea de recocido continuo)
[EUROFER CR].

A.2.2.10.3 Sistemas de agua de refrigeración

En las plantas de laminación en frío, se precisa agua para disipar el exceso de calor del proceso de laminación (energía de laminación) y de las superficies de recocido (energía de calentamiento). La energía de laminación se transfiere principalmente a través de la emulsión y/o el refrigerador de la

emulsión, y parcialmente al agua de refrigeración a través del refrigerador de lubricante e hidráulico. Los principales puntos de consumo de agua de refrigeración son:

- La refrigeración de la emulsión de la línea del laminador tándem.
- El tren de laminación de efecto superficial instalado a continuación de la planta de recocido discontinuo.
- La planta de recocido continuo con tren de laminación de efecto superficial.
- La refrigeración de transformadores y motores.
- Las instalaciones de lubricación con aceite.

El agua de refrigeración con carga térmica vuelve a enfriarse con agua industrial en intercambiadores de calor de placas, si hay disponibles suministros adecuados de agua, o mediante evaporación en torres de refrigeración. El reenfriamiento en intercambiadores de calor ofrece la ventaja de que pueden ahorrarse considerables cantidades de agentes químicos para el agua de refrigeración (como inhibidores de corrosión, estabilizadores de dureza, dispersantes y biocidas) y que no son evacuados al sistema de alcantarillado. Los circuitos de agua de refrigeración se tratan con inhibidores de corrosión, pero el desagüe de un caudal parcial con alto contenido en sal no es necesario en estos circuitos cerrados. En los circuitos con torres de refrigeración, por el contrario, se requiere la descarga regular de caudales parciales a un sistema de alcantarillado para contrarrestar la concentración salina resultante de la evaporación. Además, se evita la formación de vapor de agua (nieve industrial) asociada con las torres de refrigeración y que en ocasiones constituye un problema en algunas regiones de Europa.

En principio, son sistemas viables tanto el reenfriamiento como las torres de refrigeración por evaporación, y la elección de uno u otro sistema dependerá del emplazamiento y de otros temas específicos del lugar de producción. En algunos países se aplican impuestos sobre el agua extraída y evacuada, lo que puede afectar a la elección del sistema empleado [Com2 CR].

Las Figuras A.2-35, A.2-36 y A.2-37 muestran ejemplos de ciclos de agua de refrigeración.

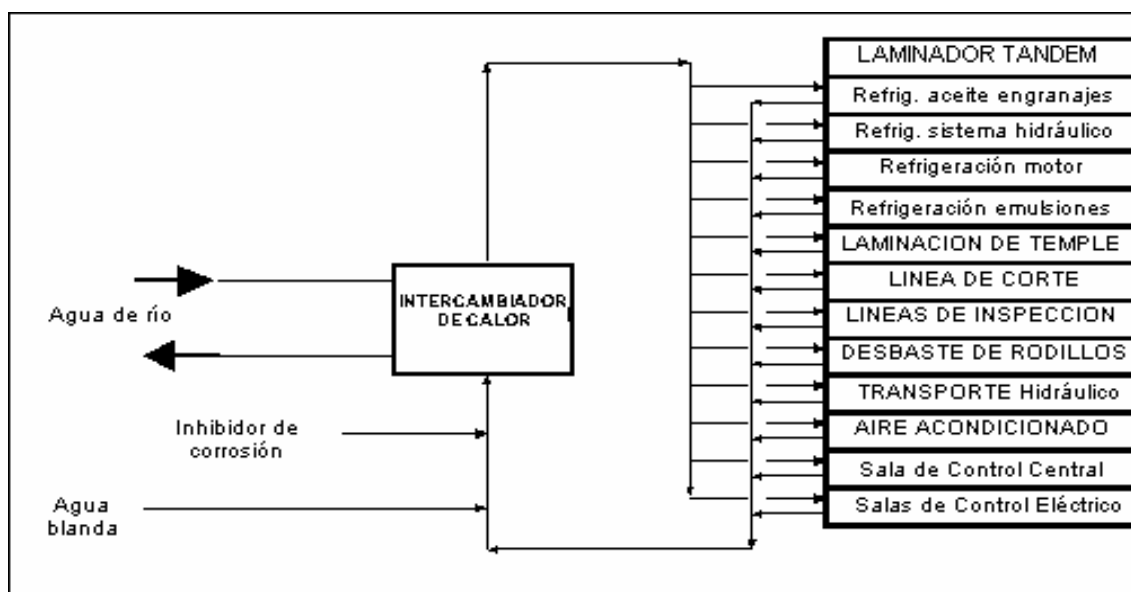


Figura A.2-35: Sistema de refrigeración de agua para un tren de laminación en frío [EUROFER CR].

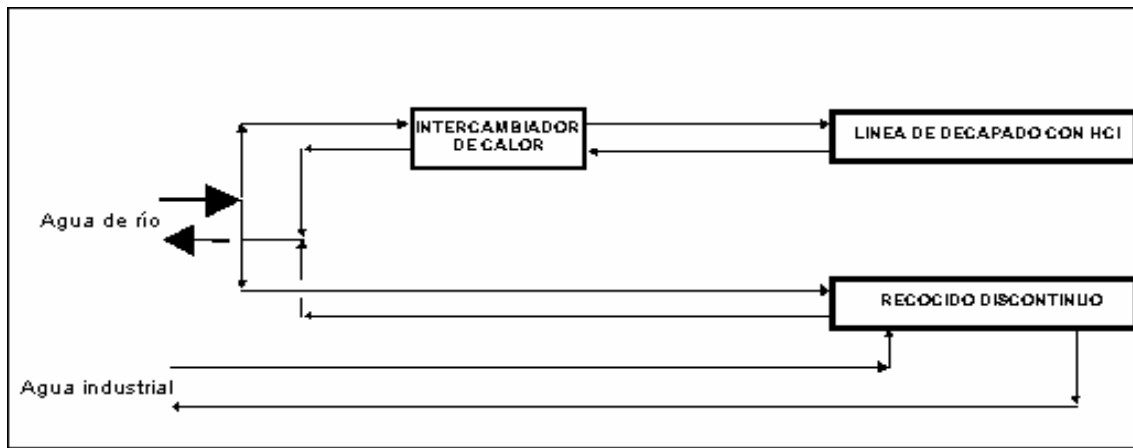


Figura A.2-36: Sistema de refrigeración de agua para decapado con HCl y recocido discontinuo [EUROFER CR].

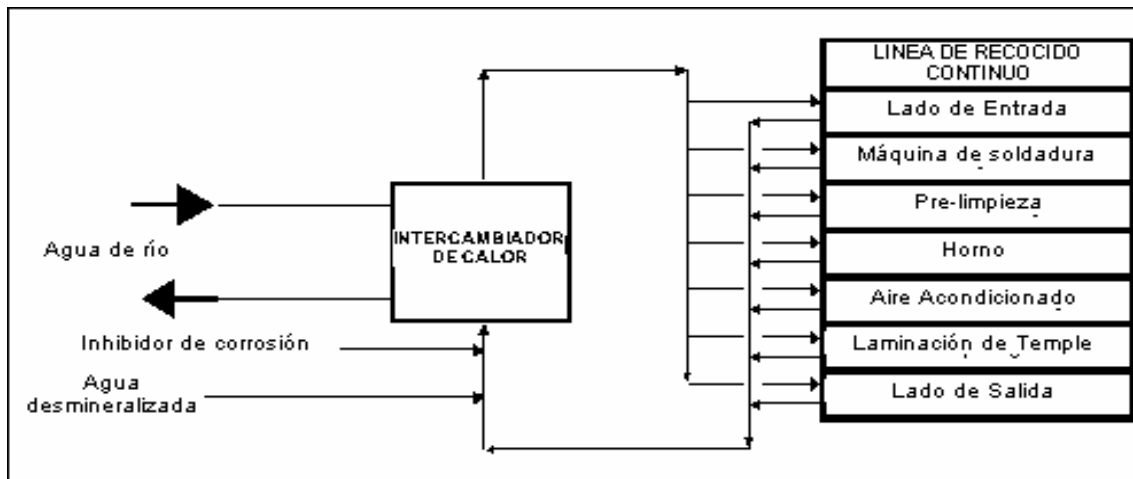


Figura A.2-37: Sistema de refrigeración de agua para una línea de recocido continuo [EUROFER CR].

A.2.2.10.4 Tratamiento de agua residuales

El agua residual de las operaciones de laminación en frío que no puede regenerarse o utilizarse en otra parte de la línea de producción debe ser tratada antes de su evacuación.

El agua residual ácida del enjuague o de la regeneración de ácidos se trata normalmente mediante neutralización con agentes, como hidróxido cálcico o hidróxido sódico. Los iones del metal disueltos precipitan en forma de hidróxidos y luego son separados por técnicas de sedimentación como clarificación o filtración. En ocasiones se emplean floculantes para facilitar el proceso. Los lodos son deshidratados, por ejemplo con prensas de filtro, para reducir su volumen final.

Cuando se utilizan procesos electroquímicos previos al decapado, pueden ser necesarios pasos adicionales de tratamiento de los efluentes. Normalmente éstos pueden ser procesos de reducción del cromo (VI) con bisulfito sódico o compuestos de hierro (II).

Los caudales de aguas residuales alcalinas pueden neutralizarse con HCl, filtrarse y luego ser evacuados.

Los refrigerantes/lubricantes (emulsiones) utilizados se tratan mediante un proceso de separación de emulsiones, que puede ser térmico, químico, mecánico o físico, seguido de una separación de las fases acuosa y de aceite.

A.2.2.11 Gestión de residuos y subproductos en las plantas de laminación en frío

La laminación en frío origina residuos sólidos, como chatarra (trapos y papel de limpieza), lodos de de las plantas de tratamiento de aguas residuales, restos de materiales de embalaje y polvo.

La **chatarra** es reciclada en las acerías. Los **lodos que contienen aceite** de las plantas de tratamiento del agua residual pueden utilizarse en los altos hornos.

Los **lodos de regeneración de ácidos** pueden reciclarse en acerías (hornos de arco eléctrico y altos hornos) o transferirse a empresas de reciclaje externas para la producción de óxidos de hierro.

El **sulfato férrico heptahidrato** de la planta de regeneración de ácido sulfúrico puede usarse:

- Para la producción de complejos de hierro-cianuro.
- Como agentes de floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Para la producción de masa de adsorción de gases.
- Como agente de mejora química.
- Para la producción de pigmentos de óxido férrico, y
- Para la producción de ácido sulfúrico [Com D].

El **óxido férrico** de la regeneración de ácido clorhídrico puede usarse en varias industrias como material inicial de alta calidad, por ejemplo:

- Como material de partida para la producción de materiales ferromagnéticos,
- Como material de partida para la producción de polvo de hierro, o
- Como material de partida para la producción de material de construcción, pigmentos, vidrio y cerámicas [Com D].

Los **lodos de la recuperación de aceite** se utilizan externamente, bien mediante incineración, bien para recuperación del aceite en plantas especializadas.

Sólo una pequeña parte de los **lodos del tratamiento de aguas residuales** se recicla internamente, la gran mayoría de los mismos se desecha en vertedero.

Los **residuos aceitosos** (emulsión de aceite, grasas) generados son utilizados interna o externamente mediante incineración.

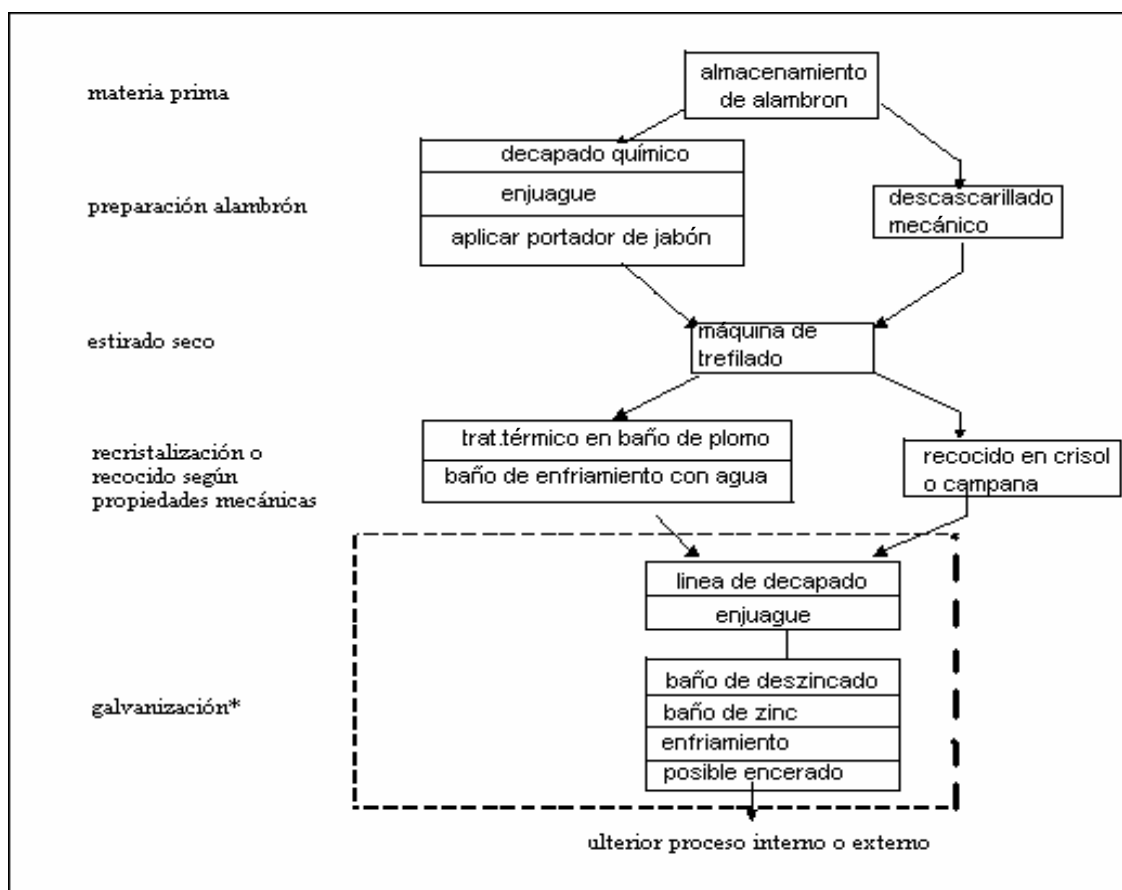
A.2.3 PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE ALAMBRE

A.2.3.1 Visión general del proceso de trefilado de alambre

El trefilado del alambre es un proceso en el que el calibre de los alambres/alambres es reducido estirándolos a través de aberturas cónicas de menor sección, denominadas hileras o trefilas. El material inicial es normalmente alambón de diámetro de 5,5 a 16 mm obtenido de plantas de laminación en caliente en forma de bobinas. Una línea típica de estirado de alambre se compone de los siguientes pasos:

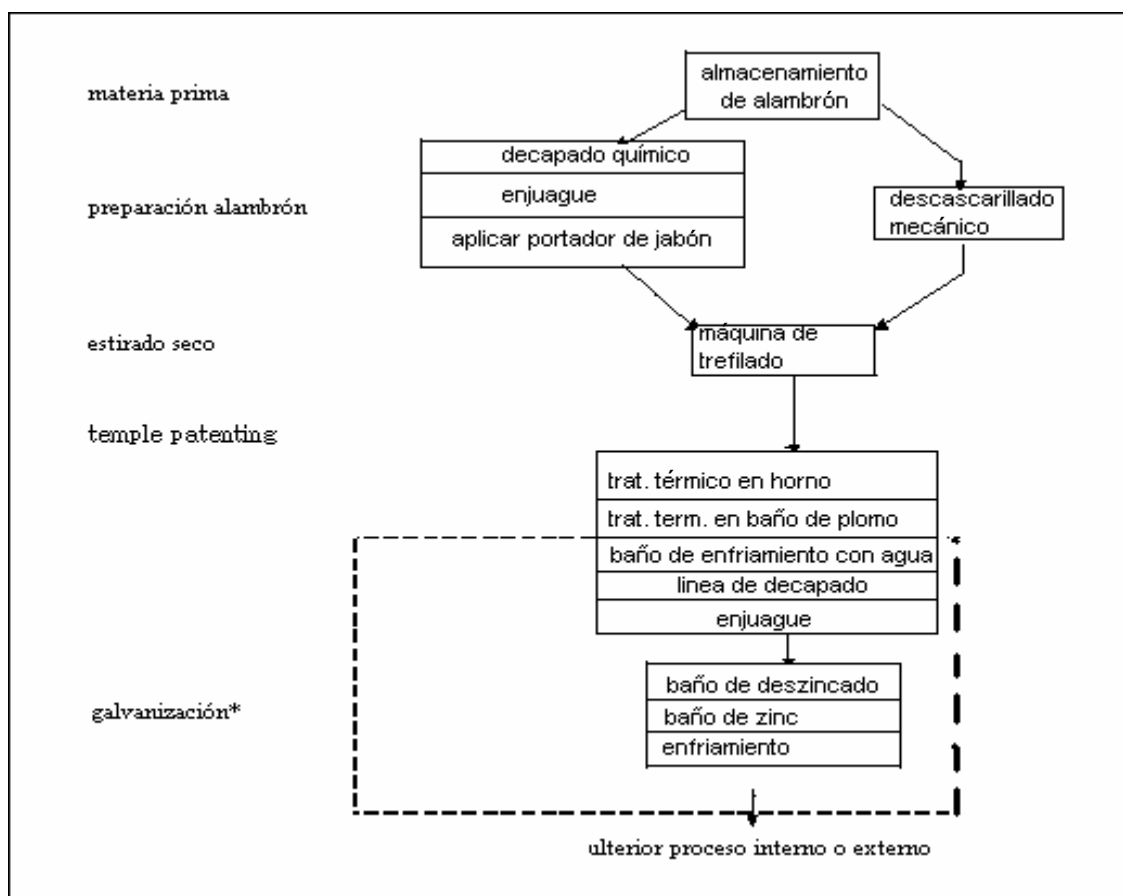
- Pretratamiento del alambón (descascarillado mecánico, decapado).
- Estirado seco o húmedo (normalmente varias pasadas con trefilas de tamaño decreciente).
- Tratamiento térmico (recocido continuo/discontinuo, temple patenting, temple en aceite).
- Acabado.

El alambre se fabrica en distintas calidades de acero: acero pobre en carbono con un contenido de hasta un 0,25 % acero rico en carbono con un contenido de más del 0,25 %, acero inoxidable y otros aceros aleados. El alambre de acero sin alear puede ser sin recubrir o recubierto con zinc, cobre, latón, estaño, níquel, cromo, plástico o barniz. El alambre es enviado en forma de bobinas para su ulterior proceso, como recubrimiento y fabricación de productos acabados (ej: cable, malla, alambre de espinos, tela metálica, rejilla, muelles, clavos) [Bekaert94], [Pan97].



* la galvanización se trata en la Parte B de este BREF

Figura A.2-38: Producción de alambre galvanizado pobre en carbono [Bekaert98].



* la galvanización se trata en la Parte B de este BREF

Figura A.2-39: Producción de alambre rico en carbono [Bekaert98].

Debido a la enorme variedad de productos de alambre, existen muchos esquemas de proceso diferentes, dictados por el diámetro del alambre y por las especificaciones mecánicas y de calidad requeridas. Los esquemas de proceso que se muestran en las Figuras A.2-38 y A.2-39 cubren la mayor parte del alambre galvanizado que se produce en Europa (y en todo el mundo). Una parte del mismo se vende como tal; una parte es procesada posteriormente mediante trefilado húmedo o mediante procesos que caen fuera del ámbito de este BREF, como soldadura, electrorecubrimiento, recubrimiento plástico, corte a medida, etc.

A.2.3.2 Preparación del alambón

El enfriamiento al aire tras la laminación produce una capa de óxido férrico (cascarilla) en la superficie del alambón. Esta capa es muy dura, quebradiza y no deformable, y por consiguiente debe eliminarse antes de que pueda producirse cualquier proceso posterior. En muchos casos, esto es realizado por la industria de fabricación del alambre. Sin embargo, para el acero inoxidable, esto es realizado normalmente por la acería.

Se aplican dos técnicas para el descascarillado del alambón: descascarillado mecánico y decapado químico. Algunas categorías de productos finales sólo pueden fabricarse a partir de alambre descascarillado mecánicamente a un velocidad de trefilado reducida (lo que requiere mayor capacidad de la maquinaria, es decir, mayores costes de inversión). La decisión acerca de la técnica de descascarillado se realiza por lo tanto en cada planta individual, basándose en las calidades de los productos y consideraciones económicas.

A.2.3.2.1 Descascarillado mecánico del alambón

En el método de descascarillado mecánico más comúnmente aplicado, la flexión del alambre, el alambre es flexionado para hacer que se desprenda la cascarilla quebradiza. Otras técnicas de descascarillado,

como el arenado, el cepillado o el granallado, se utilizan como paso de acabado tras la flexión del alambre para eliminar la cascarilla suelta o se utilizan como técnicas independientes.

El granallado discontinuo es la técnica más común para el descascarillado de alambre de diámetro grueso (usando por ejemplo para aplicaciones de extrusión en frío). No obstante, el descascarillado mecánico se realiza generalmente de forma continua.

Según el acabado del alambrón y los requisitos de calidad del producto, el descascarillado mediante flexión inversa puede realizarse o puede ser sustituido por un método abrasivo como arenado, cepillado, granallado o descascarillado con corriente. Combinando la flexión inversa con uno de estos métodos auxiliares, puede conseguirse la eliminación completa de la capa de óxido, consiguiendo una superficie tan limpia como con el decapado químico [Com2 BG].

En comparación con el decapado químico de alambrón, el descascarillado mecánico presenta la ventaja de que se elimina un paso de producción, ya que normalmente la unidad de descascarillado se conecta directamente a la máquina de trefilado. Por otra parte, es difícil obtener el mismo nivel de estirabilidad con el descascarillado mecánico [CET-BAT].

A.2.3.2.2 Decapado químico del alambrón

En el decapado químico, la cascarilla de laminación es eliminada mediante disolución en ácido. Los ácidos empleados son:

- Ácido sulfúrico o clorhídrico para alambre pobre en carbono.
- Ácido clorhídrico para alambre rico en carbono.

El decapado se realiza principalmente en un proceso discontinuo. Cada rollo de alambrón se sumerge en el baño de ácido. El ácido disuelve lentamente la capa de óxido transformándola en cloruros o sulfatos de hierro. En el decapado con HCl, se utiliza un inhibidor de H_2 para suprimir la reacción: $2 HCl + Fe \rightarrow FeCl_2 + H_2$ y reducir la pérdida de hierro no deseada.

Tras el decapado, las bobinas de alambrón se enjuagan con agua. Esto se realiza normalmente en enjuague en cascada (ej: enjuagando 3 veces) para conseguir una máxima eficiencia de enjuague y un mínimo consumo de agua [Bekaert94], [Bekaert98].

A.2.3.2.3 Aplicación del portador de jabón (lubricante)

En algunos casos, se agrega un portador de jabón para mejorar la adhesión del lubricante al alambre. Se halla disponible una amplia gama de portadores de jabón. La selección se realiza según consideraciones económicas y según las propiedades requeridas en los procesos siguientes. Son portadores de jabón comunes: la cal, el bórax y el fosfato de zinc. Los portadores de jabón modernos son normalmente mezclas de sales solubles, como por ejemplo sulfato de sodio y potasio, cloruro, bórax, fosfato o silicato. Cada uno de ellos está adaptado a un jabón particular y a una situación de estirado particular.

El portador de jabón se aplica antes del trefilado por inmersión del acero en una solución acuosa del portador. Esto puede hacerse en un proceso discontinuo, normalmente asociado con el decapado químico, o continuo, en asociación con el descascarillado mecánico.

A.2.3.3 Trefilado

A.2.3.3.1 Trefilado seco de alambre

El trefilado seco se utiliza normalmente para estirar alambrón ($> 5,5$ mm) para conseguir un producto de diámetro 1 – 2 mm y en ocasiones menor. El diámetro del alambre se reduce pasándolo a través de una serie de trefilas de diámetro decreciente. Antes de entrar en las trefilas, el alambre se hace pasar por un lubricante seco. En muchos casos se utilizan lubricantes a base de jabón, dependiendo la formulación del jabón de la elección de grasas con las que se fabrica el jabón, la elección de rellenos y la elección de aditivos. En casos excepcionales (ej: aceros especiales, alambre con recubrimientos metálicos especiales) pueden usarse otros lubricantes, como pastas o aceites.

La operación de estirado calienta tanto el alambre como la trefila por la fricción. El enfriamiento se realiza indirectamente, enfriando con agua los cabrestantes en contacto con el alambre.

A.2.3.3.2 Trefilado húmedo de alambre

La operación de estirado se utiliza normalmente para estirar alambre con un diámetro de producto intermedio de 1 – 2 mm a su diámetro final. El alambre se hace pasar asimismo por una serie de trefilas de diámetro decreciente, pero el alambre, las trefilas y los cabrestantes se sumergen en un líquido lubricante que proporciona lubricación y enfriamiento. Normalmente se utilizan emulsiones de jabón o aceite (para algunas aplicaciones, aceite corriente). El calor resultante de la operación de estirado es absorbido por el lubricante, que es refrigerado indirectamente por agua.

A.2.3.4 Tratamiento térmico del alambre

El tratamiento térmico del alambre tiene diversos objetivos. Por consiguiente se hallan disponibles distintos tipos de tratamientos térmicos según el tipo acero (pobre en carbono / rico en carbono / inoxidable) y su uso final (ductilidad y resistencia deseadas). Además, el tratamiento térmico elimina térmicamente los residuos de jabón y lubricante.

Un porcentaje considerable de la producción de la industria del alambre no precisa tratamiento térmico. La fuerte deformación de la estructura cristalina del metal causada por el estirado es principalmente una propiedad positiva, ya que aumenta la dureza y la resistencia del alambre en la dirección axial.

A.2.3.4.1 Recocido discontinuo del alambre pobre en carbono

El trefilado deforma profundamente la forma de los cristales metálicos del alambre. El recocido es uno de los distintos métodos para volver a obtener una forma cristalina adecuada. El recocido discontinuo utilizado normalmente para acero pobre en carbono con el fin de obtener un producto final muy maleable y dúctil, se realiza en hornos de campana o de crisol.

El recocido discontinuo se realiza colocando bobinas de alambre estirado en cámaras (denominadas “crisoles” o “campanas”) rellenas con un gas protector. El gas protector es neutro o reductor. Los gases protectores más comunes son nitrógeno, hidrógeno, mezclas de nitrógeno e hidrógeno y gas natural parcialmente oxidado (o combustible similar). El calentamiento desde la temperatura ambiente a la temperatura máxima (unos 700°C) tarda varias horas; asimismo, el enfriamiento a la temperatura ambiente también requiere varias horas. Para mantener una sobrepresión en los “crisoles” o “campanas”, un fracción del gas protector es purgada continuamente.

En algunos casos, el alambre es engrasado inmediatamente tras el recocido.

A.2.3.4.2 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero pobre en carbono

El recocido continuo o recocido de torones tiene un objetivo similar al recocido discontinuo: restablecer una textura cristalina adecuada en el acero del alambre tras el estirado. Sin embargo, la forma cristalina y las propiedades metálicas son distintas de las deseadas cuando se aplica recocido discontinuo. El recocido continuo es un método de tratamiento térmico típico para los productos pobres en carbono.

El recocido de torones es un proceso continuo rápido. El alambre se calienta hasta la temperatura de recristalización (500 – 700 °C), se mantiene a esta temperatura durante unos pocos segundos y de nuevo se enfría rápidamente (temple) mediante su inmersión en un baño de agua.

Una línea típica está equipada para 15 – 50 alambres y se caracteriza por un particular $v \times d$ (velocidad $\times$ diámetro del alambre). Esto significa que pueden procesarse alambres de distintos diámetros juntos en la misma línea, pero que cuanto mayor es el diámetro de un alambre, menor es su velocidad. Las líneas modernas tienen una característica de $v \times d$ de 100 – 200 mm/min $\times$ mm (en otras palabras, un alambre de 1 mm se procesa a velocidades de 100 – 200 m/min). Para productos especiales, se utilizan líneas con unos pocos alambres o con sólo uno y/o funcionando a un menor valor de $v \times d$. El recocido de torones se combina a menudo en una línea de producción con otros procesos, como recubrimiento por inmersión en caliente.

Normalmente el alambre se calienta haciéndolo pasar a través de un baño de plomo fundido. Para el recocido de torones, es esencial un calentamiento rápido. Debido a un coeficiente de transferencia térmica muy elevado ($3000 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), el equilibrio entre el alambre y la temperatura del baño de emplomado se alcanza al cabo de unos pocos segundos. Existen otros métodos alternativos como el calentamiento inductivo o en horno, aunque sólo en algunas áreas, como por ejemplo líneas de un solo alambre, líneas de baja velocidad o líneas diseñadas para trabajar con un solo diámetro a la vez.

Tras el tratamiento térmico, el alambre es generalmente enfriado por inmersión en agua. Esto puede ir seguido de un decapado en línea con HCl tibio o frío para eliminar los óxidos, que también disuelve parcialmente el plomo que se haya podido arrastrar. También pueden usarse otros ácidos o decapado electrolítico. El decapado va seguido de un enjuague en cascada. En algunas plantas, el decapado es la primera operación de la siguiente fase del proceso. En ocasiones, el decapado se omite tras un tratamiento térmico con atmósfera protectora.

A.2.3.4.3 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero inoxidable

El alambre de acero inoxidable y de alta aleación se trata por recocido continuo para obtener propiedades cristalinas adecuadas del metal para (posteriores) operaciones de estirado. Para acero inoxidable, el tratamiento térmico se realiza bajo una atmósfera de gas protector. Si no se usara atmósfera protectora, el alambre de acero inoxidable se oxidaría; la eliminación de estos óxidos requeriría un decapado con ácido especiales como HNO_3 , HNO_3/HF ,... (véase producción de bandas de acero inoxidable). El perfil de temperatura empleado varía con el tipo y el contenido en Ni, Cr u otros elementos de aleación del acero inoxidable que se procesa ($700 - 1100^\circ\text{C}$).

El alambre se hace pasar a través de tubos o de una mufla, bajo un gas protector. La purga del gas protector es similar a la descrita para el recocido discontinuo. La primera parte de los tubos o de la mufla se coloca en un horno (calentamiento indirecto del alambre); la segunda parte se enfría indirectamente, por ejemplo con agua. El calentamiento puede realizarse eléctricamente (calentamiento resistivo o inductivo) o por combustión [CET-BAT].

A.2.3.4.4 Temple patenting

El temple patenting es un método de tratamiento térmico utilizado normalmente para productos de acero rico en carbono y de alta aleación para crear una estructura cristalina especial que permite una fácil deformación del producto. En contraste con el recocido, en el que los componentes de hierro y hierro/carbono tienden a separarse, el temple patenting produce una estructura en la que el carbono está homogéneamente distribuido en el hierro.

El temple patenting se realiza calentando el alambre a $850 - 1000^\circ\text{C}$, luego enfriándolo rápidamente a $450 - 600^\circ\text{C}$ y manteniéndolo un cierto tiempo a esta temperatura, y finalmente templándolo en agua. Se realiza normalmente en continuo y a menudo se combina con otros procesos, como por ejemplo el recubrimiento por inmersión en caliente.

El calentamiento a $850 - 1000^\circ\text{C}$ se realiza en un horno en el que el alambre está en contacto con los gases de combustión. El enfriamiento intermedio y el mantenimiento a $450 - 600^\circ\text{C}$ se realiza en un baño de plomo. Para líneas pequeñas diseñadas para especialidades (ej: diámetros finos o líneas de un solo alambre) pueden usarse otros método de calentamiento como el calentamiento bajo atmósfera de gas protector y hornos eléctricos. Para el temple patenting de diámetros gruesos, en ocasiones puede usarse un baño de sal fundida.

En los hornos alimentados por fuel, se utiliza una mezcla ligeramente subestequiométrica en los quemadores. De este modo, todo el O_2 es excluido de la atmósfera del horno, con el fin de minimizar la formación de óxidos de hierro en la superficie del alambre. Una formación excesiva de óxido férrico produce grandes pérdidas de material y un consumo excesivo de ácido de decapado, y produce un excesivo arrastre de plomo.

El enfriamiento final se realiza mediante inmersión en un baño de agua seguido del mismo procedimiento que en el recocido continuo.

A.2.3.4.5 Temple y revenido en aceite

El temple y revenido en aceite crea una estructura cristalina especial en el acero con un alto porcentaje de martensita, lo que produce un aumento de la dureza y de la resistencia al desgaste, en combinación con una buena tenacidad. Primero, el alambre se calienta a 850 – 1000°C seguido de un enfriamiento rápido.

El calentamiento se realiza normalmente bajo atmósfera protectora utilizando electricidad (calentamiento por radiación o por inducción) o combustión. La purga de gas protector es similar a la descrita para el recocido discontinuo. El enfriamiento se realiza tradicionalmente en aceite, pero pueden usarse otros medios de enfriamiento como agua o agua con aditivos (nota: aunque no es infrecuente enfriar en medios distintos del aceite, la forma normal de referirse a este paso de proceso sigue siendo temple en aceite).

El temple en aceite va siempre seguido de un recocido o paso para eliminar las tensiones causadas por el enfriamiento extremadamente rápido. Esto se realiza calentando de nuevo el alambre a 300 – 500°C. Normalmente se usa un horno normal, con calentamiento eléctrico o calentamiento directo con un gas de combustión normal, pero también es posible utilizar calentamiento por inducción.

A.2.3.4.6 Eliminación de tensiones

El objeto de la eliminación de tensiones es suprimir las tensiones internas del alambre causadas por las fases anteriores del proceso, sin cambiar la forma y la estructura cristalina del acero. Las tensiones internas pueden estar causadas por deformación (tensiones mecánicas) o por enfriamiento rápido (tensiones térmicas). La eliminación de tensiones como un paso del tratamiento térmico independiente es una fase del proceso típico para la producción de torones para hormigón pretensado.

La eliminación de tensiones puede realizarse a diversas temperaturas (100 – 500°C), según las características deseadas del producto final. Normalmente se utiliza un horno normal, con calentamiento eléctrico o calentamiento directo con un gas de combustión normal, pero también puede usarse calentamiento por inducción. Tras la eliminación de tensiones, el alambre se enfría de forma relativamente lenta en aire o agua [CET-BAT].

A.2.3.5 Decapado continuo en línea

El decapado en línea es una operación típica tras el tratamiento térmico y/o antes del recubrimiento por inmersión en caliente de alambre. Se utiliza para limpiar el alambre y para eliminar los óxidos metálicos. El alambre se pasa continuamente a través de uno o más baños de ácido. El ácido más común es HCl, pero pueden usarse otros ácidos. El decapado se realiza en un tiempo muy corto (unos pocos segundos), por lo que el ácido es muchas veces calentado y/o utilizado en forma concentrada. Tras el decapado, el alambre se enjuaga en agua.

El acabado del alambre incluye la aplicación de recubrimientos metálicos o no metálicos. La galvanización del alambre se cubre en la Parte B de este BREF. El decapado continuo en línea también se tratará en detalle en la parte B del BREF.

A.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMO Y EMISIONES PARA LA LAMINACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

A.3.1 Plantas de laminación en caliente

A.3.1.1 Visión general del flujo de materia

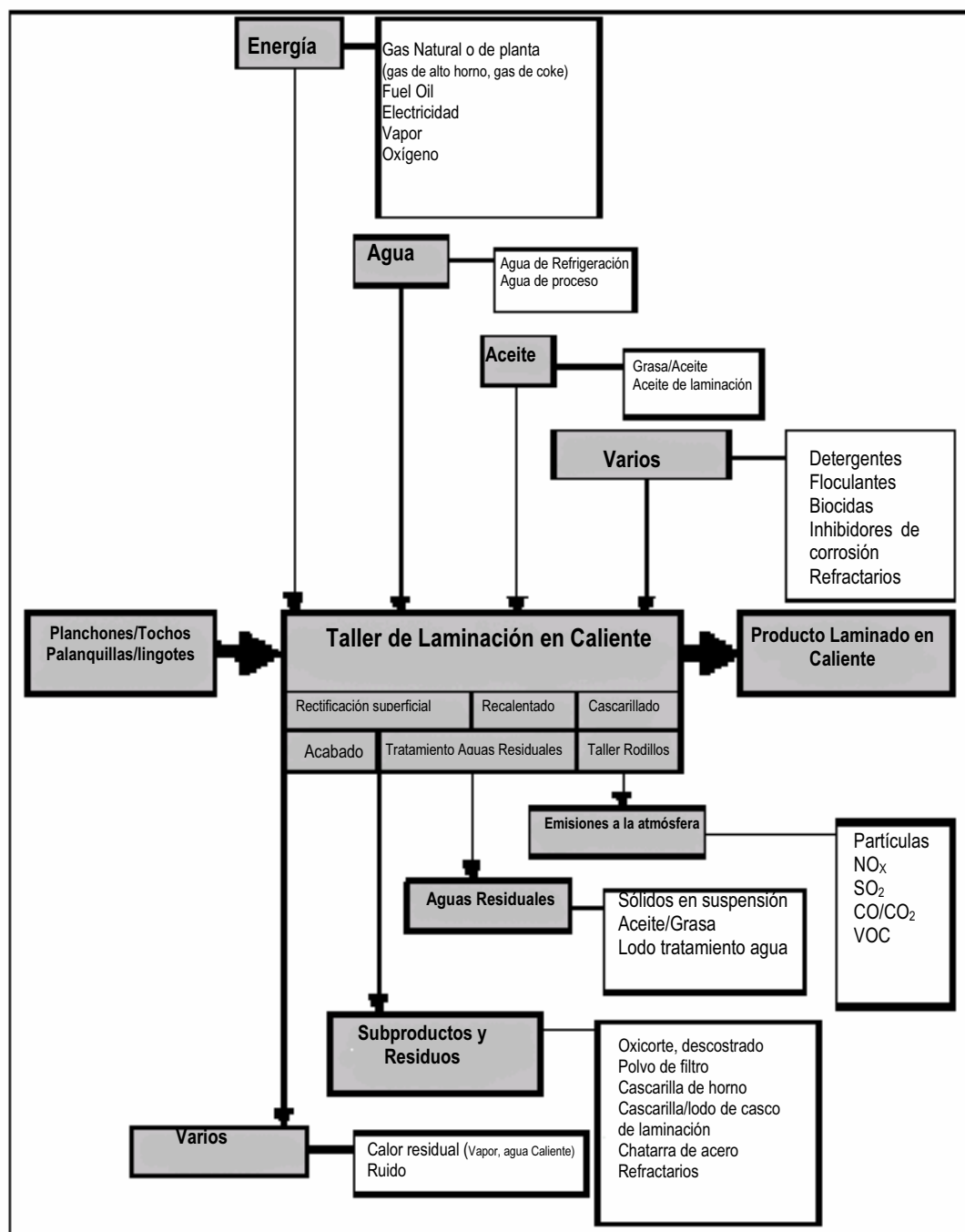


Figura A.3-1: Esquema general de entrada/salida de material para plantas de laminación en caliente

Los siguientes capítulos presentan datos específicos de entrada y consumo de material, así como datos específicos de salida y consumo para los pasos operativos asociados a la fabricación de productos laminados en caliente.

A.3.1.2 Rectificación superficial y acondicionamiento del material de entrada

El consumo de combustible (gas natural, petróleo licuado o gases de planta) y de oxígeno para el desbarbado depende de las dimensiones del material a laminar. Pueden producirse variaciones del 20% en el consumo y en las emisiones cuando por ejemplo se aumenta el espesor del planchón de 200 mm a 250 mm. Los consumos típicos informados para el desbarbado automático de palanquillas fueron de 5 m³ de oxígeno/t y 25 MJ (propano)/t de acero procesado. No hay datos disponibles sobre el consumo de agua para el desbarbado o sobre la cantidad de agua residual, que generalmente se evacua a la planta de tratamiento de aguas de la planta de laminación o de colada continua y es reutilizada en el sistema de agua del taller de laminación [EUROFER HR].

Durante el desbarbado húmedo se generan vapores corrosivos con elevadas proporciones de partículas menores de una micra (rango de tamaño de 0,5 a 250 micras). Las muestras de este vapor, tomadas en la entrada del precipitador electrostático, mostraron concentraciones de 60 mg /m³ para CO, 35 mg /m³ para NOx y un rango de 230 - 3000 mg /m³ para polvo [HMIP].

Desbarbado:		
Entrada / Nivel de Consumo		
Energía	n.d.	
Oxígeno	n.d.	
Agua	n.d.	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Polvo ¹	1 - 80 ² g/t	5 – 115 ³ mg/m ³
Polvo en filtros	1.5 - 3.25 ² kg/t	
	NOx ⁷	n.d.
	CO ⁷	n.d.
Cascarilla	n.d.	aprox. 35 mg/m ³ aprox. 60 mg/m ³
Aguas residuales	No hay evacuación, se reutiliza en el sistema de agua de taller de laminación	
Desbaste:		
Entrada / Nivel de Consumo		
Energía	No hay datos representativos disponibles	
Agua	No hay datos representativos disponibles	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Polvo ⁴		
Acero dulce		< 30 - 100 ^{5, 6} mg/m ³
Acero inoxidable	n.d.	< 50 5 mg/m ³
Virutas	n.d.	
Ruido	n.d.	
Desbarbado, desbaste y granallado:		
Cascarilla (material seco)	< 0.2 - 35 ² kg/t	

¹ Polvo emitido en el gas residual lavado

² Fuente de los datos: [Estudio CE].

³ Rango resultante de las fuentes [SIDMAR], [CITEPA] y [EUROFER HR].

⁴ [CITEPA] indica 1 - 10 mg/m ³ sin distinción de acero dulce o inoxidable

⁵ Fuente de los datos [EUROFER HR].

⁶ Ejemplos, eliminación: filtro de tejido, V= 2.5 y 7 Nm ³ /s

⁷ [Com HR]

Tabla A.3-1: Niveles de consumo y emisión en la preparación de la superficie

El polvo generado por el desbarbado contiene principalmente óxidos de hierro con algunas trazas de los elementos de aleación presentes en el acero. Los factores de emisiones de polvo varían significativamente, según si el descostrado se realiza de forma automática (30 - 60 g/t) o manual (3 g/t) [CITEPA].

Las muestras de composición del polvo del desbarbado emitido muestran los siguientes contenidos en metales: Cr 0,5 - 10 g/kg, Ni 1 - 5 g/kg, Mn 5 - 20 g/kg, Pb 1,7 - 2,3 g/kg, Cu 7,5 - 8,6 g/kg [Estudio CE].

Para el polvo recogido del desbaste y granallado del acero inoxidable se registran los siguientes contenidos: Cr 3 - 100 g/kg, Ni 6 - 20 g/kg, Mn 4 - 10 g/kg [Estudio CE].

A.3.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico

Consumo energético

Las acerías integradas intentan aprovechar al máximo los gases desprendidos dentro de la planta para su uso interno. Por ello, el gas de los altos hornos, el de los hornos de coque, el de los hornos BOF, el gas natural y muchas combinaciones distintas de estos gases (denominadas gases mixtos) se utilizan en hornos continuos. El consumo de energía de los hornos depende de varios parámetros como:

- El diseño del horno (de empuje, de balancín, etc.).
- Rendimiento y turnos (tiempo de funcionamiento) [Com UK].
- La longitud diseñada de zona de recuperación en el horno.
- El diseño de los quemadores.
- El uso de recuperadores o de un sistema de regeneración.
- La capacidad de producción del horno.
- La disposición de las zonas de calentamiento.
- La temperatura de carga del material.
- La temperatura de calentamiento y de carga.
- La precisión de la regulación térmica, y
- El grado de aislamiento del horno [EUROFER HR].

La Figura A.3-2 muestra el balance de energía de un horno de recalentar típico en forma de un diagrama de Sankey, sólo la mitad del aporte de energía es calor para recalentar el acero.

Polvo (partículas)

Debido a la naturaleza del combustible utilizado (gas de alto horno –GAH– previamente desempolvado, gas natural –GN– libre de polvo), las emisiones de polvo son bajas. Algunos datos muestran una media de 13 g de polvo por tonelada de acero laminado y una mediana de 8 g/t. Los valores de emisiones más elevados corresponden al uso de fuel oil [EUROFER HR], [Estudio CE].

NO_x

El nivel de emisiones de NO_x depende principalmente del tipo de combustible y del tipo y diseño del quemador, ya que por ejemplo los quemadores de techo emiten menos NO_x que los quemadores frontales o laterales. El uso de recuperadores o de un sistema de regeneración aumenta la eficiencia térmica del horno, pero puede producir asimismo una mayor concentración de NO_x (hasta 3500 mg/Nm³). En algunos países se permite un mayor nivel de NO_x para obtener temperaturas más elevadas de precalentamiento del aire. En los quemadores convencionales, las altas temperaturas de llama producen elevados niveles de emisiones de NO_x. Un valor típico de emisión de NO_x es 500 mg/Nm³ (gas natural, 3% O₂, aire de combustión a temperatura ambiente). El precalentamiento del aire de combustión (con sistemas de recuperación o regeneración) puede aumentar exponencialmente el nivel de Nox [EUROFER HR].

SO₂

El nivel de emisión de SO₂ depende del contenido de S del combustible disponible. Las emisiones informadas muestran una diferencia en los niveles de emisión entre el gas natural, el gas de planta y el fuel oil según el tipo de combustible. Los valores medios son 9,7 g SO₂/t para gas natural, 452 g SO₂/t para gas de planta (mezcla de gas del horno de coque y de alto horno) y 803 g SO₂/t para fuel oil [EUROFER HR], [Estudio CE].

Cascarilla

La cantidad de cascarilla generada en los hornos de recalentar depende de la temperatura de descarga, del material, de la regulación del aire de combustión, del tipo de combustible y del tiempo de ciclo. Es difícil hacer una clara diferenciación entre la cascarilla de horno y de laminación, ya que el material recalentado se descascarilla en la zona de laminación y ambos tipos de cascarilla se recogen juntos. El rango típico para cascarilla de horno es de 0.07 a 15 kg/t [EUROFER HR], [Com 1], [Com2 HR].

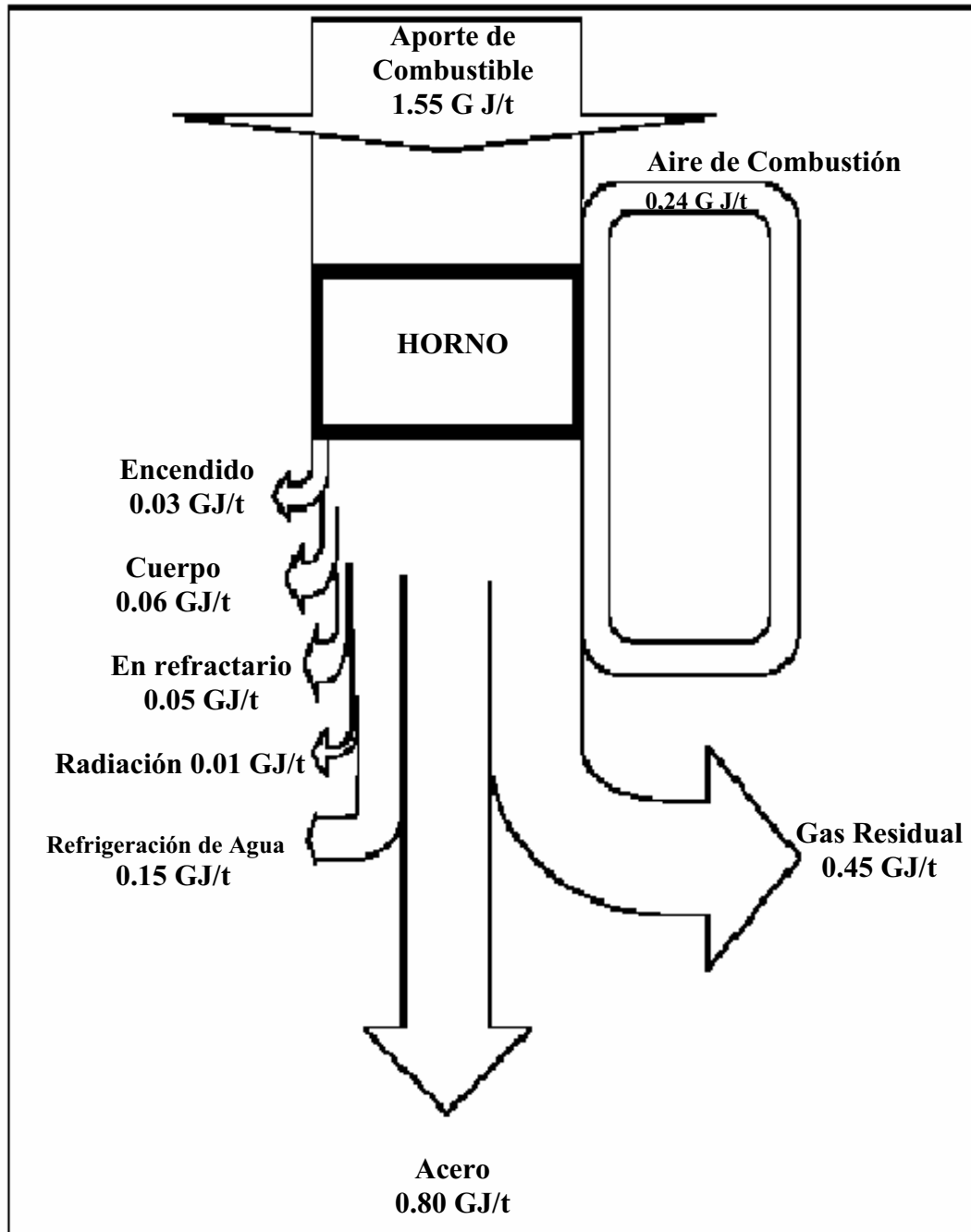


Figura A.3-2: Diagrama de Sankey de un horno de recalentar típico informe en [StTimes 6/93].

Entrada / Nivel de Consumo		
Energía	1.1 - 2.2 ^{6,10} GJ/t	
Agua de refrigeración (para los componentes del horno de recalentar)	Circuito cerrado Reciclada totalmente	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Polvo ¹	1 - 10 ^{6,8} g/t	4 - 20 ⁶ mg/Nm ³
NOx ^{2,3}	80 - 360 ⁶ g/t	200 – 700 ⁶ mg/Nm ³
Quemadores convencionales	2 - 600 ⁴ g/t	250 ¹¹ – 900 ⁵ mg/Nm ³
Quemador bajo en NOx	150 - 500 ⁴ g/t	
Quemador regenerativo	1000 - 4000 ⁴ g/t	
SO ₂ ³	0,3 - 600 ^{6,9} g/t	0,6 – 1300 ⁶ mg/Nm ³ 400 – 800 ⁵ mg/Nm ³
CO	5 - 850 ^{5,7} g/t	100 – 170 ⁵ mg/Nm ³
Hidrocarburos (para combustión de GAH + GN)	0 - 5 ^{5,7} g/t	
Cascarilla de horno	0,5 - 18 ⁴ kg/t	
Trenes reversibles de 4 cilindros	0,1 - 11 ⁴ kg/t	
Trenes de laminación en caliente	0,5 - 47 ⁴ kg/t	
Lamin. bloomings/palanquilla/perfiles gruesos	1 - 30 ⁴ kg/t	
Lamin. barras ligeras/medias y perfiles	0,3 - 20 ⁴ kg/t	
Laminadores de alambrón		
Residuos refractarios		

¹ [CITEPA]indica 200 – 1400 g de polvo/t para hornos continuos y 100 g/t para hornos Pit con combustión a fuel oil. Nota de precaución: puede no ser representativo.

² [Estudio CE] señala una media de 383 g/t para quemadores bajos en NOx, 1690 para quemadores regenerativos y 228 g/t para quemadores convencionales.

³ [CITEPA] señala 5 – 10 g/t para una mezcla de gas de alto horno y gas natural. Nota de precaución: puede no ser representativo.

⁴ Fuente de los datos [Estudio CE].

⁵ Referencia [CITEPA].

⁶ Fuente de los datos [EUROFER HR].

⁷ Nota de precaución: puede no ser representativo.

⁸ [DFIU98] indica 0,2 – 30 g/t

⁹ [DFIU98] indica 0,02 – 900 g/t

¹⁰ [ETSU-G76] señala un consumo de energía típico de 2,0 – 3,0 GJ/t, con un abanico de 0,7 – 6,5 GJ/t

¹¹ [Input-HR-1].

¹² [Vercaemst 30.3] indica 2,2 – 63 mg/Nm³

Tabla A.3-2: Niveles de consumo y emisiones para hornos de recalentar/ de tratamiento térmico

A.3.1.4 Descascarillado

Residuos

La cascarilla de laminación de las operaciones de descascarillado, después del horno de recalentar y entre pasadas del laminador, se compone principalmente de óxidos de hierro, como FeO y Fe₃O₄. Su composición exacta varía, según la calidad del acero laminado y del proceso de laminación, pero el contenido en hierro es normalmente del 70% aproximadamente (sobre la base del material sin aceite ni humedad). El análisis químico de las cascarillas de laminación muestra un contenido medio de hidrocarburos del 4,6 %, con un abanico de dispersión de 0,5 - 8,7 %. Un contenido elevado de hidrocarburos puede limitar el reciclaje [Estudio CE]. Las composiciones señaladas para lodos de cascarilla de laminación presentan rangos de 25 - 65 % para sólidos, 30 - 60 % de agua y 2 - 15 % para aceite [STuE-114-1].

Debido al uso de aceite de lubricación y grasa durante la laminación, la cascarilla de laminación está contaminada. El contenido de aceite depende de la ejecución del proceso, del equipo técnico y, especialmente, de la calidad del mantenimiento. Otro factor que influye sobre el contenido de aceite de la cascarilla de laminación es el tamaño de partícula. La porción de partículas muy finas de la cascarilla de laminación (que se denomina lodos de cascarilla de laminación) se compone de partículas más pequeñas de 63 µm, que tienden a absorber aceite [DFIU98].

El rango normal informado de cascarilla generada es 12,7 – 16 kg/t para cascarilla sin aceite y de 1,9 – 3,5 kg/t para cascarilla con aceite [EUROFER HR].

Agua residual

El agua del proceso utilizada para descascarillar directamente después del horno está normalmente libre de aceite. El agua del proceso utilizada para descascarillar dentro de la sección de laminación en caliente contiene aceite debido a pérdidas y debido al contacto con el equipo de laminación. Las dos corrientes de agua residual están normalmente mezcladas, lo que produce un caudal de agua residual con carga de cascarilla que contiene aceite. La mayor parte de la carga de cascarilla puede eliminarse en tanques de sedimentación y, debido a su contenido relativamente bajo en aceite, reciclarse al proceso metalúrgico.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua		
Tren de cogging (forjado para transformar lingote en billete con martillo o prensa de forja)	n.d. m ³ /t	0,1 – 0,12 ¹ m ³ /s
Antes del tren de acabado	n.d. m ³ /t	0,05 – 0,06 ¹ m ³ /s
Después del tren de acabado	n.d. m ³ /t	0,03 – 0,04 ¹ m ³ /s
Energía	n.d.	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Agua residual	n.d. m ³ /t	
Con cascarilla y aceite	n.d.	
Cascarilla sin aceite³:		
Laminadores reversibles de 4 cilindros	1,6 – 23 ² kg/t	
Laminadores en caliente de bandas	10 – 20 ² kg/t	
Lam. bloomings/palanquilla/perfiles gruesos	9 – 38 ² kg/t	
Lamin. de barras y perfiles finos/medios	3 – 60 ² kg/t	
Laminadores de alambrón	5 – 20 ² kg/t	
Cascarilla con aceite³:		
Laminadores reversibles de 4 cilindros	1 – 36 ² kg/t	
Laminadores en caliente de bandas	2,7 – 30 ² kg/t	
Lam. bloomings/palanquilla/perfiles gruesos	0,4 – 28 ² kg/t	
Lamin. de barras y perfiles finos/medios	0,5 – 20 ² kg/t	
Laminadores de alambrón	0 – 20 ² kg/t	
¹ Fuente [DFIU98].		
² Fuente [Estudio CE].		
³ Austria informa: Cascarilla gruesa 20 – 30 kg/t para productos planos, 5 – 10 kg/t para productos largos, lodos de cascarilla (cascarilla fina) del grupo de acabado 3 – 15 kg/t [Com A]		

Tabla A.3-3: Niveles de consumo y emisiones para el descascarillado

A.3.1.5 Laminación en caliente

La demanda **energética** de los rodillos motorizados depende del grado de deformación, de la temperatura de la pieza de trabajo y de la dureza del material. La energía se utiliza en forma de electricidad.

El **consumo de agua** y su evacuación dependen del diseño del flujo de agua (gestión de agua). Puede conseguirse una evacuación de agua de casi 0 m³/t mediante el uso de circuitos cerrados. Los circuitos cerrados tienen caudales de evacuación típicos de 11 m³/t como máximo, mientras que los sistemas abiertos (sin recirculación) tienen un gasto típico de 11 – 22 m³/t.

Las **emisiones a la atmósfera** son polvo, originado en los trenes de laminación y en la producción de bandas en las líneas de manipulación de bobinas. Las emisiones fugitivas de aceite se originan en los trenes de laminación (lubricación de los rodillos de trabajo). La cantidad de emisiones de la laminación en caliente depende en gran medida de la velocidad de laminación y de la superficie del producto a laminar.

Entrada / Nivel de Consumo		
Aceite de laminación y lubricación		
Agua	1 – 15,5 ^{2,3} m ³ /s	
Energía		
Energía de deformación	72 - 140 ^{2,4} kWh/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Partículas (óxidos, polvo)		
Trenes de laminación	2 – 40 ¹ g/t	2 – 50 ² mg/m ³
Líneas de manipulación de bobinas		≈ 50 ² mg/m ³
Polvo en filtros (recogido de los trenes de laminación)	100 – 7600 ¹ g/t	
Emisiones fugitivas de aceite ⁵	despreciables	
Aguas residuales: (con sólidos en suspensión, aceite...)	0,8 – 15,3 ² m ³ /t	
Lodos del tratamiento de las aguas residuales		
Subproductos metálicos: recortes, piezas rechazadas de laminación, escombros, etc.	70 – 150 ⁶ kg/t	

¹ Fuente [Estudio CE].

² Fuente de los datos [EUROFER HR].

³ [Estudio CE] indica hasta 22 m³/t

⁴ Extremo superior del rango informado por [Com I].

⁵ Generado dentro de tren de laminación, notable sólo en las proximidades de la fuente de emisión y por tanto no significativo en cuanto a emisiones a la atmósfera [EUROFER HR].

⁶ Fuente [Com A]

Tabla A.3-4: Niveles de consumo y emisiones para la laminación en caliente

A.3.1.6 Taller de rodillos

- No hay datos disponibles.

A.3.1.7 Aceite, grasa y aceite hidráulico

El aceite y las grasas utilizadas para lubricación y el aceite hidráulico producen aguas residuales y residuos con aceite. Una gran parte del aceite/grasa es sacado del sistema por el producto, por la cascarilla de laminación, por el agua residual o por las emisiones a la atmósfera. Un total estimado de 300 g/t de productos planos y de 100 - 800 g/t de productos largos se emite a la atmósfera en forma de hidrocarburos por efecto de la evaporación, por ejemplo en contacto con la superficie metálica caliente. La Figura A.3-3 muestra un ejemplo del flujo de aceite y grasa en una acería [DFIU 96].

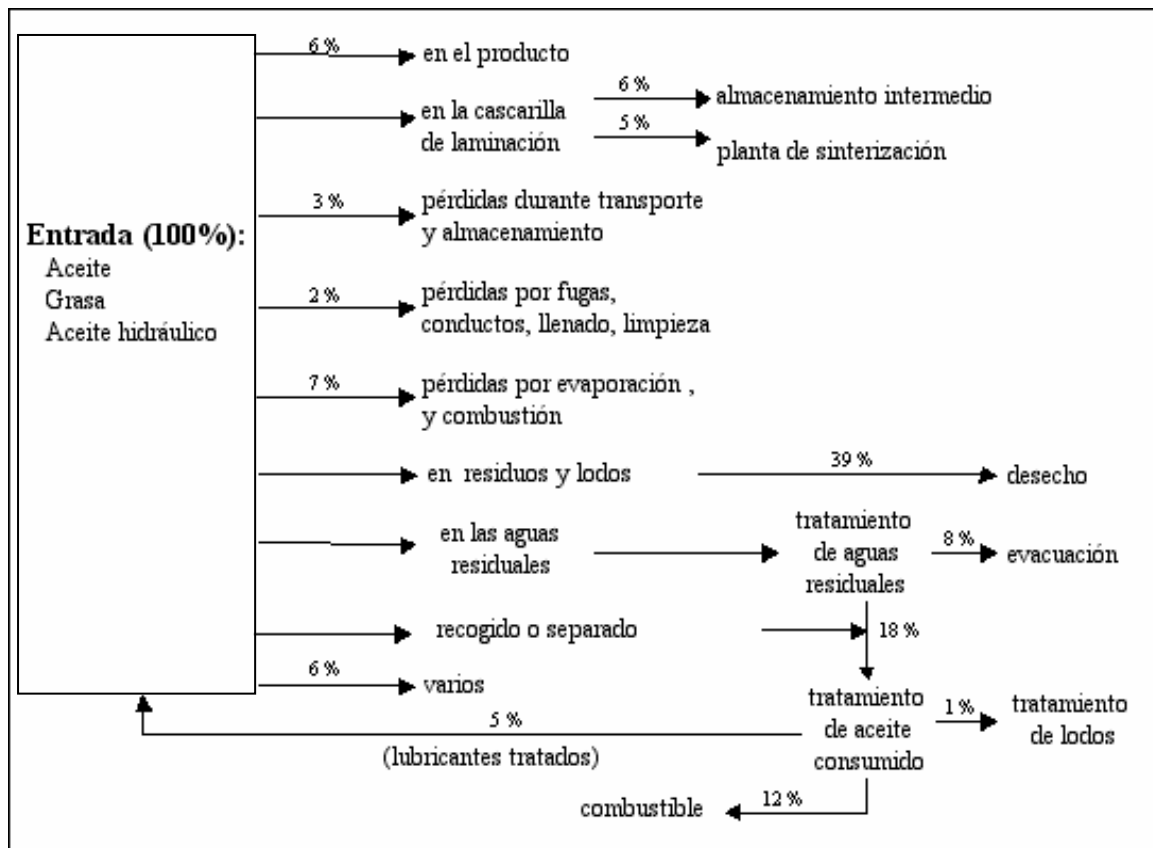


Figura A.3-3: Balance de aceite y grasa de una acería normal, según se indica en [DFIU 96].

A.3.1.8 Planta de tratamiento de aguas residuales de laminación en caliente

El tipo y la cantidad de agua a tratar depende básicamente del diseño de la planta de tratamiento de agua y de las medidas de tratamiento aplicadas (ej: aplicación de agentes floculantes o ácidos). La calidad del agua que entra y el consumo específico de agua también influyen.

Las aguas residuales de la eliminación de cascarilla y enjuague de los conductos contiene, aparte de cascarilla gruesa, sólidos en suspensión y aceite emulsionado. Se utilizan grandes cantidades de agua para la refrigeración de los rodillos y del material, que también contienen aceite y sólidos en suspensión. Las concentraciones de sólidos oscilan entre 120 y 2000 mg/l (otros informan de valores de 50 a 1000 mg/l [DFIU98]); el contenido de aceite es de 10 a 200 mg/l según el tipo de planta de laminación [EC Haskoning].

La cantidad de agua evacuada de los trenes de laminación en caliente se encuentra entre 0 y 22 m³/t, cifra que incluye las unidades de refrigeración sin recirculación. Excluyendo las unidades de refrigeración sin recirculación, la evacuación específica máxima de agua es inferior a 11 m³/t. Los sistemas de refrigeración sin recirculación no se utilizan en las plantas de diseño más moderno.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua de Proceso		
Agentes floculantes		
Otros		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Agua evacuada:		
Total sólidos en suspensión (TSS)	20 – 1065 ¹ g/t	5 – 100 ^{1,3} mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	22 – 65 ^{1,5} g/t	18 – 43 ^{1,4} mg/l
Contenido en hidrocarburos	1 – 3 ² g/t	0,2 – 10 ¹ mg/l
Cu		0.009 - 0.26 ^{2,6} mg/l
Zn		0.004 - 0.35 ² mg/l
Cd		< 0.05 ⁶ mg/l
Al		0.04 - 0.14 ² mg/l
Pb		< 0.1 ^{2,6} mg/l
Cr		< 0.18 ⁶ mg/l
Cr ⁶⁺		0.01 mg/l
Mn		0.04 - 0.26 ² mg/l
Fe		0.3 - 2.0 ² mg/l
Ni		0.01 - 2.0 ^{2,6} mg/l
Hg		< 0.01 mg/l
Cloro libre		0.1 - 0.5 ² mg/l
Otros parámetros:		
pH	7 – 8,5 ¹	
Temperatura	11 – 30 °C ¹	

¹ Fuente de los datos [EUROFER HR].

² Fuente de los datos [EUROFER HR].

³ [Estudio CE] indica un valor extremo de 200 mg/l

⁴ [Estudio CE] indica un rango normal de hasta 80 mg/l, con dos cifras extremas: 200 y 450 mg/l

⁵ Los datos señalados por [Estudio CE] son de 300, 800 g/t e incluso más

⁶ Fuente de los datos [Estudio CE]

Tabla A.3-5: Niveles de consumo y emisiones de la planta de tratamiento de agua

A.3.1.9 Residuos y reciclaje

Además de la información sobre generación de residuos para los subprocesos individuales, la Tabla A.3-6 presenta un resumen general de los residuos generados en total por las operaciones de laminación en caliente y de sus potenciales de uso. Se ha tomado como referencia la planta de laminación en caliente en su conjunto, porque una clara distinción de las fuentes de residuos y la atribución de cantidades concretas de residuos a los procesos individuales es imposible en algunos casos.

Tipo de residuo o subproducto/Fuente	Masa Específica Media [kg/t]	Residuos notificados ¹ [t]. (producción de acero) ²	Utilización	Porcentaje ²
Cascarilla (del desbarbado, desbaste, granallado)	3,5	77.900 (22 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁴ Vertedero	95,9 3,4 0,7
Cascarilla del horno de recalentar	4	128.000 (44,7 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁴ Uso externo ⁵ Vendida ⁵ Vertedero	37,6 13,4 9,7 29,0 10,3
Cascarilla de laminación libre de aceite	14,1	517.000 (36,8 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁴ Uso externo ⁵ Vendida ⁵ Vertedero	74,8 3,6 15,1 2,9 3,6
Cascarilla de laminación con aceite	11,2	692.800 (61,7 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁴ Uso externo ⁵ Vendida ⁵ Vertedero	81,6 1,6 1,5 9,7 5,6
Polvo y lodos de los dispositivos de limpieza de aire, productos planos	0,23	2.363 (10,2 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁵ Vertedero	94,8 0,8 4,4
Polvo y lodos de los dispositivos de limpieza de aire, productos largos	0,71	2.492 (10,2 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁴ Vertedero	16,8 24,5 58,7
Lodos del tratamiento de las aguas residuales	3,4	161.000 (11 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁶ Vendida ⁵ Vertedero	7,7 25,3 7,6 59,4
Materiales refractarios desmontados	0,5	21.900 (46 Mt)	Planta reciclaje Uso externo ⁷ Vendida ⁵ Vertedero	6,0 7,7 13,8 72,5
Nota: Datos basados en [Estudio CE]; las cifras facilitadas son en base a peso seco. ¹ Presentado en respuesta a un cuestionario de la UE. ² Producción de acero de las empresas que facilitaron información sobre utilización. ³ El porcentaje hace referencia al peso informado / cuestionarios contestados. ⁴ Reportado por plantas no integradas, reciclaje en otras acerías. ⁵ No hay indicación de uso ulterior. ⁶ Alrededor de un cuarto se recicla en otras acerías. ⁷ Principalmente en plantas con materiales refractarios.				

Tabla A.3-6: Residuos generados en plantas de laminación en caliente e índices de utilización

A.3.1.10 Aspectos del ruido en la laminación en caliente

El ruido excesivo en la laminación en caliente es principalmente un aspecto interno de salud laboral, tomándose precauciones normalmente para proteger a los empleados cuando no se puede prevenir o reducir el ruido en su origen. En algunos casos, según el lugar de emplazamiento del proceso (por ejemplo, cerca de una zona residencial) y las características del ruido (el ruido intermitente, con impactos y/o de alta frecuencia es causa de quejas con mayor asiduidad que el ruido continuo de baja frecuencia), puede haber motivo de preocupación exterior, aunque esto depende del nivel de ruido de fondo y de otras fuentes de ruido próximas.

Las fuentes de ruido más significativas en el proceso de laminación en caliente están asociadas con la manipulación de los productos. Otras fuentes, como el descascarillado a alta presión, los ventiladores de extracción del horno de recalentar y el aserrado en caliente / frío pueden también ser significativas. Los principales aspectos relacionados con la manipulación de los productos están asociados con el ruido de impacto de los tubos de gran diámetro y el movimiento de planchas gruesas, por ejemplo. Los bancos de enfriamiento de perfiles pueden ser una fuente de altos niveles de ruido, ya que los productos se mueven durante el enfriamiento. El descascarillado a alta presión (en algunos casos superior a 250 bar) es otra fuente de ruido intermitente. Los ventiladores de extracción de los hornos de recalentamiento funcionan continuamente pero pueden ser de velocidad variable y por consiguiente causan ruido de frecuencia y nivel variable. Los productos largos, como los perfiles o rieles, se cortan a medida en línea o fuera de línea, con sierras en caliente o en frío. La acción / fricción de corte genera ruido de alta frecuencia. Este puede ser a la vez intermitente y de alta frecuencia. Los niveles absolutos de ruido (en decibelios) son específicos de cada equipo / planta, pero pueden superar los 85 dBA.

Por lo que respecta a la manipulación de productos, el principal método para reducir el ruido es idear procedimientos operativos para minimizar la cantidad de contacto entre los productos y el equipo de manipulación de productos como los patines del banco de enfriamiento. La mayoría de las demás fuentes de ruido están normalmente dentro de naves, por lo que el nivel de ruido se modera a un nivel aceptable. En caso de problemas locales específicos, pueden ser necesarias medidas adicionales como la construcción de un recinto aislante y/o el aislamiento de la nave, pero éstas pueden ser extremadamente caras y normalmente no se consideran necesarias.

A.3.1.11 Puesta en servicio y parada

Los efectos medioambientales de la puesta en servicio o de la parada en las plantas de laminación en caliente no son importantes por lo general. Existen algunas instalaciones (ej: purga de N₂ en hornos de recalentar) para garantizar la seguridad durante la puesta en servicio o la parada, o para permitir el mantenimiento de las instalaciones.

A.3.2 Plantas de laminación en frío

A.3.2.1 Visión general del flujo de materia

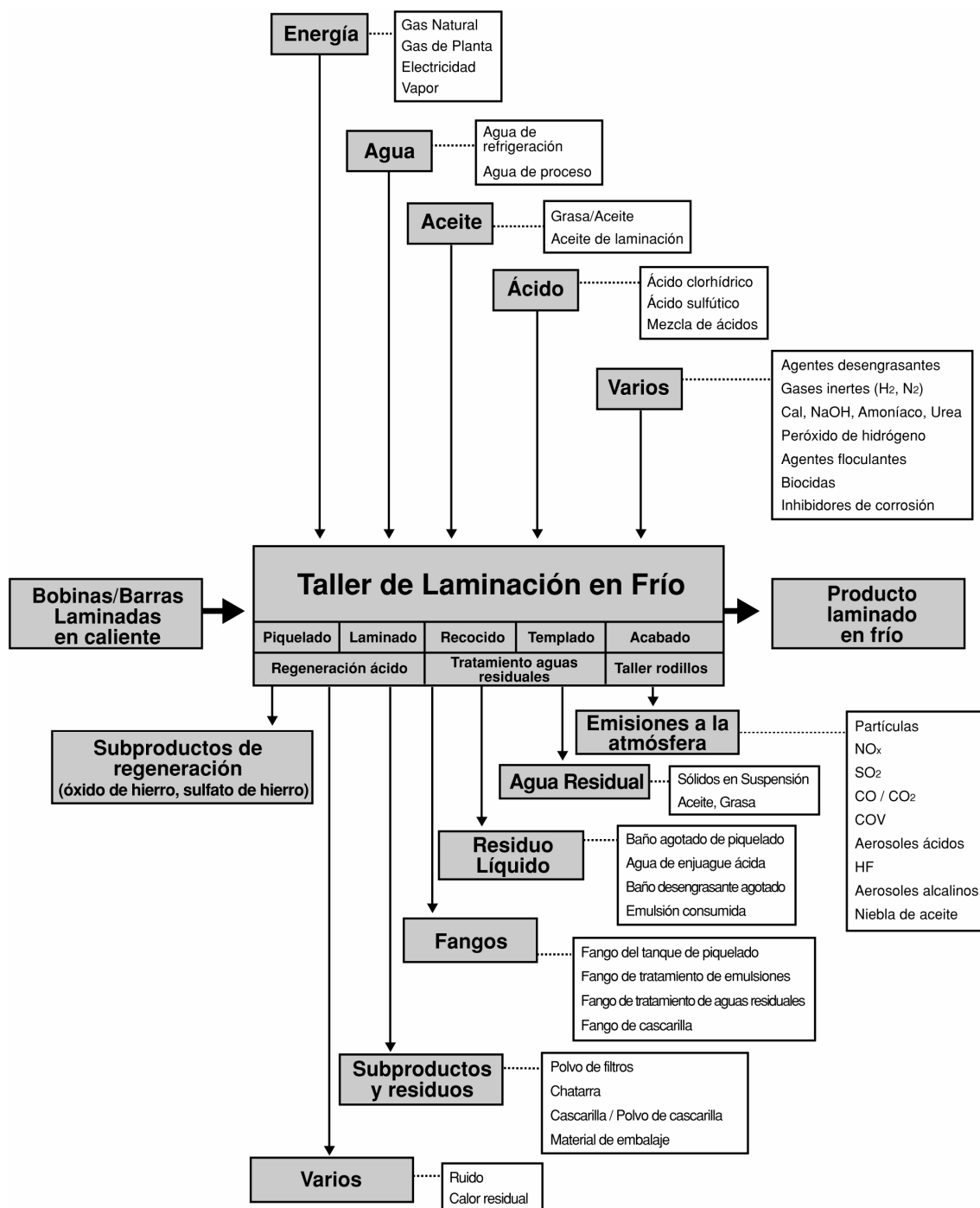


Figura A.3-4: Esquema general de entrada/salida de material para plantas de laminación en frío

Los siguientes capítulos presentan datos específicos de entrada y consumo de material, así como datos específicos de salida y consumo para los pasos operativos asociados con la fabricación de productos laminados en frío.

A.3.2.2 Decapado del acero de baja aleación, aleado y de alta aleación

Los ácidos clorhídrico, sulfúrico y, para acero inoxidable, una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico, se utilizan como agentes de decapado. El consumo de ácido varía evidentemente según si se regenera el ácido o no. También depende del área específica decapada y del espesor de la capa de óxido [EUROFER CR].

El consumo de aceite anticorrosivo depende del porcentaje de productos engrasados, de la máquina de engrase utilizada (engrase electrostático o boquillas atomizadoras) y del peso de aceite requerido por el cliente [EUROFER CR].

Se requiere energía en forma de vapor para calentar el baño de decapado, así como energía eléctrica para las transmisiones, bombas, etc., y como energía calórica (gas natural o gas licuado de petróleo –GLP–) para el proceso de regeneración (HCl). Algunas plantas no regeneran el ácido ni subcontratan la regeneración, lo que en ambos casos puede producir un menor consumo energético. No obstante, en estas plantas el ácido fresco debe ser calentado a la temperatura de trabajo [EUROFER CR].

Además, para el proceso de acero de alta aleación, se requiere granalla (para la granalladora) para el decapado mecánico de las bandas de laminación en caliente. Como medida de reducción de NO_x, o se añade peróxido de hidrógeno al baño de decapado para inhibir la formación de NO_x durante el decapado, o se requiere amoníaco o urea para instalaciones de laminación de acero en frío [EUROFER CR].

Se utiliza agua para el enjuague tras el decapado y para preparar los baños de decapado. Durante el decapado se crean tres tipos de agua de proceso. Estos son el agua utilizada para enjuague, los baños de decapado usados y otras aguas (como el agua de los absorbedores de vapores del sistema de aspiración del tanque de decapado y el agua de enjuague de limpieza de la planta). El principal volumen de aguas residuales se deriva del enjuague, mientras que la principal carga de contaminación procede del cambio continuo o discontinuo de los baños de decapado [EUROFER CR].

Un objetivo primario debe ser la reducción del volumen de aguas residuales y la minimización de la carga contaminante de los caudales residuales mediante la optimización del proceso de decapado. El volumen de aguas residuales puede reducirse mediante regeneración y reciclaje de los ácidos. Algunas plantas venden el ácido de decapado usado para su uso externo, ej. en el tratamiento de aguas. Las aguas residuales ácidas, por ejemplo de la sección de enjuague del lavado de vapores, que no pueden ser utilizadas en otros procesos de la instalación deberán ser tratadas/neutralizadas antes de su evacuación. No obstante, la neutralización requiere utilizar productos químicos adicionales, como cal, NaOH o mezclas de electrolitos.

Durante las operaciones de decapado se genera chatarra, polvo de cascarilla y lodos en el tanque de decapado. De la regeneración del ácido se obtiene de 0,05 a 15 kg de lodos (ref. material seco), con una media de 4,2 kg/t. Los lodos tienen un contenido en hierro del 55 – 66% y, en caso de proceso de acero inoxidable, 5 - 10 % de Cr y 3 - 5 % de Ni [Estudio CE].

Los subproductos generados por la regeneración del ácido son óxidos o sulfatos de hierro. El rendimiento medio de óxido férrico de la regeneración es de 5,5 kg/t. El contenido en Fe₂O₃ de los subproductos es normalmente > 99% con concentraciones bajas de otros metales, como Al < 0.1 %; Pb, Cu < 0.03 %; Cr, Ni < 0.02 % y Zn < 0.01 %. El contenido en cloruros está entre el 0,1 y el 0,2%.

La producción de sulfato férrico está entre 2,5 y 25 kg/t, con una media de 17 kg/t. Menos del 0,1 % de la producción se desecha en vertederos, ya que el producto puede ser vendido para uso externo, como por ejemplo a la industria química o de tratamiento de aguas [Estudio CE].

Las emisiones a la atmósfera generadas por el decapado con ácidos dependen en parte del ácido utilizado para el decapado, y son:

- Vapores de ácido de los tanques de decapado (HCl, H₂SO₄), emitidos por la chimenea de salida del absorbedor de vapores del tanque de decapado y de la chimenea de salida de gas de la planta de regeneración de ácido.
- En el caso de decapado mixto: NO_x, HF.

- Polvo, NO_x, SO_x, H₂SO₄, HCl de la planta de regeneración.
- Emisiones gaseosas de las instalaciones de almacenamiento [EUROFER CR].

Cuando se aplica un pre-decapado para calidades de acero inoxidable mediante decapado electrolítico con sulfato sódico, pueden producirse aguas residuales y residuos (lodos) que contengan cromo.

Muchas líneas de decapado modernas funcionan en combinación con plantas de regeneración. Por consiguiente, algunos de los datos de consumos y emisiones presentados para el proceso individual de decapado en los siguientes capítulos incluyen el proceso de regeneración. Se ha hecho una distinción cuando ha sido posible. Los datos detallados de consumo y emisiones para la planta de regeneración y la limpieza del gas extraído de los tanques de decapado se facilitan en los capítulos correspondientes de las técnicas a considerar para la determinación de las Mejores Técnicas Disponibles.

A.3.2.2.1 Línea de decapado con ácido clorhídrico y planta de regeneración

La regeneración de la solución de decapado se realiza in situ o externamente. La Figura A.3-5 muestra el flujo de material de una línea de decapado con HCl en conjunción con regeneración de ácido.

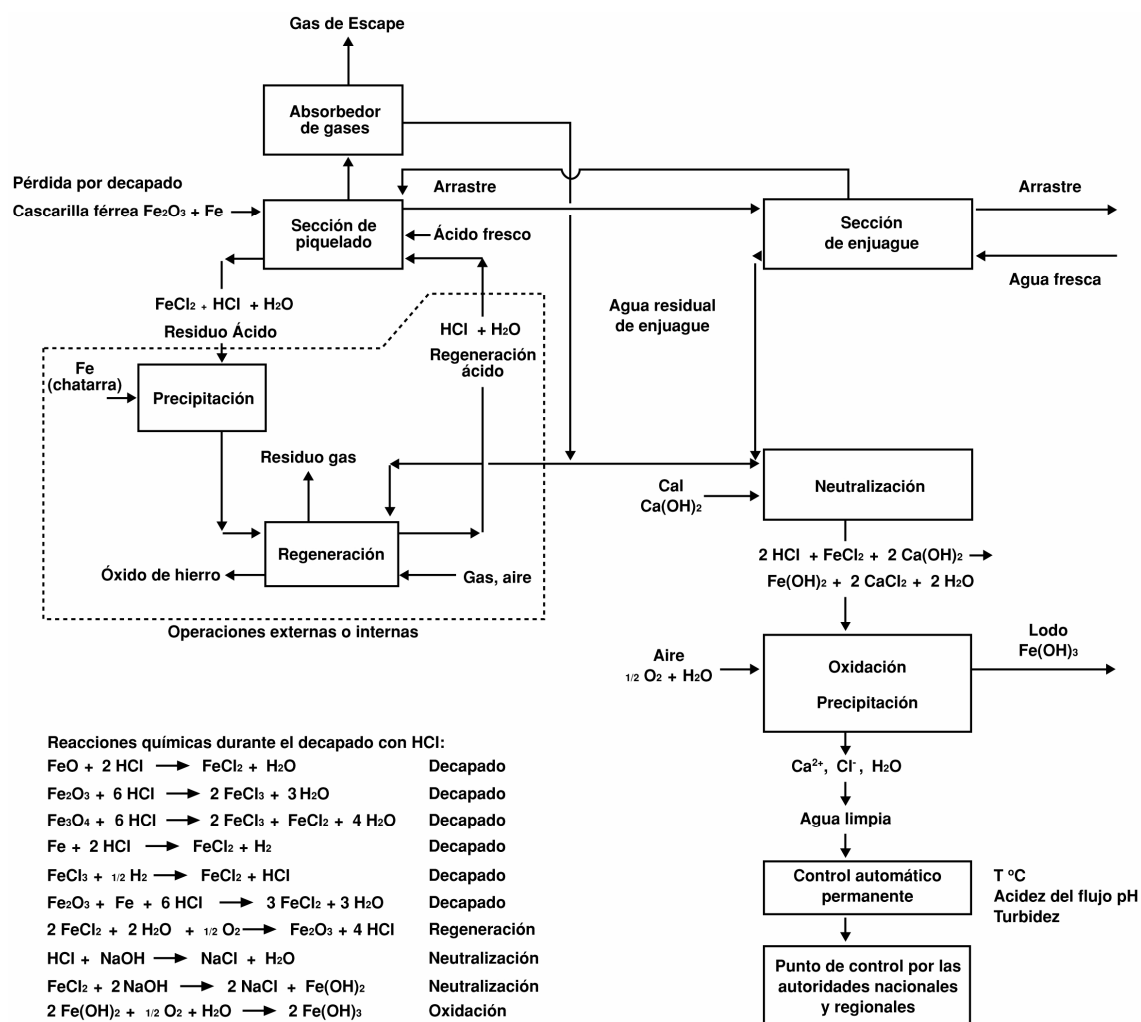


Figura A.3-5: Diagrama de flujo del decapado con HCl y regeneración del ácido. [EUROFER CR].

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas laminadas en caliente	1,01 – 1,05 t/t	
Agente de decapado:		
HCl (33%) sin regeneración	0,7 – 0,9 ¹	kg/t
HCl (33%) con regeneración	12 – 17,5	kg/t
Aceites anticorrosivos	0,1 – 0,2	kg/t
Energía: Vapor para el calentamiento del baño	0,03 – 0,07	GJ/t
Energía eléctrica	0,015 – 0,08	GJ/t
Energía calórica	0,04 – 0,1	GJ/t
Agua industrial y desmineralizada	0,02 – 0,13	m ³ /t
Agua de refrigeración	0,5 – 0,8	m ³ /t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas residual	35 – 100 m ³ /t	
Aire residual	50 – 400 m ³ /t	
Gas de la regeneración de ácido (Polvo, SO ₂ , NO _x , CO/CO ₂ , HCl, Cl)	24 – 38 m ³ /t	
Gas de los tanques de decapado	24 – 400 m ³ /t	
Polvo ²	n.d.	< 5 – 20 mg/m ³
HCl ³	0,258 g/t	1 - 30 mg/m ³
HCl (20%) reciclado	23 – 40 kg/t	
Agua residual ⁴	0,025 – 0,07 m ³ /t	
Solución de decapado utilizada		
Aglutinado de lodo	0,043 – 1,2 kg/t	
Lodos del tanque de decapado		
Residuos contaminados por aceite		
Oxido férrico (Fe₂O₃)	4 – 12 ⁵ kg/t	
Polvo de cascarilla (recogido por el sistema de eliminación de polvo)		
Chatarra de cabezas/colas de las bandas	30 kg/t	
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR]; Producción: 300000 – 2500000 t/a		
¹ Alemania informa de un consumo de HCl bajo, de hasta 0,01 kg/t, para líneas de decapado de circuito cerrado [Com D].		
² [EUROFER CR] señala 10 – 20 mg/Nm ³ , [Corus 31.8] señala < 5 mg/Nm ³ ,		
³ [EUROFER CR] indica niveles de emisiones de 10 – 20 mg/Nm ³ , [Estudio CE] 1 - 145 mg/m ³ y 2 - 16 g/t y [EPA-453] niveles alcanzados de 2.7 – 3.5 mg/m ³ [EUROFER 6.9] indica un nivel superior de 30 mg/Nm ³ si se incluyen mediciones continuas.		
⁴ En algunos casos no hay regeneración de ácidos, sino reducción libre de ácidos con chatarra, el FeCl ₂ (baño usado): 19.4 kg/t, se vende para uso externo.		
⁵ Fuente de los datos [Estudio CE]		

Tabla A.3-7: Niveles de consumos y emisiones para plantas de decapado con HCl (incl. regeneración)

El agua de enjuague ácida de la planta de decapado puede usarse como agua de lavado de gases y como agua de proceso en la planta de regeneración. En caso de que el agua ácida no sea reutilizada total o parcialmente como agua de proceso, se neutraliza con cal o NaOH en la planta de neutralización antes de su evacuación. Los lodos son deshidratados en prensas de filtro y luego son desechados. Las entradas y salidas de los procesos de neutralización, sedimentación y filtración, así como la concentración de los contaminantes evacuados, se indican en la Tabla A.3-8.

Aunque el agua residual ácida del lavado de gases y otras aguas residuales ácidas son a menudo neutralizadas y se desechan los lodos, existen procesos que permiten el reciclaje de estos caudales de aguas residuales. Para el decapado con ácido clorhídrico se indicó la posibilidad de conseguir un funcionamiento prácticamente sin aguas residuales.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua residual bruta	0,025 – 0,07	m ³ /t
Ca (OH) ₂ (95%)	0,272 – 0,525	m ³ /t
Mezcla de electrolitos	0,22	g/t
Aire	0,259	m ³ /t
Energía (eléctrica)	1	MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
Emisiones Específicas		
Aglutinado de lodo	0,043 – 1,2	kg/t
Aguas residuales	0,025 – 0,07	m ³ /t
Sólidos en suspensión	2,86	g/t
Fe total	0,114	g/t

Nota: Fuente de datos [EUROFER CR].
¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del constituyente.

Tabla A.3-8: Niveles de consumos y emisiones del tratamiento de aguas residuales en plantas de decapado con HCl

A.3.2.2.2 Línea de decapado con ácido sulfúrico y planta de regeneración

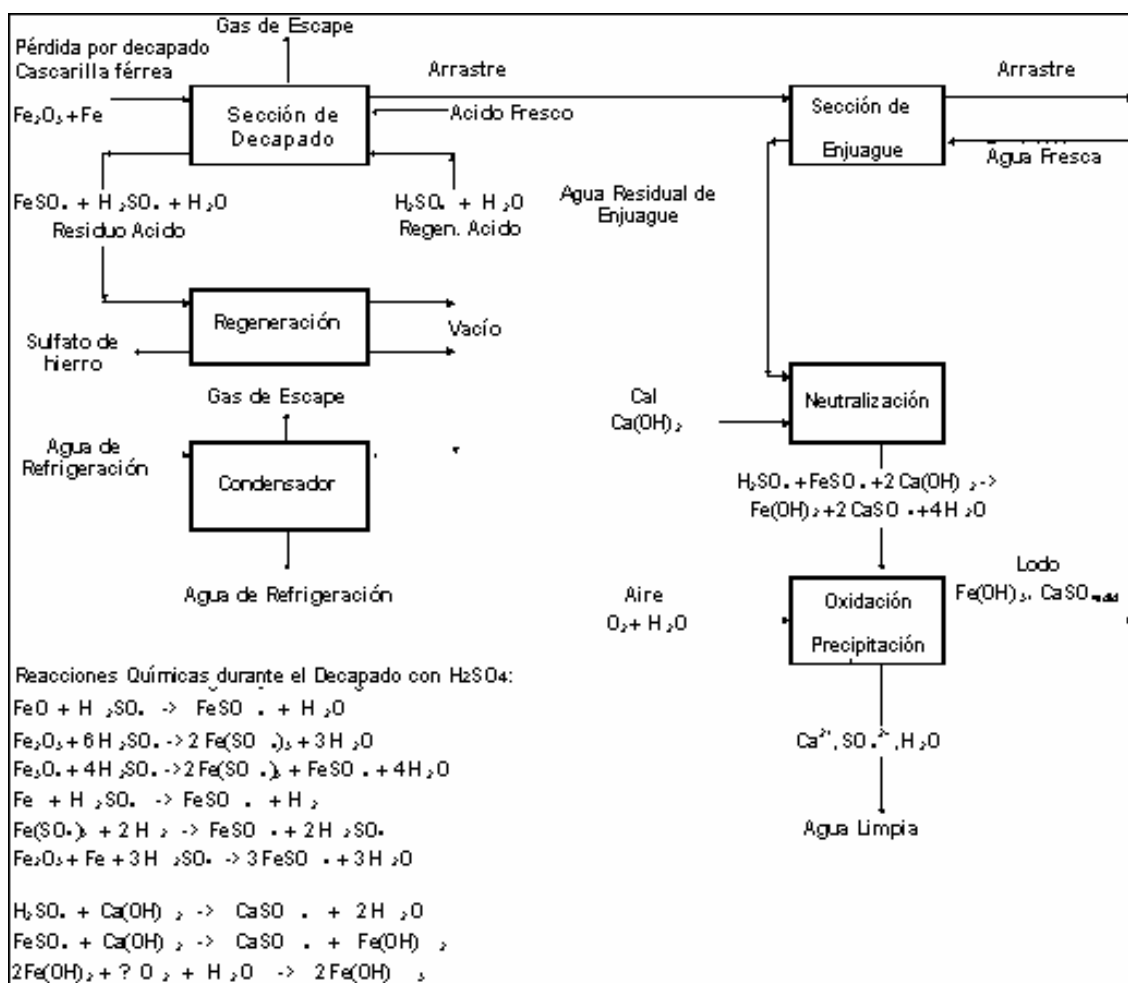


Figura A.3-6: Diagrama de flujo para el decapado con H₂SO₄ y regeneración [EUROFER CR].

La regeneración de la solución de decapado se realiza in situ o externamente. La Figura A.3-6 muestra el flujo de material para una línea de decapado con H₂SO₄ con regeneración del ácido.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas laminadas en caliente	1,03 – 1,06	t/t
Agente de decapado: ácido sulfúrico 96%	7 – 10	kg/t
Agua de refrigeración	3,84	m ³ /t
Aceites anticorrosivos¹	0,15 – 0,3	kg/t
Energía:		
Energía calórica/vapor para calentar el baño	0,05 – 0,1	GJ/t
Energía eléctrica para las transmisiones	0,02 – 0,05	GJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
FeSO₄-heptahidrato (de la regeneración)	26 – 30 kg/t	
Acido reciclado (H ₂ SO ₄ 20%)	0 – 10 kg/t	
Gas residual	100 – 150 m ³ /t	
Gas de los tanques de decapado	50 – 110 m ³ /t	
H ₂ SO ₄	0,05 – 0,1 g/t	1 – 2 mg/m ³
SO ₂	0,4 – 1 g/t	8 – 20 mg/m ³
Gas de la regeneración de ácido (SO ₂ , H ₂ SO ₄)	70 – 90 m ³ /t	
Aguas residuales	0,2 – 0,5 m ³ /t	
Residuos contaminados por aceite	4 – 8 E – 5 m ³ /t	
Aglutinado de lodo²	0,06 – 0,2 kg/t	
Polvo de cascarilla (recogido por el sistema de eliminación de polvo)		
Chatarra (del recortado y de cabezas/colas de las bobinas)	37 – 45 kg/t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR]; Producción: 900000 – 1500000 t/a		
¹ A veces aceite de laminación		
² residuos = polvo + lodos		

Tabla A.3-9: Niveles de consumos y emisiones para plantas de decapado con H₂SO₄ (incl. regeneración)

En caso de que el agua de refrigeración del condensador (regeneración de ácido) y el agua de enjuague ácida de la planta de decapado deban ser evacuadas, se neutralizan generalmente con cal o NaOH. Los lodos son deshidratados en prensas de filtro y luego se desechan. Las entradas y salidas de los procesos de neutralización, sedimentación y filtración, así como la concentración de los contaminantes evacuados, se indican en la Tabla A.3-10.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua residual bruta	0,315	m ³ /t
Ca (OH)₂		m ³ /t
Mezcla de electrolitos		g/t
Aire		m ³ /t
Energía (eléctrica)	1	MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	
Aglutinado de lodo		kg/t
Agua residual	0,315	m ³ /t
Sólidos en suspensión	16 – 20	g/t
Fe total	0,3 – 0,5	g/t
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR].		
¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del constituyente.		

Tabla A.3-10: Niveles de consumos y emisiones del tratamiento de aguas residuales en plantas de decapado con H₂SO₄

A.3.2.2.3 Línea de decapado con mezcla de ácidos ($\text{HNO}_3\text{-HF}$) y recuperación de ácidos

La Figura A.3-7 muestra el diagrama de flujo de material de una instalación de decapado con mezcla de ácidos, en conjunción con la recuperación de ácidos.

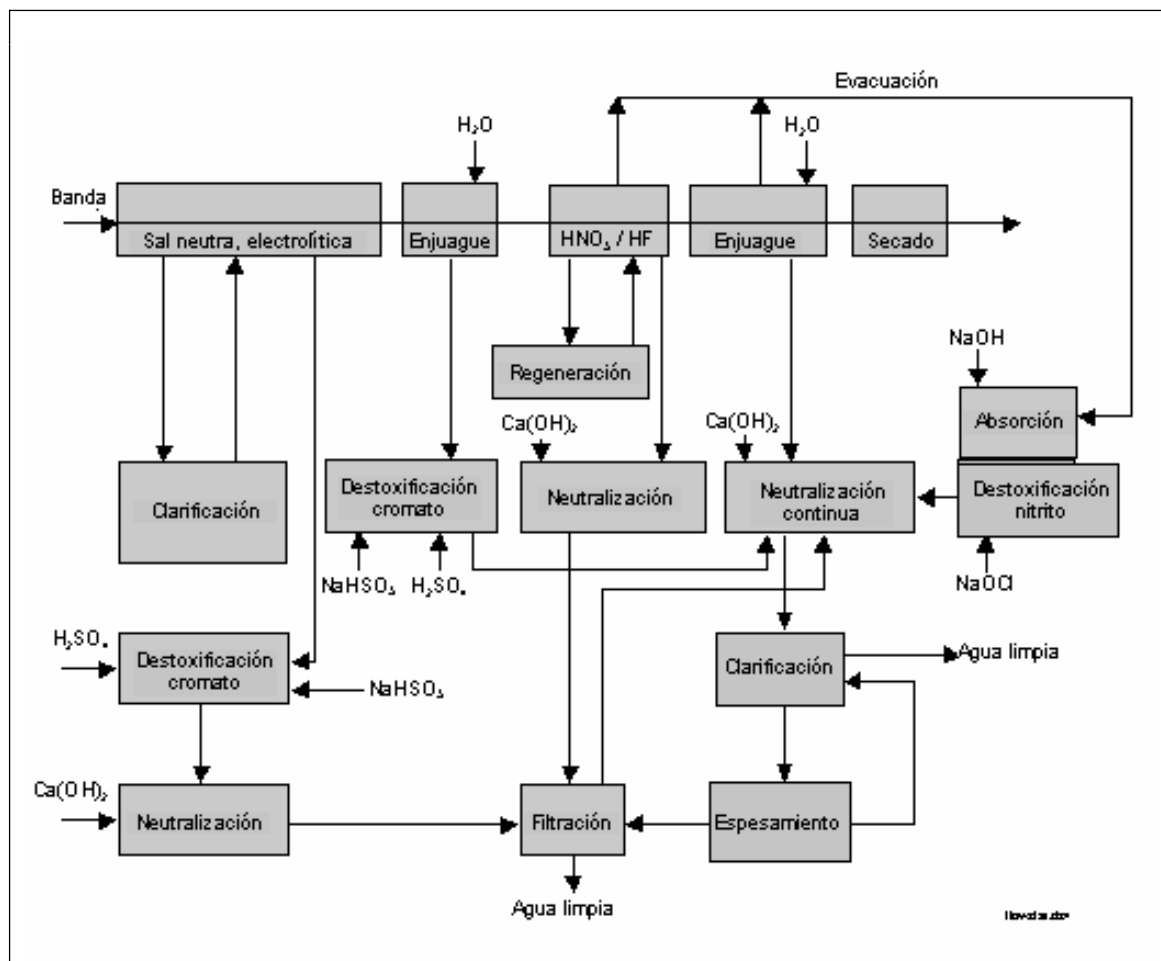


Figura A.3-7: Diagrama de flujo del decapado de acero inoxidable con mezcla de ácidos HNO_3 -HF (incl. recuperación)
[DFIU98].

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas recocidas		
Granalla ¹		1,5 – 3 kg/t
Acido nítrico (HNO ₃ 70%)		3 – 10 kg/t
Acido fluorhídrico (HF 70%)		2,5 – 7,5 kg/t
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂ 35%)		3 – 10 kg/t
Agua		
Energía: vapor (calentamiento del ácido)		0,1 – 0,3 GJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Oxidos metálicos y/o partículas de cascarilla, fragmentos de granalla		
Gas del descascarillado mecánico	50 – 450 m ³ /t	
Polvo	10 – 20 g/t	< 1 – 25 ² mg/Nm ³
Cascarilla		
Baño de decapado utilizado/mezcla de ácidos		
Lodos		
Lodos del tratamiento con ácido		
Gas de la planta de decapado: ^a		
	HF	0,2 – 3,4 g/t
	NO _x	3 – 4000 g/t
	SO ₂	1 g/t
		0,2 – 17 ³ mg/m ³
		3 – (~1000) mg/m ³
		1 – 10 mg/m ³
Aguas residuales ⁴	1,0 – 9,0 m ³ /t	
Agua de neutralización (metales, sólidos en suspensión)		
Emisiones gaseosas del almacenamiento		
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE].		
¹ El granallado se usa sólo para bandas laminadas en caliente (decapado I).		
² 15 – 25 mg/Nm ³ , fuente[EUROFER CR]; < 1 – 4,5 mg/Nm ³ , fuente [FIN 28.3].		
³ Rango indicado por [EUROFER CR] 350 – 600 mg/Nm ³ con aplicación de inyección de peróxido de hidrógeno y absorbedor de extracción de vapores del tanque de decapado.		
⁴ Evacuada al tratamiento de efluentes.		

Tabla A.3-11: Niveles de consumos y emisiones de plantas de decapado con mezcla de ácidos y recuperación

A.3.2.3 Laminación en frío

A.3.2.3.1 Acero de baja aleación

Laminador tándem

El aceite de laminación (incluidos los adhesivos requeridos) y agua desmineralizada o equivalente se utilizan para preparar la emulsión de laminado. Los aceites básicos son generalmente fracciones de aceites minerales nafténicos y parafínicos o aceites grasos vegetales. Para crear una emulsión de aceite en agua, se añaden emulsores aniónicos y no iónicos. La concentración de aceite en la emulsión puede estar entre el 1 y el 25%. Para reducir la fricción y el desgaste, los aceites minerales se sustituyen por aceites sintéticos que contienen además inhibidores de corrosión, agentes antiespumantes y agentes para prevenir la degradación biológica. El consumo habitual de refrigerante/lubricante está entre 1800 y 3000 m³/h.

Se requiere energía en los trenes de laminación, así como en los elementos de emulsión, hidráulicos y de gestión de aceite para las transmisiones, ventiladores, bombas, etc. El consumo de energía eléctrica está relacionado con la calidad del acero laminado, la reducción total y el calibre final del producto laminado en frío. Además, puede ser necesaria energía en forma de vapor para calentar la emulsión (si es necesario). El consumo de aceite depende del calibre medio del producto laminado en frío.

Las actividades de laminación en frío generan aguas residuales que son tratadas en plantas de separación de emulsiones. Los efluentes pueden contener aceite y sólidos en suspensión. Se generan aceite y lodos con aceite de las plantas de separación de emulsiones y del absorbedor del aire extraído. Asimismo pueden producirse emisiones (desgaste de los rodillos o hierro en polvo), que son recogidos por los sistemas de eliminación de polvo.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas de acero decapado		1,002 – 1032 t/t
Agua de refrigeración		5 – 6.5 m ³ /t
(Agua de río, agua blanda, NaOH, inhibidor) para el sistema de agua de refrigeración		
Agua industrial y desmineralizada		0,0014 – 0,04 m ³ /t
Aceite de laminación ¹		0,3 – 2,0 kg/t
Otros aceites (hidráulico, Morgoil...)		
Energía:		
Vapor		0,01 – 0,03 GJ/t
Eléctrica		0,2 – 0,3 GJ/t
Calórica		0,001 – 0,036 GJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Agua de refrigeración	5 – 6,5 m ³ /t (0,5) ² m ³ /t	
Aguas residuales	0,003 – 0,015 m ³ /t	
Aire residual	1800 – 2000 m ³ /t	
Emisiones al aire:	Polvo	96 g/t
	Hidrocarburos	7 g/t
	Aceite ^a	0,6 – (~150) ³ g/t Ø 19,7 g/t
		10 – 50 mg/ m ³ 5 – 20 mg/ m ³ 0,1–15(34) ⁴ mg/m ³
Residuo contaminado por aceite (desechado)		0,2 g/t
Emulsión (reciclada internamente)		5000 – 13200 kg/t
Aglutinado de lodo		0,9 – 1,5 kg/t
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 1600000 – 3100000 t/a		
¹ También se tiene en cuenta el consumo de aceite de laminación en la línea de decapado.		
² Agua circulante.		
³ Del diagrama de [Estudio CE].		
⁴ Cifra extrema.		

Tabla A.3-12: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación tándem con sistema de emulsión

Tren de laminación reversible

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas de acero decapado	1,002 t/t	
Agua de refrigeración	3,2 – 3,5 m³/t	
Agua industrial y desmineralizada	0,02 – 0,06 m³/t	
Aceite de laminación	0,1 – 0,11 kg/t	
Energía:		
Eléctrica	240 – 245 GJ/t	
Calórica	0,023 – 0,024 GJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Aire residual	180 – 850 m³/t	
Emisiones al aire:	8,4 – 10,1 g/t	10 – 12 mg/ m³
HC	0,4 – (~150) ¹ g/t	0,1 – (~6) ¹ mg/ m³
Aceite ^a	Ø 10,8 g/t	
Agua residual	0,006 – 0,07 m³/t	
Aglutinado de lodo (desechado)	1,9 – 2,0 kg/t	
Emulsión (reciclada internamente)	8,5 – 9,0 kg/t	
Chatarra, recortes, etc.		
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 250000 – 550000 t/a		
¹ Del diagrama de [Estudio CE].		

Tabla A.3-13: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación reversibles

A.3.2.3.2 Tren de laminación reversible / acero de alta aleación

Como aceite de laminación se utiliza normalmente aceite mineral con aditivos. Se utiliza energía en los laminadores y circuitos de aceite para las transmisiones, ventiladores, bombas, etc. De las operaciones de limpieza se generan medios de filtración contaminados por aceite (restos de material de desgaste de los rodillos, polvo y bandas de acero). El aceite del sistema de filtración de la extracción de aire se recupera [EUROFER CR].

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas de acero recocido	1,01 – 1,03 t/t	
Agua de refrigeración (con recirculación)	20 – 35 m³/t	
Aceite (mineral)	1,5 – 6,0 l/t	
Medios de filtrado de aceite	1 - 2 kg/t	
Energía: eléctrica	0,6 – 0,8 GJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Aire residual (absorbedor del aire de extracción del tren de laminación)	180 – 850 m³/t	
Aceite	50 – 80 g/t	10 – 20 mg/ m³
Aceite ^a	3 – (~150) ¹ g/t	0,1 – 16 mg/ m³
	Ø 91,7 g/t	
Medios de filtración de agua contaminados con aceite	1,8 – 2,8 kg/t	
Aguas residuales (sólidos en suspensión, sales de hierro y metales de aleación, trazas de aceite)		
Chatarra, recortes, etc.		
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 40000 – 150000 t/a		
¹ Del diagrama de [Estudio CE].		

Tabla A.3-14: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación reversibles

A.3.2.4 Recocido de acero de baja aleación y acero aleado

A.3.2.4.1 Recocido discontinuo

Desengrase / Desengrase Electrolítico

Entrada / Nivel de Consumo		
Limpiadores alcalinos/detergentes: (sosa cáustica, sosa comercial, silicatos alcalinos, fosfatos)		
Agua		
Energía		
Salida / Nivel de Emisiones		
Aguas residuales (contiene sólidos en suspensión, metales disueltos, aceite)		
Vapores alcalinos		

Tabla A.3-15: Niveles de consumos y emisiones para el desengrase

Recocido

Se requiere energía eléctrica para las transmisiones, etc. y el calentamiento; gas mixto (gas de horno de coque/gas de alto horno) para las campanas de HNX y gas natural o GLP para las campanas de alta convección de hidrógeno. Para la atmósfera de protección con gas inerte de los hornos, normalmente se requiere nitrógeno con un 3 – 7% de hidrógeno o como alternativa hidrógeno 100%.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas laminadas en frío	1 – 1,01 t/t	
Energía:		
Eléctrica	0,06 – 0,12 GJ/t	
Calórica	0,62 – 0,75 GJ/t	
Agua de refrigeración	5 – 10 m³/t	
Gas inerte (H₂, N₂)		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Agua de refrigeración	5 – 10 m³/t	
Agua contaminada con aceite (desechada)	2,04 E-4 m³/t	
Gas residual	200 – 250 m³/t	
Emisiones al aire: ^a	SO ₂	Rev: (~0) – (~2) ¹ g/t Cont: (~0) ¹ – 41 ² g/t
	NO _x	Rev: (~9) – (~900) ¹ g/t Cont: (~0,5) – (~250) ¹ g/t
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 175000 – 1500000 t/a Rev: Trenes reversibles, sin diferenciación de recocido discontinuo/continuo Cont: Trenes continuos, sin diferenciación de recocido discontinuo/continuo ¹ Del diagrama de [Estudio CE]. ² Cifra extrema: 194.4 g/t		

Tabla A.3-16: Niveles de consumos y emisiones de trenes de laminación tándem con sistema de emulsión

A.3.2.4.2 Recocido continuo

Se requieren agentes químicos para limpieza previa alcalina y electrolítica. Además se consumen agentes de laminación de revenido húmeda para las pasadas de desbaste y aceites anticorrosivos. Normalmente se utiliza gas natural, otros gases (de planta) o GLP para calentar las bandas. Se utiliza energía eléctrica para las transmisiones, el precalentamiento, la zona de envejecimiento y el acabado. Se utiliza gas inerte (nitrógeno, normalmente con un 5% de hidrógeno o alternativamente hidrógeno 100%) para la protección de la superficie contra la oxidación.

El recocido continuo produce principalmente aguas residuales (aceite, sólidos en suspensión, COD) y gases de escape de los hornos de recocido (NOx, SO₂, CO, CO₂).

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas laminadas en frío	1,007 – 1030 t/t	
Agentes químicos para la limpieza previa alcalina / electrolítica		
Energía:		
Eléctrica	0,173 – 0,239 GJ/t	
Calórica	0,775 – 1,483 GJ/t	
Vapor	0,119 GJ/t	
Agua de refrigeración	23.529 m³/t	
Gas inerte (nitrógeno/hidrógeno)		
Agente de laminación de revenido húmeda (para el desbaste, lámina de horno eléctrico)		
Aceites anticorrosivos		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo de gas de horno de recocido	350 – 400 m³/t	
Emisiones al aire: ^a		
SO ₂	Rev: (~0) – (~2) ¹ g/t Cont: (~0) ¹ – 41 ² g/t	
NO _x	Rev: (~9) – (~900) ¹ g/t Cont: (~0,5) – (~250) ¹ g/t	
Calor residual (vapor, puede recuperarse)	0,037 – 0,078 GJ/t	
Aguas residuales	0,118 m³/t	
Aire de refrigeración		
Aglutinado de lodo (desechado)	0,018 – 0,47 kg/t	
Polvo de cascarilla		
Lodo con aceite de la limpieza previa		
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 600000 t/a Rev: Trenes reversibles, sin diferenciación de recocido discontinuo/continuo Cont: Trenes continuos, sin diferenciación de recocido discontinuo/continuo ¹ Del diagrama de [Estudio CE]. ² Cifra extrema: 194,4 g/t		

Tabla A.3-17: Niveles de consumos y emisiones para el recocido continuo

A.3.2.5 Recocido y decapado de acero de alta aleación

La Tabla A.3-18 presenta datos de emisiones y consumos de hornos continuos para el recocido de bandas laminadas en caliente.

Los aceros de alta aleación se tratan principalmente en líneas combinadas de recocido y decapado. La cantidad de ácido de decapado requerido depende del tamaño de las bandas (superficie, volumen) y del espesor de la capa de cascarilla. El consumo de ácido depende asimismo de si se procesan bandas laminadas en caliente o en frío.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas laminadas en caliente	1,01 – 1,02 t/t	
Agua industrial y desmineralizada	0,015 – 0,55 m ³ /t	
Agua de refrigeración	0,15 – 1,1 m ³ /t	
Energía:		
Eléctrica	0,3 – 0,4 GJ/t	
Calórica (Gas)	1,0 – 1,5 GJ/t	
Vapor	0,06 – 0,13 GJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo de gas	550 – 1000 m ³ /t	
Emisiones al aire: ^a	SO ₂ 0 – (~30) ¹ g/t	
	NOx 0,1 – (~1500) ^{1,2} g/t	
Aguas residuales	0,4 – 0,5 m ³ /t	
Aglutinado de lodo (desechado)	2,0 – 15,0 kg/t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR], excepto a: [Estudio CE]; Producción: 56000 – 550000 t/a		
¹ Del diagrama de [Estudio CE].		
² Cifra extrema: 3820 g/t		

Tabla A.3-18: Niveles de consumos y emisiones de hornos de recocido continuo

Los requisitos energéticos son: gas natural y GLP para los hornos de recocido, vapor para el calentamiento del baño de ácido y energía eléctrica para las transmisiones, ventiladores, bombas, etc.

Las emisiones hacen referencia principalmente a las aguas residuales de plantas de neutralización (metales, sólidos en suspensión), a los gases de extracción de los hornos (productos de combustión: CO, CO₂, NO_x), al gas de extracción del lavado de los vapores de decapado (que contienen NO_x, HF) y al gas del sistema de extracción del descascarillado mecánico (polvo) [EUROFER CR].

La Tabla A.3-19 refleja los consumos y emisiones de líneas combinadas de decapado y recocido.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas de acero inox. (laminadas en caliente o en frío)	1,03 – 1,08 t/t	
Granalla ¹	1,5 – 3 kg/t	
Agua de refrigeración (con recirculación)	10 – 20 m ³ /t	
Acido nítrico (HNO ₃ 70%)	3 – 10 kg/t	
Acido fluorhídrico (HF 70%)	2,5 – 7,5 kg/t	
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂ 35%)	3 – 10 kg/t	
Aire comprimido		
Energía ¹ :	Eléctrica	0,15 – 0,30 GJ/t
	Calórica (GN)	0,7 – 1,8 GJ/t
	Vapor (calentamiento del ácido)	0,1 – 0,3 GJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Polvo de cascarilla/granalla		
Residuo de gas de horno de recocido	350 – 400 m ³ /t	
Agua residual evacuada al tratamiento de efluentes	1,0 – 9,0 m ³ /t	
Baño de decapado utilizado / mezcla de ácidos		
Gas de extracción del lavado de vapores de la planta de decapado		
Gas de extracción:		
Emisiones al aire del horno: ^a	SO ₂	0 – (~30) ² g/t
	NO _x	0,1 – (~1500) ^{2,3} g/t
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR]; Producción: 30000 – 300000 t/a		
¹ El granallado sólo se realiza en las bandas laminadas en caliente (decapado I)		
² Del diagrama de [Estudio CE].		
³ Cifra extrema: 3820 g/t		

Tabla A.3-19: Niveles de consumos y emisiones del decapado y recocido de acero de alta aleación

A.3.2.6 Revenido (acero de baja / alta aleación)

Durante la operación de laminación, normalmente se aplica una solución al 5% de agentes de laminación de revenido húmedo, que pueden tener base de nitritos. Se requiere energía en forma de agua caliente y energía eléctrica para el tren de laminado, sistema hidráulico, etc.

Entrada / Nivel de Consumo		
Bandas recocidas	1,01 – 1,03 t/t	
Agua industrial y desmineralizada	0,002 – 0,004 m ³ /t	
Agua de refrigeración	1,0 – 4,0 m ³ /t	
Energía eléctrica	0,02 – 0,15 GJ/t	
Concentrado de líquido de revenido	0,11 – 3 kg/t	
Aceite anticorrosivo	0,04 – 0,05 kg/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo de aire	1 – 100 m ³ /t	
Aguas residuales	0,002 – 0,004 m ³ /t	
Residuo contaminado con aceite ¹	6 – 7,5 E – 5 m ³ /t	
Líquido de revenido ² / refrigeración		
Aglutinado de lodo ²	2,0 – 4,0 kg/t	
Aceite de fugas	4 – 5 E – 5 m ³ /t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR]; Producción: 300000 – 1000000 t/a		
¹ Desechado externamente		
² Reciclado internamente		

Tabla A.3-20: Niveles de consumos y emisiones del revenido

A.3.2.7 Acabado (corte, inspección, embalaje)

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua de refrigeración	0,5 – 0,7 m³/t	
Aceite anticorrosivo	0,2 – 0,4 kg/t	
Tinta de impresión	0,5 – 80 g/t	
Película (transparente)	80 – 90 g/t	
Papel (azul)	9 – 80 g/t	
Papel VCI	1,5 – 1,7 g/t	
Flejes	0,05 – 0,06 m³/t	
Madera	950 – 1050 g/t	
Energía eléctrica	0,02 – 0,04 GJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo contaminado con aceite	1,4 – 1,6 E – 4 m³/t	
Chatarra	25 – 40 kg/t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR]		

Tabla A.3-21: Niveles de consumos y emisiones del acabado

A.3.2.8 Taller de rodillos

La principal entrada de materia para el taller de rodillos es agua y líquido de desbaste para preparar emulsiones frescas. La salida derivada del desbaste: emulsiones de desbaste utilizadas y lodo de desbaste [EUROFER CR].

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua de refrigeración (agua circulante)	m ³ /t	
Emulsión de desbaste (fresca)	0,4 – 80 g/t	
Granalla (del granallado)	40 – 50 g/t	
Concentrado de aceite soluble	5 – 6 g/t	
Sal de cromo (PRETEX)	2 – 3 g/t	
Condensado para ácido crómico (PRETEX)	140 – 160 g/t	
Salida de residuo de gas / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo de gas ¹	25 – 70 m ³ /t	< 1 mg/ m ³ < 0,1 mg/m ³
Polvo Cr		
Lodos de desbaste	0,1 – 0,2 kg/t	
Muela de desbaste	0,9 – 1,0 g/t	
Residuo de emulsión	0,035 – 0,08 kg/t	
Residuo contaminado con aceite	1,5 – 2,0 E – 4 m ³ /t	
Polvo de granallado	40 – 50 g/t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR].		
¹ Instalación de cromado		
² Las bandas laminadas en frío se utilizan como valor de referencia para cifras de consumo específico.		

Tabla A.3-22: Niveles de consumos y emisiones del taller de rodillos

A.3.2.9 Gestión de líquidos hidráulicos y lubricantes

En varios puntos del laminador en frío, existen sistemas hidráulicos o componentes con aceite y grasa. Estos sistemas se sitúan normalmente en depósitos o pozos estancos para evitar que el aceite penetre en el agua o el suelo en caso de fuga.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua de refrigeración	9,0 – 10 m³/t	
Agua desmineralizada	0,05 – 0,12 m³/t	
Grasa, aceite, aceite hidráulico	1,5 – 1,8 g/t	
Aceite de laminación	0,45 – 2,2 g/t	
Aceites hidráulico + lubricación	0,2 – 0,9 g/t	
Energía ¹ :		
Eléctrica	0,2 – 0,45 GJ/t	
Vapor	0,04 – 0,05 GJ/t	
Salida de residuo de gas / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuo (desechado)		
Aceite utilizado + agua + desechos	3,0 – 50 kg/t	
Aceite utilizado + agua	3,2 – 3,5 kg/t	
Aguas residuales	0,05 – 0,12 m³/t	
Nota: Fuente de datos [EUROFER CR]		

Tabla A.3-23: Niveles de consumos y emisiones de los sistemas de líquido hidráulico y lubricantes

A.3.2.10 Planta de tratamiento de aguas residuales de laminación en frío

Los siguientes datos hacen referencia a la evacuación de agua de la planta de laminación en frío en su conjunto, ya que los datos disponibles no distinguen a menudo entre las distintas fuentes de aguas residuales.

	Acero al Carbono Laminado En continuo	Acero al Carbono Laminado Reversible	Acero Inoxidable Laminado Reversible
Evacuación específica de aguas residuales	0 – 40 m ³ /t	0,6 m ³ /t	(~0) – 35 m ³ /t
Evacuación de aguas residuales del tratamiento de aguas residuales (excluida la refrigeración sin recirculación)	0 – 12 m ³ /t		
Total Sólidos en Suspensión¹	7 – 120 mg/l 2,7 – 520 g/t	(~0) – 2210 mg/l (~0) – (~160) g/t	0 – 60 mg/l 0 – (~180) g/t
DQO¹	10 – 5300 mg/l 5 – 220 g/t	15 – 100 mg/l 10 – 80 g/t	10 – 2000 mg/l 10 – 275 g/t
Nota: Fuente de datos [Estudio CE]. ¹ Unidades cambiadas de g/m ³ a mg/l			

Tabla A.3-24: Evacuación de aguas residuales de los talleres de laminación en frío.

A.3.2.11 Residuos y reciclaje

Además de la información sobre generación de residuos para los subprocesos individuales, la Tabla A.3-25 presenta un resumen de los residuos generados en total por las operaciones de laminación en frío y de los potenciales de uso. Como referencia se escogió la planta de laminación en frío en su conjunto, porque una clara distinción de las fuentes de residuos y la atribución de cantidades concretas de residuos a los procesos individuales es imposible en algunos casos.

Tipo de residuo / Fuente	Masa Específica Media [kg/t]	Residuo Notificado ¹ [t]. (producción de acero) ²	Utilización	Porcentaje ³
Lodos de recuperación de aceite	1	13.150 (14 Mt)	Reciclaje en planta Uso externo ⁴ Venta ⁵ Vertedero	50,3 33,7 3,6 12,4
Lodos de recuperación de ácido	4,2	36.200 (8,5 Mt)	Reciclaje en planta ⁶ Uso externo ⁷ Venta ⁵ Vertedero	9,8 9,4 46,0 35,0
Lodos del tratamiento de agua	3,3	114.000 (19,9 Mt)	Reciclaje en planta Uso o venta externa ⁵ Vertedero	32,5 1 66,5
Polvo seco de los dispositivos de limpieza de aire Laminación de acero inoxidable	5.4	8.200 (1,5 Mt)	Reciclaje en planta Uso externo ⁵ Vertedero	38,5 42 19,5
Aceite, emulsión, grasa	1.3	17.700 (8.7 Mt)	Reciclaje Incineración externa Vertedero	42.8 34.4 22.8
Materiales refractarios desmantelados		60	Uso externo ⁵ Vertedero	66 34
Nota: Basado en [Estudio CE]; las cifras facilitadas hacen referencia al material seco ¹ Facilitado en respuesta a un cuestionario de la UE. ² Producción de acero de las empresas que facilitaron información sobre utilización. ³ El porcentaje hace referencia a la masa indicada / cuestionarios contestados. ⁴ 56% incinerado, 44% de recuperación de aceite en una planta especializada. ⁵ No hay indicación sobre uso ulterior. ⁶ Horno de arco eléctrico o alto horno ⁷ Para la producción de óxidos de hierro				

Tabla A.3-25: Residuos generados en plantas de laminación en frío e índices de utilización

A.3.2.12 El aspecto del ruido en la laminación en frío

– No se ha presentado información específica para la laminación en frío.

A.3.3 Planta de producción de alambre

A.3.3.1 Visión general del flujo de materia

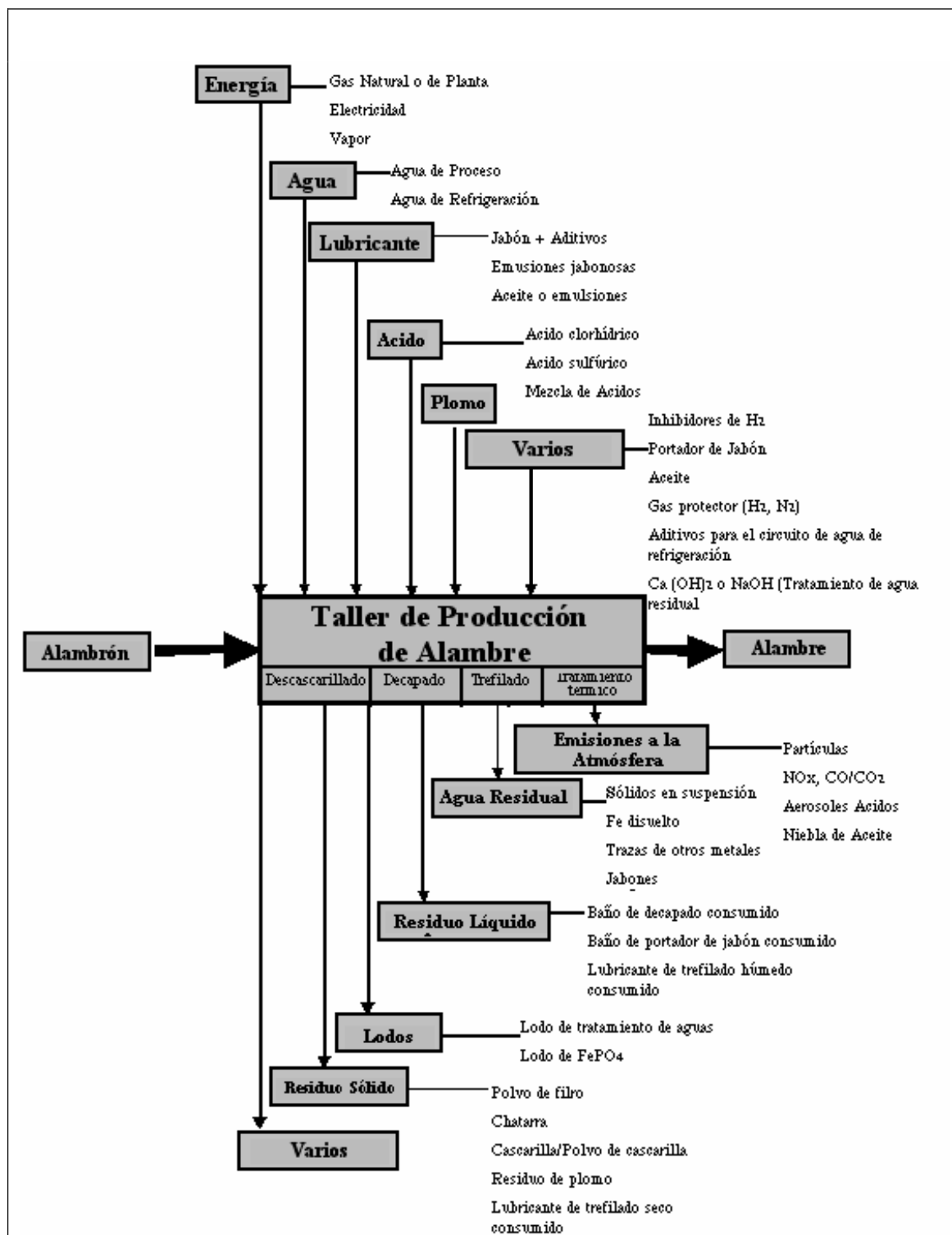


Figura A.3-8: Esquema general de entrada/salida de material para una planta de producción de alambre

Los siguientes capítulos presentan datos específicos de entrada y consumo de material, así como datos específicos de salida y consumo para los pasos operativos asociados con la fabricación de alambre (procesos de preparación del alambón, estirado y tratamiento térmico). Cabe mencionar que los datos específicos de consumos y emisiones (expresados por tonelada de producto) pueden presentar grandes variaciones con el diámetro del alambre producido.

A.3.3.2 Preparación del alambón

A.3.3.2.1 Descascarillado mecánico del alambón

El descascarillado mecánico produce residuos sólidos: la cascarilla, consistente principalmente en óxidos de hierro (FeO y Fe_3O_4) más trazas de otros óxidos metálicos, según los elementos de aleación e impurezas existentes en el alambón. La técnica más común de descascarillado de alambre, la flexión del alambre, produce una cascarilla relativamente gruesa que genera sólo cantidades despreciables de polvo.

El arenado, el cepillado y el granallado generan una cascarilla relativamente fina y van equipados con un sistema de filtrado para capturar el polvo de cascarilla. Cuando se utiliza granallado, la cascarilla se mezcla con la fracción de los medios de granallado no recuperada.

La cascarilla no está contaminada con aceite y agua, en contraste con lo que ocurre generalmente en la industria de producción de bandas. La cascarilla muy fina (ej: polvo filtrado) presenta riesgo de incendio o explosión.

Métodos abrasivos		
Entrada / Nivel de Consumo		
Material abrasivo		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Cascarilla (óxido de hierro)		
Polvo de cascarilla		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Cascarilla	2 – 5 ¹ kg/t	
Nota: Fuente de los datos [Com BG].		
¹ Según el diámetro y la calidad del alambón.		

Tabla A.3-26: Niveles de consumos y emisiones para el descascarillado mecánico

A.3.3.2.2 Decapado químico del alambón

En el decapado químico se generan residuos líquidos en forma de ácido HCl o H_2SO_4 consumido, convertido principalmente en sales metálicas. Pueden formarse aerosoles (partículas pequeñas de HCl o H_2SO_4) mecánicamente si se deja gotear el alambón. Además se desprenden vapores del baño de HCl y puede formarse H_2 si no se suprimen con un inhibidor. Los vapores ácidos de los baños son evacuados. En ocasiones se hace necesario el lavado de los vapores, según el tipo de ácido y su concentración [Bekaert98].

Entrada / Nivel de Consumo		
Acido:		
HCl (32%) (sin recuperación)	15 – 25 kg/t	
HCl (32%) (con recuperación)	n.d.	
H ₂ SO ₄ (98%) (sin recuperación)	10 – 20 kg/t	
H ₂ SO ₄ (98%) (con recuperación)	2,5 – 5 kg/t	
Inhibidor de H ₂	0,01 – 0,1 kg/t	
Energía (principalmente electricidad):		
Bombas, ventilación, equipos elevadores, etc.	n.d.	
Calentamiento del ácido (sólo H ₂ SO ₄)	n.d.	
Agua de enjuague ¹	n.d.	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Emisiones al aire del:		
Decapado con HCl (vapores ácidos, gotitas) ⁶	n.d.	
Decapado con H ₂ SO ₄ (aerosoles, gotitas de ácido) ⁶	n.d.	
Acido consumido:		
HCl	80 – 90% ²	
Cl total		200 – 275 g/l
Fe		100 – 160 g/l
H ₂ SO ₄ ³		
Agua de enjuague	10 – 20% ²	
FeSO ₄ x 7H ₂ O ⁴	20 – 35 kg/t	
H ₂ ⁵		

Nota: Fuente de datos [Com BG].

¹ Grandes variaciones de una planta a otra según el número de cascadas de enjuague, el diámetro del alambón y los requisitos.

² De ácido consumido

³ No hay cifras disponibles de H₂SO₄ consumido si no se realiza la recuperación mediante cristalización del FeSO₄

⁴ De regeneración, pureza 96–98%; impurezas: H₂O, H₂SO₄ y trazas de metales según los elementos de aleación en el alambón.

⁵ La emisión de H₂ es despreciable si se utiliza un inhibidor correcto de H₂. El uso de inhibidores se limita normalmente al decapado discontinuo.

⁶ Fuente [Stone]

Tabla A.3-27: Niveles de consumos y emisiones del decapado químico

A.3.3.2.3 Aplicación del portador de jabón

El consumo y las emisiones asociadas a la aplicación de portador de jabón varían según el tipo de portador, del espesor aplicado y del diámetro del alambón. Por el momento no se dispone de datos cuantitativos.

Cuando se utiliza recubrimiento con Zn-PO₄, se forma un lodo o aglutinado espeso de FePO₄, que contiene trazas de zinc, fosfatos solubles y cloratos o nitritos procedentes del baño de Zn-PO₄. Asimismo, el baño de portador de jabón consumido puede convertirse en un residuo líquido. Si el secado se realiza en hornos alimentados por gas o fuel, se emiten los productos de combustión habituales [Bekaert98].

Cal y productos equivalentes:	
Consumo	Emisiones
▪ lechada de cal (compuesta de agua y agua de proceso). ▪ vapor o gas natural. ▪ agua para la compensación de pérdidas de calor.	▪ baños de lechada de cal consumidos (acumulación de impurezas por arrastre) ▪ posibles emisiones del calentamiento.
Sales alcalinas y mezclas de sales alcalinas	
Consumo	Emisiones
▪ sal alcalina (mezcla). ▪ agua/agua para la compensación de pérdidas de calor ▪ posiblemente vapor.	▪ baños de portador de jabón consumidos (acumulación de impurezas por arrastre). ▪ posibles emisiones del calentamiento.
ZnPO ₄ y productos equivalentes	
Consumo	Emisiones
▪ mezcla concentrada de Zn, H₃PO₄ y aditivo. ▪ agua/agua para la compensación de pérdidas de calor ▪ vapor para calentar	▪ lodo de FePO₄. ▪ agua de enjuague. ▪ <i>Normalmente, el líquido del baño no se evacua nunca</i>

Tabla A.3-28: Niveles de consumos y emisiones para la aplicación de portador de jabón [Com BG].

A.3.3.3 Trefilado de alambre

A.3.3.3.1 Trefilado en seco

Las actividades de trefilado en seco dejan lubricante consumido, consistente en el jabón de estirado en sí (normalmente una sal alcalina de un ácido graso natural + aditivos) contaminado por productos de degradación (causada por el calentamiento del lubricante en las trefilas, portador de jabón y partículas de metal, como Fe o Zn, según las superficies del alambre). La actividad de trefilado también genera polvo de jabón, que puede controlarse mediante un encapsulado adecuado y el filtrado del aire extraído. Trazas de jabón pueden también contaminar la purga de la torre de refrigeración, si la máquina de estirar no está bien mantenida. Además, se producen residuos de trefilas rotas [Bekaert98].

Entrada / Nivel de Consumo		
Lubricante de trefilado en seco (jabón alcalino preformulado + aditivos)	1 – 4 kg/t	
Energía eléctrica para la máquina trefiladora... ¹	n.d.	
Agua de refrigeración	n.d. (gran variación)	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Jabón consumido + polvo de jabón del sistema de filtración de jabón	1 – 4 kg	
Emisión de polvo de jabón	n.d.	
Agua de refrigeración	n.d.	
Trefilas rotas	No significativa	
Nota: Fuente de los datos [Com BG], datos por tonelada de alambre estirado.		
¹ No hay cifra disponible, gran variación, depende del diámetro, de la relación del diámetro inicial/final y del tipo de acero.		

Tabla A.3-29: Niveles de consumos y emisiones del trefilado en seco

A.3.3.3.2 Trefilado húmedo

El trefilado húmedo se realiza en una emulsión acuosa de jabón o aceite. Esta emulsión se contamina gradualmente por el arrastre de diversos productos de los pasos de proceso anteriores, por disolución o abrasión del metal de la superficie del alambre (Fe u otros metales si el alambre ha sido recubierto en un paso anterior) y por degradación térmica o biológica. El resultado es que el lubricante de trefilado húmedo debe cambiarse de vez en cuando; la frecuencia de sustitución puede reducirse mediante la eliminación continua de algunos de los contaminantes por decantación o filtración.

Otras fuentes de residuos son las trefilas rotas y la purga de las torres de refrigeración, que puede estar contaminada con trazas de emulsión si el intercambiador de calor no se mantiene adecuadamente.

La contaminación del agua de refrigeración ocurre con mucha menor frecuencia en las máquinas de trefilado húmedo que en las máquinas trefiladoras en seco.

No hay cifras disponibles para la laminación húmeda en aceite corriente; el porcentaje de tonelaje que se estira en aceite es más bien reducido. Si se estira el alambre en aceite corriente no se producen aerosoles de aceite. Todas las partes móviles están sumergidas en aceite; el alambre se limpia a la salida de la máquina trefiladora [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Emulsión de jabón concentrado preformulado o de aceite	1 – 10 kg/t	
Agua de dilución para el lubricante de trefilado húmedo	20 – 250 l/t	
Energía eléctrica para la trefiladora... ¹	n.d.	
Agua de refrigeración	n.d. (gran variación)	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Emulsión de trefilado húmedo consumida (incluido lodo eliminado por filtrado/decantación)	20 – 250 l/t	10 – 80 g/l 0,2 – 1
Sólidos en suspensión		
DQO (jabón de ácido graso o aceite, agentes superficiativos, otros aditivos)		
Metales (Fe para trefilado húmedo de alambre pulido, otros metales para trefilado de alambre recubierto)		
Agua de refrigeración ²	n.d.	
Trefilas rotas	n.d.	

Nota: Fuente de los datos [Com BG], datos por tonelada de alambre estirado.

¹ No hay cifra disponible, gran variación, depende del diámetro, de la relación del diámetro inicial/final y del tipo de acero.

² Nota: La contaminación del agua de refrigeración ocurre con mucha menor frecuencia en máquinas de trefilado húmedo que en máquinas trefiladoras en seco.

Tabla A.3-30: Niveles de consumos y emisiones del trefilado húmedo

A.3.3.4 Tratamiento térmico del alambre

A.3.3.4.1 Recocido discontinuo / hornos de campana y de crisol

Las emisiones de los hornos de recocido discontinuo incluyen los productos de la combustión y un pequeño flujo de la atmósfera protectora (purga) que contiene productos de descomposición del lubricante. Estos están formados por la pirólisis/cracking (piroescisión) de las moléculas de lubricante; los productos de descomposición típicos son olefinas y alcanos de bajo peso molecular.

El agua de refrigeración no se contamina y puede usarse para refrigerar algunas partes del horno [Bekaert98], [CET-BAT].

Entrada / Nivel de Consumo		
Energía (gas, fuel, electricidad)		n.d.
Gas inerte (H ₂ , N ₂ , mezcla de H ₂ /N ₂ , gas parcialmente oxidado)		n.d.
Agua de refrigeración		n.d.
Aceite (si se aplica)		n.d.
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Productos de combustión	n.d.	
Agua de refrigeración	n.d.	
Gas inerte consumido ¹		
Nota: No hay cifras disponibles para el recocido de alambre, pero se supone que son similares que para el recocido en un horno de campana para bandas de acero, aunque el tamaño de las unidades es mucho más pequeño en el sector del alambre [Com BG].		
¹ Normalmente, todo el gas consumido se quema.		

Tabla A.3-31: Niveles de consumos y emisiones para hornos de campana y de crisol

A.3.3.4.2 Recocido continuo / baño de emplomado

El recocido continuo en un baño de plomo está compuesto de un baño emplomado seguido de un temple en agua. Este proceso produce residuos sólidos en forma de óxidos de plomo y contaminación por plomo del material de cobertura del baño. Se generan aguas residuales por rebose del baño de temple; este caudal contiene algo de Pb. Se generan emisiones a la atmósfera en forma de polvo (material de cobertura del baño, con pequeñas cantidades de Pb) y productos de la pirólisis del jabón (COVs, CO, etc.) [Com BG].

A menudo, este tratamiento va seguido de un decapado en continuo en un baño de HCl. Debido al corto tiempo de permanencia, se utiliza HCl caliente y concentrado. Los vapores de HCl se eliminan mediante lavado de las corrientes de gases de salida del baño de HCl. Los residuos líquidos generados son ácidos consumidos, parcialmente convertidos en sales metálicas y contaminados por hierro, plomo, trazas de otros metales y sólidos inorgánicos en suspensión; el agua de temple también está contaminada por plomo (orden de magnitud de mg/l). Se producen aguas residuales de la cascada de enjuague tras el baño de HCl y del lavado de gases [Bekaert98], [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Plomo	1 – 15 ¹ kg/t	
Energía para calentar el baño de plomo (gas, fuel)	n.d.	
Agua de temple	1 – 3 m ³ /t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Residuo de plomo (óxidos de plomo + cubierta de baño utilizado)	1 – 15 ¹ kg/t	
Rebose del agua de temple (contiene Pb y sólidos suspendidos) SS Pb	0,5 – 2,5 m ³ /t	n.d. 2 – 20 mg/l
Emisiones del baño de plomo: Pb Polvo Total Comp. Orgánicos		0,02 – 5 mg/m ³ 1 – 30 mg/m ³ 1 – 50 mg/m ³
Emisiones del calentamiento de los baños de plomo (emisiones típicas de un proceso de calentamiento normal)		
Nota: Fuente de los datos [Com BG], datos por tonelada de alambre estirado.		
¹ Las cifras extremas se aplican al alambre fino		

Tabla A.3-32: Niveles de consumos y emisiones de los baños de plomo

Entrada / Nivel de Consumo		
HCl (expresado como HCl al 32%)	10 – 100 kg/t	
Energía para calentar el baño de HCl ¹	n.d.	
Agua para lavado de gases / enjuague	0,5 – 5 m ³ / t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
HCl consumido ²	5 – 100 l/t	
Cl total		150 – 275 g/l
Fe		60 – 125 g/l
Agua residual del lavado de gases/enjuague	0,5 – 5 mg/m ³	
HCl (emisiones del lavado)		
Pirólisis del lubricante		
Aguas residuales		
Polvo		

Nota: Fuente de datos [Com BG], datos por tonelada de alambre decapado; las cifras para decapado con HCl son también representativas para otros pasos de decapado en continuo con HCl.

¹ A veces el baño se calienta con el calor residual del alambre.

² El ácido consumido contiene Cl, Fe y otros contaminantes, según los pasos de proceso anteriores, como residuos de jabón, portador de jabón, Pb...

³ Las fuentes pequeñas (< 300 g/h) pueden tener concentraciones más elevadas, dado que en la mayoría de países las fuentes pequeñas sólo tienen que cumplir con un límite de flujo de masas.

Tabla A.3-33: Niveles de consumos y emisiones del decapado en continuo con HCl

A.3.3.4.3 Temple patenting

Para una línea de temple patenting consistente en un horno con contacto directo entre el alambre y los gases de combustión, un baño de emplomado y un baño de temple, los residuos y emisiones son los siguientes:

Del horno se desprenden emisiones a la atmósfera. El horno se calienta a 850 – 1000°C con gas natural (o un combustible similar sin azufre) y con una ligera falta de O₂. Se mezcla aire fresco con el gas de escape caliente del horno con el fin de convertir el CO en CO₂ antes de su emisión a la atmósfera. Las concentraciones de NO_x y SO₂ son despreciables en esta corriente. La atmósfera reductora y el combustible están exentos de azufre.

El baño de plomo se utiliza para enfriamiento; a diferencia del baño de plomo utilizado para el recocido, no hay combustión del lubricante residual, por lo que las emisiones al aire se limitan a polvo (material de cobertura del baño, que contiene trazas de Pb).

El baño de plomo genera residuos sólidos en forma de óxidos de plomo y material de cobertura del baño consumido. En el baño de temple se generan aguas residuales. Algunas instalaciones necesitan agua de refrigeración para enfriar las partes móviles en contacto con el alambre caliente [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Plomo	1 – 10 kg/t	
Energía (para calentar el horno y para calentar el baño de plomo durante los periodos de arranque y espera)	n.d.	
Agua de temple	1 – 3 m ³ /t	
Agua de refrigeración	0 – n.d.	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Residuo de plomo (óxidos de plomo + cubierta de baño utilizado)	1 – 10 kg/t	
Rebose del agua de temple (contiene Pb y sólidos suspendidos)	0,5 – 2,5 m ³ /t	n.d.
SS Pb		2 – 20 mg/l
Emisiones del baño de plomo: Pb Polvo		< 0,02 – 1 mg/m ³ 1 – 30 mg/m ³
Emisiones del calentamiento del horno: CO NOx, SO ₂		50 – 300 mg/m ³ despreciable
Nota: Fuente de los datos [Com BG], datos por tonelada de alambre estirado.		

Tabla A.3-34: Niveles de consumos y emisiones del temple patenting [Bekaert98].

A.3.3.4.4 Temple en aceite

Una línea de temple en aceite consiste en un proceso de calentamiento bajo gas protector, con temple en agua o aceite, y recalentamiento en un horno de revenido. Los residuos y emisiones dependen del método de calentamiento, el medio de enfriamiento y el método de recalentamiento. Esto, en combinación con la amplia gama de productos, hace imposible presentar cifras generales para una línea de temple en aceite [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo	
Energía para calentar (electricidad y/o gas natural)	
Gas protector	
Medio de temple (aceite, agua, aditivos)	
Plomo (si se aplica)	
Agua de refrigeración	
Salida / Nivel de Emisiones	
Usando un baño de plomo:	residuo de plomo
Temple en agua:	aguas residuales
Temple en aceite:	residuo de aceite emisión al aire de aerosoles de aceite
Calentamiento con gas natural:	gas de escape del proceso de combustión normal
Corriente de gas protector quemado	

Tabla A.3-35: Balance cualitativo de entrada/salida para el temple en aceite

A.3.3.4.5 Recocido de alambre de acero inoxidable

No puede darse un balance de masa cuantitativo (falta de datos / pequeño tonelaje en comparación con el acero corriente/gran variabilidad debida a la variación en el diámetro y la composición del acero inoxidable).

Entrada / Nivel de Consumo	
Energía: gas (fuel), electricidad	
Gas inerte: H ₂ , N ₂ , mezcla de H ₂ /N ₂	
Agua de refrigeración	
Salida / Nivel de Emisiones	
Productos de combustión	
Agua de refrigeración	
Fuente: [Com BG].	
Nota: Normalmente todo el gas protector consumido se quema.	

Tabla A.3-36: Balance cualitativo de entrada/salida para el recocido de acero inoxidable

A.3.3.4.6 Eliminación de tensiones

La aplicación más importante es la eliminación de las tensiones de torones para hormigón pretensado, es decir, los cables de refuerzo utilizados con el hormigón pretensado. Normalmente se utiliza calentamiento inductivo como técnica de calentamiento.

Entrada / Nivel de Consumo	
Energía eléctrica para el calentamiento inductivo de bobinas y posiblemente para un horno Pit	
Agua de refrigeración para el equipo y los cables	
Salida / Nivel de Emisiones	
Agua de refrigeración	
Fuente: [Com BG]	

Tabla A.3-37: Balance cualitativo de entrada/salida para la eliminación de tensiones

A.3.3.5 El aspecto del ruido en una planta de producción de alambre

El ruido excesivo en la laminación en caliente es principalmente un aspecto interno de salud laboral, tomándose precauciones normalmente para proteger a los empleados cuando no se puede prevenir o reducir el ruido en su origen. En algunos casos, según el lugar de emplazamiento del proceso (por ejemplo, cerca de una zona residencial) y las características del ruido (el ruido intermitente, con impactos y/o de alta frecuencia es más frecuentemente causa de quejas que el ruido continuo de baja frecuencia), puede haber motivo de preocupación exterior, aunque esto depende del nivel de ruido de fondo y de otras fuentes de ruido próximas.

Las principales fuentes de ruido en el proceso del alambre son:

- Equipos rotativos, como máquinas trefiladoras; máquinas de trefilado en seco; unidades de recogida y unidades de trefilado en las líneas de recubrimiento.
- Los limpiadores o cepillos de aire que limpian el alambre con aire comprimido pueden emitir un ruido de alta frecuencia.
- Los devanadores de alambrón producen un ruido repetitivo particular.
- Los quemadores de los hornos.

Estas operaciones son normalmente operaciones continuas y se realizan en el interior de una nave. De esta manera, el impacto fuera de la nave queda minimizado, de modo que el ruido generado por estas operaciones es raramente motivo de problema fuera de las instalaciones.

El estudio de casos concretos indica que algunas fuentes de ruido fuera de las naves, como las instalaciones de ventilación o instalaciones auxiliares son a menudo el principal problema en plantas de producción de alambre próximas, por ejemplo, a una zona residencial. Para esta última categoría de fuentes de ruido pueden estudiarse medidas como el cambio de ubicación, el aislamiento o la creación de un recinto local.

A.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR EN LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA LAMINACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

En esta sección se ofrecen técnicas de protección medioambiental y ahorro energético para los pasos de proceso individuales. La descripción de cada técnica, su aplicabilidad, el control de emisiones, los efectos en otros medios, las plantas de referencia, los datos operativos y económicos y la razón principal para su puesta en práctica se facilitan cuando se hallan disponibles y son pertinentes.

Algunas de las técnicas aquí detalladas tienen por misión principal mejorar la calidad de los productos y aumentar el rendimiento. Dado que estas medidas también tienen un impacto medioambiental (menor producción de chatarra, menor consumo de energía, menos emisiones), se cubren aquí, aunque su potencial de reducción puede ser sólo limitado.

A.4.1 PLANTAS DE LAMINACIÓN EN CALIENTE

A.4.1.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares

Descripción:

Aceite: los vertidos de aceite pueden producirse en los depósitos de almacenamiento y en las tuberías. Estos vertidos son drenados a sumideros de bombeo, desde donde la mezcla de aceite, grasa y agua puede transferirse a depósitos intermedios de residuos de aceite. La evacuación de los depósitos llenos puede realizarse a través de empresas externas autorizadas o, en el caso de centros de producción integrados, mediante plantas internas de tratamiento térmico o a través de los altos hornos u hornos de coque.

Los escapes accidentales de hidrocarburos se evitan con controles periódicos y mantenimiento preventivo de cierres, juntas, bombas y tuberías.

Los desagües contaminados en los diversos puntos de consumo de agua (agregados hidráulicos) deben ser recogidos y pueden bombearse a depósitos de almacenamiento intermedios. Los residuos de aceite, tras su separación del agua, deben ser reutilizados, por ejemplo mediante inyección en el alto horno o mediante reciclaje externo. Para permitir la reutilización, el aceite separado debe recuperarse en cantidades suficientes y en una forma adecuada para su reutilización; la composición química y las propiedades físicas (ej: viscosidad) del aceite (usado) recuperado deben ser las mismas que las del aceite nuevo. El agua separada puede ser sometida a ulterior tratamiento en una planta de tratamiento de agua, por ejemplo con ultrafiltración o evaporador en vacío (ej: de máquinas de lavar industriales).

La prevención completa de la contaminación del agua y de la cascarilla por hidrocarburos (aceites y grasa) es prácticamente imposible, incluso aplicando medidas de precaución.

A.4.1.2 Rectificación superficial y acondicionamiento del material de entrada

A.4.1.2.1 Operaciones de desbarbado con limpieza del gas residual

Descripción:

Como se muestra en la Figura A.4-1, el desbarbado tiene lugar en una campana herméticamente cerrada, que captura el vapor y el polvo generado por la llama oxiacetilénica. El aire residual se limpia con **precipitadores electrostáticos secos o húmedos o filtros de tejido**. El polvo recogido se recicla internamente en acerías integradas preparadas por empresas autorizadas.

Se utilizan chorros de agua para eliminar la escoria de la superficie acondicionada. El agua consumida y la escoria se recogen en un canal bajo la mesa de rodillos y se transfieren al tratamiento de agua.

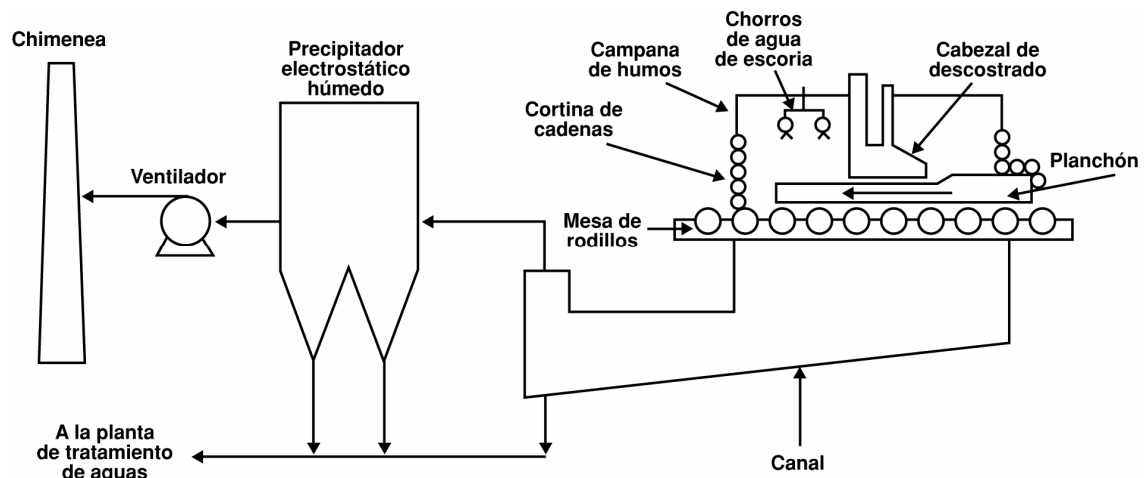


Figura A.4-1: Hoja de flujo de reducción de escoria (ejemplo con PE húmedo) [HMIP].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas a la atmósfera / polvo.

Aplicabilidad:

- Nuevas plantas (difícil de aplicar en las plantas existentes debido a problemas con las estructuras de edificios).
- No aplicable para desbarbado manual.

Efectos en otros medios:

- Mayor consumo de energía.
- Generación de residuos / polvo de filtro o lodos que se recoge.
- Los residuos pueden reducirse mediante reciclaje interno.

Plantas de referencia:

SIDMAR, Aceralia (Avilés)

Datos operativos y economía:

Ejemplo SIDMAR:

La máquina de descostrar está situada en una nave especial (dimensiones 32 m x 18 m x 9 m) con paredes laterales con aislamiento acústico que limitan el nivel de ruido a 85 dBA a 1 m. Los humos se capturan en las 4 esquinas del techo. La instalación completa funciona bajo aspiración con un caudal de aspiración de 200000 m³/h. La aspiración se controla automáticamente en función del lugar en que se produce el desbarbado (se aspiran los 2/3 de los humos sobre la zona de trabajo). El aire de extracción es limpiado por filtros de tejido con un área de filtrado de 3576 m², lo que produce una concentración de polvo de salida de 5 – 10 mg/Nm³ (medición óptica continua en chimenea).

		Año de Instalación	Volumen de Gas Residual [m ³ /s]	Emisión de Partículas [mg/m ³]	Consumo de Energía ¹ [kWh/1000 m ²]	Coste Miles de EUROS
a	PE Húmedo (Desbarbadora de palanquilla)	1973	32	20-115		
b	PE Húmedo			< 20		
c	PE Húmedo	1988	Aprox. 60	30 – 80		n.d.
a	PE Seco (Desbarbadora de planchones)	1986	30	20 – 115		
b	PE Seco			< 50		420
d	Filtro de bolsa	Datos: 1988	30	< 10		
b	Filtro de bolsa		Ø 42 Máx. 55	< 20	155	I ² : 2200 O ^{1,3} 0,058
e	Filtro de bolsa		55,6	5 – 10		

Nota: PE = Precipitador Electrostático; I = Costes de Inversión; O = Costes operativos
 a: [EUROFER HR].
 b: [CITEPA], los niveles correspondían a los señalados como emitidos a la atmósfera para la mejor técnica disponible.
 c: [Input-HR-1].
 d: [DFIU98].
 e: Información de la empresa SIDMAR
¹ Base de referencia: desbarbado de 1000 m²
² Costes de inversión para instalación completa, incl. ingeniería civil, campana de filtrado (zona de filtrado: 3200 m²), ventiladores, motores, tuberías, aparatos de medición y control, etc.
³ Costes operativos para plena capacidad, 60% de personal

Tabla A.4-1: Datos operativos y niveles de emisión de polvo alcanzables para la operación de desbarbado

Dado que el humo generado por el desbarbado es muy corrosivo, el mantenimiento es un tema importante para un buen funcionamiento de las unidades de precipitación de humo. Se recomienda una inspección regular de los electrodos de precipitación, elementos internos asociados, etc. para supervisar la corrosión.

Si el humo es muy húmedo, los filtros de bolsa pueden ser problemáticos [Com HR].

Razón principal para su puesta en práctica: Prevención de las emisiones fugitivas [Com HR].

Referencias bibliográficas:

A.4.1.2.2 Operación de desbaste en cabina con limpieza de gas residual

Descripción:

El polvo generado en las operaciones de desbaste es recogido y precipitado en filtros de bolsa. El desbaste manual se realiza en cabinas insonorizadas y totalmente cerradas. La unidad de precipitación, en ambos casos, es independiente o integrada en el taller.

El humo recogido se recicla internamente en las acerías integrales, o es desechado por empresas autorizadas.

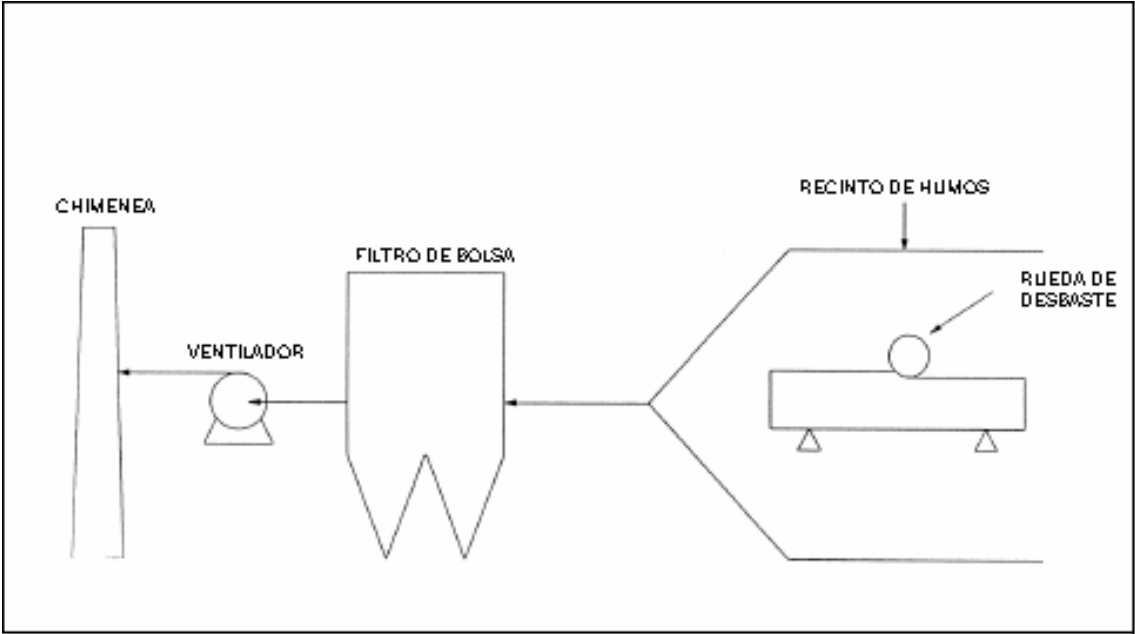


Figura A.4-2: Esquema de la precipitación de humos de desbaste [HMIP].

Principales beneficios medioambientales obtenidos:

- Reducción de las emisiones fugitivas a la atmósfera/polvo.
- Reducción del ruido.

Aplicabilidad:

- Nuevas Plantas.

Efectos en otros medios:

- Mayor consumo de energía.
- Generación de residuos / polvo recogido en filtros.
- Los residuos pueden reducirse por reciclaje interno.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

		Año de Instalación	Volumen de Gas Residual [m ³ /s]	Emisión de Partículas [mg/m ³]	Consumo de Energía ¹ [kWh/1000 m ²]	Coste Miles de EUROS
a	Filtro de Celdas Compactas ²	1980 – 1989	2,5	20-100		
a	Filtro de Chorro Pulsátil 3	1995	7	< 30		

a: [EUROFER HR], datos operativos y niveles de emisión típicos informados [Com2 HR].

¹ Base de referencia: desbaste de 1000 m²

² Superficie de bolsa 120 m²

³ Superficie de bolsa 234 m²

Tabla A.4-2: Datos operativos y emisiones alcanzables para la reducción del polvo del desbaste

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: Prevención de las emisiones fugitivas [Com HR].

Referencias bibliográficas:

A.4.1.2.3 CCAO – Control de calidad asistido por ordenador

Descripción:

El control de calidad asistido por ordenador se aplica para mejorar la calidad de la producción en colada continua, reduciendo así los defectos superficiales en el producto laminado. Un modelo computerizado observa y controla las condiciones de moldeo basándose en diversas mediciones periféricas. Cada cambio en los parámetros operativos produce un nuevo preajuste de la máquina para un proceso de moldeo optimizado. Los cambios en las condiciones de moldeo que no pueden ser corregidos por el circuito de control y pueden producir defectos superficiales son detectados y visualizados por el sistema de modo que se conoce con certeza la localización de un posible defecto. Posteriormente puede realizarse el desbarbado selectivo (manual) de las zonas dañadas en lugar de descostrar automáticamente todo el planchón.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones y residuos del desbarbado, al permitir un descostrado selectivo.
- Se reduce el consumo de energía para el proceso de desbarbado.
- Mejor calidad superficial, reducción de la chatarra.

	Sin CCAO	Con CCAO
Desbarbado mecánico	32 %	9 %
Inspección y desbarbado selectivo	68 %	8 %
Sin inspección ni desbarbado		83 %

Tabla A.4-3: Comparación de la cantidad de desbarbado con o sin CCAO [DFIU98].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con colada continua [Com HR].

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

- VA Stahl Linz, Austria.
- EKO Stahl, Germany [Com A].

Datos operativos:

Economía:

Sólo se indicaron datos muy limitados sobre economía.

Una fuente informó de costes de inversión de 4 m de EUR, Voest [Input-HR-1]; mientras, otra señaló ahorros de 5 \$ por tonelada de acero [Com A] en conexión con la aplicación del CCAO.

Razón principal para su puesta en práctica:

- Mejora de la calidad del producto laminado, mayor rendimiento.
- Reducción de los costes de acondicionamiento de los planchones [Com A].

Referencias bibliográficas:

Aspectos del moderno control de calidad para la colada continua, 3ª Conferencia Europea sobre Colada Continua, 20 – 23 Oct. 1998 [Com A].

A.4.1.2.4 Laminación de planchones en cuña

Descripción:

En lugar de utilizar el oxicorte, los planchones en cuña se laminan bajo ajustes especiales del tren de laminación en caliente. La cuña se elimina mediante técnica de bordeado (control automático de anchura o prensa de dimensionamiento) o mediante recortado durante el cizallamiento posterior de las bandas laminadas en caliente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Se evitan las emisiones y residuos generados normalmente por el oxicorte.

Aplicabilidad: Plantas nuevas y plantas existentes en caso de modernización general [ComHR].

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.2.5 Corte de planchones

Descripción:

Con el fin de mejorar la productividad del moldeador, los planchones se moldean a menudo en anchos múltiples. Los planchones se cortan antes de la laminación en caliente mediante dispositivos de corte en tiras, laminación con corte en tiras o sopletes, operados manualmente o montados en una máquina. De este modo se evitan los planchones en cuña.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Se evitan las emisiones y residuos derivados de la corrección de las cuñas.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

- Consumo adicional de energía [Com A].

Plantas de referencia

- Krakatau Steel [Com A].

Datos operativos:

Esta técnica requiere una mayor calidad de separación de los centros.

Consumo de gas $1.6 \text{ Nm}^3 / \text{t planchón}$

Consumo de oxígeno $2.7 \text{ Nm}^3 / \text{t planchón}$

Pérdida de rendimiento 1.4 – 3.0 % del peso del planchón, según sus dimensiones [Com A].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Mayor capacidad de los moldeadores, al permitir colada doble o triple [Com A].

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3 Hornos de recalentar y de tratamiento térmico

A.4.1.3.1 Medidas generales para un funcionamiento energéticamente eficaz y bajo nivel de emisiones

Diseño del horno

El diseño del horno y el grado de aislamiento tienen un efecto significativo sobre la eficacia térmica. El horno en su conjunto, el número y la capacidad instalada de los quemadores debe ser calculada cuidadosamente partiendo de diversos escenarios realistas de producción. Deben tenerse en cuenta distintas temperaturas de calentamiento del material, las diferencias en el ritmo de producción causadas por los cambios en las dimensiones del material o derivadas de cambios en la velocidad de producción del taller de laminación en caliente, así como los periodos en los que se aplica carga directa o en caliente [EUROFER HR].

Debe disponerse del material apropiado para limitar las emisiones y el consumo de energía en caso de una interrupción repentina de la línea. Esto significa que se pueda disminuir la temperatura fácilmente o se puedan desconectar determinadas secciones del horno. En este último caso, una purga con N₂ puede ser necesaria por motivos de seguridad [EUROFER HR], [Com HR].

Generalmente, deben considerarse las siguientes recomendaciones, preferiblemente en el proceso de diseño:

- Incorporación de una zona de recuperación de material en el horno, con una sección de precalentamiento sin encendido que sea bastante grande para asegurar una máxima recuperación del calor de los gases de combustión.
- Los quemadores radiantes en el techo del horno, debido a la rápida disipación de calor, producen menores niveles de NO_x.
- El retorno de los gases de combustión a los quemadores influye sobre el nivel de emisión de NO_x.
- Las propiedades aislantes del material refractario son importantes, por lo que deben tomarse medidas constructivas para alargar la vida de este material, ya que los daños en el mismo no pueden repararse inmediatamente.
- El uso de material refractario de baja masa térmica puede reducir pérdidas de la energía almacenada y reducir la energía y el tiempo de encendido [ETSU-G76]. Las fibras cerámicas son generalmente más baratas que los módulos de hormigón premoldeado y tienen buenas propiedades aislantes. No obstante, siguiendo una Directiva Europea, su uso está o estará restringido, ya que pueden causar cáncer por inhalación. En estado nuevo, las fibras producen polvo cuando son manipuladas y pueden causar irritación en la piel. Tras el calentamiento, se forma cristobalita, que se sospecha que produce cáncer. No obstante, nuevas fibras cerámicas son también consideradas sospechosas [Com2 HR].
- La mejora en la estanqueidad de los hornos y la instalación de puertas especialmente diseñadas, con el fin de reducir el aire atrapado [ETSU-G76].
- Las zonas con puertas y/o los huecos de las puertas de carga/descarga deben minimizarse, usando cortinas refractarias aislantes para los momentos en que las puertas deban estar necesariamente abiertas (siempre que pueda evitarse un daño mecánico excesivo al material) [ETSU-G76].
- Medidas como la compensación de marcas de deslizamiento o la desviación de las guías, para evitar las marcas de deslizamiento y utilizar una menor temperatura de calentamiento [EUROFER HR].

Recuperación del Calor Residual

El calor contenido en los gases que salen del horno de recalentar constituye normalmente la principal pérdida de energía. Deben considerarse los principios básicos de las opciones de recuperación de calor:

- (a) Minimización de la pérdida de energía en los gases de escape.
- (b) Reciclado de la energía de los gases de escape de vuelta al horno.
- (c) Uso de la energía de los gases de escape para otros fines (externos).

Como se ha mencionado en el diseño del horno, la pérdida de energía puede minimizarse creando un elevado gradiente de temperatura a lo largo de los hornos, expulsando los gases de escape en el extremo frío (de descarga) y utilizando el calor para la recuperación del material. El uso de la energía de los gases de escape fuera del horno implica simplemente la generación de vapor, que puede utilizarse en otros

lugares de la planta. El uso de la energía de los gases de escape dentro del horno comprende básicamente tres sistemas de recuperación de calor: quemadores regenerativos, quemadores autorrecuperadores y recuperadores, que se presentan con mayor detalle más adelante [ETSU-G76].

Operación y Mantenimiento

El horno debe gestionarse con 'buen oficio'. Incluso las instalaciones sofisticadas pueden dar malos resultados en cuanto a emisiones y eficacia térmica si el proceso no se gestiona adecuadamente y las instalaciones no se mantienen de forma regular. La experiencia ha demostrado que un buen cuidado de las instalaciones puede reportar ahorros de combustible de hasta un 10% [ETSU-G76].

Deben evitarse turbulencias en la llama de los quemadores. Las investigaciones han revelado un marcado incremento en la producción de NO_x por fluctuaciones de temperatura en comparación con los valores de NO_x producidos por una llama estable que funcione a la misma temperatura. El sistema de control debe por lo tanto ser apropiado.

El exceso de aire es también un factor importante para el control del nivel de emisiones de NO_x, el consumo de energía y la formación de cascarilla. Debe minimizarse el exceso de aire sin una excesiva emisión de CO. Debe tenerse especial cuidado en evitar la presencia de aire atrapado, que aumenta el consumo de energía así como la emisión de NO_x. Un espectrómetro de masas resulta útil para mantener la relación aire/gas a un nivel óptimo para los combustibles de composición variable o desconocida [EUROFER HR].

El calor almacenado en los materiales refractarios se suministra durante el periodo de encendido y el primer turno de producción. Durante el funcionamiento continuo este calor almacenado se considera normalmente despreciable. Cuando se emplean prácticas de reducción de turnos (por ejemplo, en los fines de semana) o cuando se enfrían deliberadamente los hornos por motivos de mantenimiento, estas pérdidas de energía pueden convertirse en un factor importante, ya que esta energía deberá aportarse durante el calentamiento del horno para el siguiente periodo de producción. En dos casos, se señalaron las pérdidas de energía almacenada durante el cierre del fin de semana: 0,409 GJ/m² y 0,243 GJ/m². Durante las paradas de producción en fin de semana, las puertas deben cerrarse y sellarse para retener el calor. El uso de refractarios de baja masa térmica puede reducir el tiempo en encendido, el consumo de energía y los costes operativos [ETSU-G76].

Elección del combustible

Las acerías integrales utilizan normalmente gases del horno de coque, el alto horno o el horno de oxígeno básico (BOF), a veces en mezcla con gas natural. El gas del horno de coque sin desulfurizar y los combustibles líquidos que contienen azufre (incluido el gas licuado de petróleo (LPG) y todos los tipos de aceite (destilado y residual) y emulsiones) son las principales fuentes de emisión de SO₂ de los hornos de recalentar. Si fuera necesaria, la desulfurización debería realizarse en las plantas de producción y suministro de gas (ej: batería de hornos de coque). El uso de combustible líquido es a veces necesario para continuar las operaciones durante una parada temporal en el suministro de combustibles gaseosos, que puede producir una elevada emisión de óxidos de azufre. La limitación del contenido en azufre en el fuel oil es una medida para reducir las emisiones de SO₂. Cuando sea posible, debe potenciarse al máximo el uso de los gases de planta, que minimiza el uso de recursos valiosos y la necesidad de quemar en antorcha los gases de planta.

La emisión de SO₂ está directamente relacionada con el contenido en S del combustible. Debido a las distintas relaciones del volumen de los gases de combustión y el volumen del combustible gas para distintos combustibles, un contenido en S comparable en dos combustibles distintos puede producir una marcada diferencia en el contenido en SO₂ en los gases de combustión. Según el combustible utilizado, se consiguen los siguientes niveles de SO₂:

- gas natural < 100 mg/Nm³
- todos los demás gases y mezclas de gases < 400 mg/Nm³
- fuel oil (< 1 % S) hasta 1700 mg/Nm³

Las técnicas para una combustión eficaz se basan en el diseño de los quemadores, el método de atomización y el control del aporte de aire. Se requiere un sistema de control de los suministros de combustible y aire, que tiene importancia para el control de la contaminación atmosférica. Es importante

que la atomización del fuel oil sea eficiente, y la consideración primordial será la viscosidad del combustible alimentado a los quemadores [EUROFER HR].

Por lo que respecta a la formación de NOx, los gases de combustión individuales muestran asimismo un comportamiento distinto. Por ejemplo, el gas residual del horno de coque contiene de un 50 a un 100% más NOx que el gas residual de combustión con gas natural.

La composición del combustible guarda relación con la temperatura de la llama. El metano (gas natural) quema de forma relativamente lenta en comparación con combustibles con un elevado contenido en H₂ (ej: gas del horno de coque), que tienden a quemar más rápidamente y con un nivel de emisión de NOx más elevado (hasta un 70% mayor). El tipo de quemador debe ser apropiado para los combustibles disponibles [EUROFER HR].

A.4.1.3.2 Automatización del horno / control del horno

Descripción:

Con la ayuda de un ordenador de control, el proceso de calentamiento puede optimizarse (ej: para que no haya sobrecalentamiento innecesario de los planchones durante las interrupciones, o para un control de temperatura más preciso), de acuerdo con la calidad y las dimensiones del material. Al mismo tiempo, parámetros como la proporción de aire de combustión se controlan de forma más exacta [EUROFER HR].

Control de presión del horno: Si la presión del horno está por debajo de la presión atmosférica, entrará aire frío en la cámara a través de las puertas y aberturas. Análogamente, si está por encima de la presión atmosférica, los gases calientes serán expulsados a través de las mismas aberturas. Por motivos de eficacia energética, consistencia y calidad del producto, los hornos se utilizan a una presión ligeramente positiva en comparación con el aire exterior [ETSU-G76]. Otro motivo para mantener una presión de horno ligeramente positiva es por seguridad, para evitar la entrada de aire que podría producir una mezcla explosiva si se inflamara el combustible/gas, especialmente en el arranque [Com HR].

Control de la relación aire/combustible: El control de la relación de aire/combustible es necesario para regular la calidad de la combustión, ya que asegura la estabilidad de la llama y la combustión completa. El ajuste de la relación aire/combustible de la forma más próxima posible a las condiciones estequiométricas produce una mejor eficacia del combustible y reduce las pérdidas de energía del gas de escape. Las mediciones de la concentración de oxígeno en los productos de combustión del horno pueden utilizarse para proporcionar una señal que permita el ajuste fino de los sistemas de control de la relación aire/combustible (Control Preciso del Oxígeno) [ETSU-G76].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción de las emisiones de NOx.

Aplicabilidad:

- Hornos de recalentar continuos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios: No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia

- Roundwood Coil Bar Mill, Rotherham Engineering Steels Ltd, UK.
- British Steel, Teesside, Reino Unido.
- Benteler AG, Dinslaken, Alemania [StuE-116-11].

Datos operativos y **Economía:**

Ejemplo de Control Preciso del Oxígeno:

Un ejemplo de células de medición de oxígeno a base de zirconio ha sido instalado en el horno de balancín de Rotherham Engineering Steels, que se utiliza para recalentar palanquillas cuadradas desde frío hasta 1200°C. El horno, de 110 t/h de capacidad, opera 6 zonas de temperatura controladas independientemente. Normalmente es alimentado por gas natural, con fuel pesado como alternativa durante las interrupciones en el suministro de gas. El control preciso del oxígeno produjo una menor concentración media de oxígeno en el horno que con un control convencional de la relación

aire/combustible. Se obtuvo un ahorro energético de alrededor de un 2%: aunque la reducción del contenido de oxígeno sugiere que pueden obtenerse de forma realista ahorros de alrededor del 4,7%, este potencial ha sido reducido por un aumento de la temperatura en las zonas de calentamiento. Los beneficios adicionales fueron una mejora de la calidad del producto y una reducción de los costes de mantenimiento [ETSU-FP15], [ETSU-G77].

La reducción del consumo energético del 2% fue equivalente a un ahorro de costes de combustible de 26000 £ / año, lo que permitió un periodo de amortización simple de 1 año de la inversión inicial de 26572 £ / año (año de referencia 1989) [ETSU-FP15].

Ejemplo de Gestión de Hornos con Control Computerizado

La gestión mediante control computerizado, instalado en dos hornos de empuje utilizados para recalentar planchones de carga en frío en BS, Teeside, Reino Unido, produjo ahorros de energía del 15% para ambos hornos. Las zonas de temperatura, que anteriormente se ajustaban manualmente, pasaron a ser controladas por ordenador (mediante modelos matemáticos en línea) para generar perfiles de calentamiento óptimos [StuE-116-11].

Automatización hornos ²	Reducción [%]		Coste de inversión [M EUROS]	
	NOx	Energía ¹	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
	10	10	2,0	2,0

Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).

¹ En términos de porcentaje, la reducción de energía es igual a la reducción en las emisiones de SO₂, CO y CO₂.

² Con la automatización del horno se aplican todas las medidas que permiten una rápida adaptación de los parámetros del horno a cambios en la producción y un estricto control del exceso de aire.

Tabla A.4-4: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para la automatización de hornos

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:[ETSU-FP15], [ETSU-G77], [ETSU-G76].

A.4.1.3.3 Diseño optimizado de las puertas de los hornos

Descripción:

Las puertas de horno convencionales (de un segmento) dejan huecos junto al material de alimentación a través de los cuales se escapan los gases del horno (o puede aspirarse aire atrapado al horno, véase impacto negativo del exceso de aire). En caso de escape de los gases del horno, esto produce no sólo una emisión fugitiva (incontrolada), sino también una pérdida de gas residual que de otro modo podría usarse para el precalentamiento del aire de combustión. La eficacia de recuperación se ve pues reducida.

El diseño moderno de puertas de hornos incluye gran número de puertas simples (ej: 64 puertas en un ancho de 15,6 m) en el refractario que pueden bajarse a la izquierda y a la derecha del material de alimentación [StuE-117-5].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

- Hornos de recalentar nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios: No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia: Stahlwerke Bremen.

Datos operativos:

El cambio del diseño de las puertas de los hornos (de un horno de balancín) produjo un aumento de la temperatura de precalentamiento del horno (recuperación) de 60° con una reducción del consumo de energía de 0,05 GJ/t [StuE-117-5].

Economía:

Con la reducción obtenida del consumo energético de 0,05 GJ/T y un coste de inversión de 1 m de DM (año de referencia 97) para dos puertas y una producción de unos 3,5 Mt, la amortización de la inversión fue de 1 año [StuE-117-5].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.4 Sistema de quemadores regenerativos

Descripción: véase Capítulo D.2.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción del volumen total de los gases de combustión.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Plantas existentes, siempre que haya espacio disponible.

Efectos sobre otros medios

- Puede producirse niveles de emisión de NO_x más elevados [EUROFER HR].
- El menor consumo energético tiene un efecto positivo en el SO₂ y el CO₂.

Plantas de referencia: Una pequeña parte de hornos de recalentar.

Información operativa y **Economía:**

Ejemplo A:

Una planta del Reino Unido que operaba un horno de balancín para calentar diversos tamaños de tubos de acero (hasta 200 mm de diámetro y 15 m de longitud) desde frío a 1050°C, cambió su combustión a quemadores regenerativos. Los 44 antiguos quemadores a gas natural de boquillas mixtas fueron sustituidos por 12 pares de quemadores regenerativos. Al mismo tiempo, el perfil del techo fue modificado par mejorar el control zonal y la circulación de gas caliente. Como resultado de la modificación de la planta, el consumo específico de energía se redujo de un valor típico de 3,55 GJ/t a 1,7 GJt, produciendo un ahorro del 52 % en el uso del combustible. La capacidad de producción mejoró en un 14%. El periodo de amortización fue inferior a tres años [ETSU-G77].

Ejemplo B:

Rotherham Engineering Steels modernizó en 1987 uno de sus hornos Pit de recalentamiento con quemadores regenerativos de bajo nivel de NO_x y doble combustible. El horno Pit original producía lingotes para alimentar un laminador de palanquilla, con una carga nominal de unas 100 t calentada hasta unos 1300 °C. Alrededor del 80% del material se cargaba en caliente a unos 750 °C, un 20% se cargaba en frío procedente de stock (no había cargas mixtas de material caliente y frío). El horno Pit podría quemar dos combustibles, gas natural o fuel oil pesado, en un quemador principal de 6,5 MW en la parte superior de una de las paredes de fondo y en una unidad suplementaria de 750 kW directamente debajo. Un recuperador de tubos concéntricos suministraba aire precalentado sólo al quemador principal. En relación con la planta original únicamente se cambió el sistema de combustión; la estructura, el tonelaje de material y los objetivos térmicos siguieron siendo esencialmente los mismos. Se instaló un conjunto de dos quemadores regenerativos en cada extremo el horno Pit. El control a largo plazo mostró un ahorro de energía del 40% para el modo de combustión de fuel oil. El control a corto plazo de la combustión de fuel oil confirmó el mismo ahorro. El coste de la modificación fue de 170000 £ (incluidas 21500 £ de desarrollo *in situ* de los quemadores), con una amortización de 2,4 años (2,1 sin el desarrollo de los quemadores) [ETSU-NP-54].

Ventajas y desventajas:

Pueden producirse mayores emisiones de NO_x (el valor típico es 350 mg/Nm³), pero en combinación con el menor consumo de energía y la reducción del caudal de gases residuales, la emisión específica de NO_x

(en g/tonelada de acero) es comparable con el nivel específico de emisiones de NO_x alcanzado con otros sistemas [EUROFER HR].

Un inconveniente de los sistemas regenerativos es su sensibilidad al polvo. Si el proceso de calentamiento genera cantidades sustanciales de polvo, la permeabilidad de los rellenos cerámicos del regenerador cae muy rápidamente y los rellenos deben sustituirse en consecuencia. Este tema parece ser un problema menor en los hornos de recalentar en las acerías [EUROFER HR].

Los quemadores regenerativos son normalmente mayores que los quemadores convencionales. Por consiguiente, las limitaciones de espacio pueden ser un obstáculo para instalar quemadores regenerativos en plantas existentes. Hasta la fecha, no ha sido posible utilizar sistemas totalmente regenerativos, ya que no pueden usarse para quemadores de techo [EUROFER HR].

Un sistema regenerativo puede tenerse en consideración para la construcción de hornos de recalentar nuevos en los casos en los que, debido al diseño de la planta, la longitud del horno de recalentar deba ser limitada. Del mismo modo, es posible obtener un aumento en la capacidad de producción de un horno existente instalando un sistema regenerativo sin aumentar la longitud del horno (que en muchos casos es una especificación fija) [EUROFER HR].

Este sistema es particularmente interesante para procesos en discontinuo, ya que éstos generalmente no contienen una zona de precalentamiento. En hornos continuos equipados con un sistema recuperador central, se alcanza una eficacia térmica similar mediante una larga zona sin calentar (precalentamiento), en la que el calor de los gases de combustión es transmitido por convección al material frío. Esto permite alcanzar una eficacia térmica el horno del 80% [EUROFER HR].

Los mayores costes de inversión (sistema regenerativo, quemadores más caros) pueden verse compensados por las ventajas de acortar la longitud del horno (planta nueva) y de una mayor eficacia del combustible [EUROFER HR].

Sistemas regenerativos	Reducción [%]		Coste de inversión [M EUROS]	
	NO _x	Energía ¹	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
	50	40	4,0	4,5

Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).

¹ En términos de porcentaje, la reducción de energía es igual a la reducción en las emisiones de SO₂, CO y CO₂.

Tabla A.4-5: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para los sistemas regenerativos

Razón principal para su puesta en práctica: mejora de la eficiencia energética y ventajas económicas.

Referencias Bibliográficas: [ETSU-G76], [ETSU-G77].

A.4.1.3.5 Recuperador y quemadores recuperativos

Descripción: Véase capítulo D.2.2.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de combustible/energía.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Plantas existentes en caso de modernización general [Com HR].

Efectos sobre otros medios

- Los niveles de emisión de NO_x pueden aumentar con la temperatura del aire de combustión.
- El menor consumo energético tiene un efecto positivo en el SO₂ y el CO₂.

Plantas de referencia:

 Información operativa y **Economía:**

	Reducción [%]		Coste de inversión [M EUROS]	
	NOx	Energía ¹	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
	50	25	1,0	2,2
Recuperador con bajo nivel de NOx (2ª generación)				
Quemador recuperativo	30	25	4,5	5,0

Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).

¹ En términos de porcentaje, la reducción de energía es igual a la reducción en las emisiones de SO₂, CO y CO₂.

Tabla A.4-6: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para recuperadores y quemadores recuperativos
Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias Bibliográficas:
A.4.1.3.6 Tecnología de combustión con oxígeno
Descripción

El aire de combustión normal se sustituye por oxígeno de calidad industrial.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía y de la emisión de CO₂.
- Reducción del CO y de las emisiones globales de NOx.

Aplicabilidad:

- Hornos nuevos.
- Hornos existentes en caso de modernizaciones importantes.

Efectos sobre otros medios

- Mayores concentraciones de emisiones de NOx, aunque las emisiones globales de NOx son menores.
- Posible riesgo para la seguridad por el uso de oxígeno puro.

Plantas de referencia: Varios estudios de casos (principalmente para acero inoxidable)

Al menos 50 unidades en funcionamiento diario para calentamiento de acero; hornos Pit, hornos con carro, hornos de caja, hornos con catenaria, hornos de solera giratoria, hornos de solera rodante, etc. Al menos 6 nuevos hornos funcionando en Suecia.

Datos operativos:
Economía:

- Bajos costes de inversión.
- Mayor coste de explotación si no se obtiene un aumento de producción.

Razón principal para su puesta en práctica:

- Aumento de la productividad.
- Ahorro de combustible
- Menores emisiones globales de NOx.

Referencias Bibliográficas:

 "All Oxy-Fuel in heating furnaces", Dr. Joachim von Schéele and Dipl. Ing. Tomas Ekman,
 "Nordic Steel and Mining Review 2000", página 100.

A.4.1.3.7 Quemadores de bajo nivel de NOx

Descripción: Véase Capítulo D.2.1.

Actualmente se hallan disponibles quemadores que combinan características de diseño de bajo nivel de NOx y precalentamiento de aire, como por ejemplo quemadores regenerativos de bajo nivel de NOx.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de NOx.

Aplicabilidad:

- Hornos nuevos.
- Plantas existentes en caso de modernizaciones importantes (puede haber limitaciones para la sustitución de los quemadores existentes por cuestión de tamaño) [Com HR]. Los quemadores convencionales existentes pueden por lo general convertirse en quemadores de bajo nivel de NOx de primera generación cambiando el deflector del quemador y el bloque de conductos. Una conversión a quemadores de bajo nivel de NOx de segunda generación es más difícil y requiere una modificación del revestimiento del horno [EUROFER HR].

Efectos sobre otros medios

- La recirculación interna de los gases de combustión, una característica de diseño de los quemadores de bajo nivel de NOx, reduce el nivel de NOx, pero puede aumentar el consumo de energía.

Plantas de referencia:

EKO Stahl, Aceralia, Voest Alpine, Preussag, etc.

Datos operativos y Economía:

En los quemadores de bajo nivel de NOx, el nivel de NOx depende menos de la temperatura de precalentamiento del aire. A veces en la práctica industrial, los quemadores de bajo nivel de NOx no ofrecen los mejores resultados en emisión de NOx. Esto muestra que la emisión total de NOx está influenciada por muchos otros parámetros como el diseño del horno, el tipo de combustible, la temperatura de calentamiento, el funcionamiento y el mantenimiento [EUROFER HR]. Por consiguiente, es necesario un cuidado especial por lo que respecta a las condiciones operativas y el control del funcionamiento.

En comparación con los quemadores convencionales puede obtenerse una reducción en el nivel de emisiones de NOx de aproximadamente el 30%. Un valor típico para el gas natural es 300 mg NOx /Nm³.

En dos casos, usando gas del horno de coque y fuel oil pesado, se señalaron niveles de emisión garantizados de 330 mg NOx/m³ (gas residual seco 5% O₂) [DFIU].

Ejemplos:

Voest Alpine opera 2 hornos de empuje (350 t/h) y 2 hornos de tratamiento térmico. La reducción del nivel de NOx sólo puede obtenerse si la capacidad del quemador es superior al 20%. Durante un tiempo de espera programado o no programado (capacidad del quemador < 20%) el nivel de NOx puede ser más del doble. Los costes de inversión fueron de 1 millón de Euros/horno (350 t/h) [Input-HR-1].

EKO Stahl opera un horno de balancín con una capacidad de 200 t/h. El horno está equipado con quemadores de bajo nivel de NOx y funciona a gas natural y una temperatura de precalentamiento del aire de 450 °C (volumen de gas residual 140000 m³/h). Se obtienen niveles de 400 mg/m³ para NOx y <100 mg/m³ para CO (referencia 5 % O₂) como medias diarias en caso de carga en frío.

También se señalaron emisiones de NOx de 250 mg/m³ (referencia 3% O₂) con quemadores de bajo nivel de NOx, en comparación con los valores de quemadores convencionales, de 300 – 500 mg/m³ [ACB].

	Reducción [%]		Coste de inversión [M EUROS]	
	NOx	Energía ¹	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
Quemadores con bajo nivel de NOx con recirculación interna de gases de combustión (1ª generación)	40	0	0	0,8
Quemadores con bajo nivel de NOx con recirculación interna de gases de combustión y etapas de aire (2ª generación)	65	0	0,2	1,2

Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).

Tabla A.4-7: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para quemadores de bajo nivel de NOx

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.8 Reducción catalítica selectiva (RCS)

Descripción

Una segunda medida para reducir las emisiones de NOx es la reducción catalítica selectiva. La descripción técnica general de la RCS se da en el Capítulo D.2.4.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de NOx.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Uso de amoníaco gas (su transporte y almacenamiento pueden ser peligrosos y sujetos a estrictas normas de seguridad).
- Riesgo de contaminación atmosférica por escape de amoníaco.
- Posible aumento del consumo energético [Vercaemst 27.7].
- Posible aumento en los residuos; catalizador desactivado, que puede ser reprocesado por el fabricante. Este caudal de residuos será probablemente mínimo [Vercaemst 27.7], [Oekopol 7.9].

Plantas de referencia:

Hoogovens Steel, horno de balancín [Com NL].

Datos operativos

Ejemplo: Taller de Laminación en Caliente N° 2 de Corus/Hoogovens en IJmuiden:

En IJmuiden se aplica la técnica de RCS en los hornos de balancín que producen alrededor de 2,3 millones de toneladas de acero laminado en caliente anualmente. Debido a la construcción específica del canal de gases de combustión, fue posible construir el catalizador ordinario de RCS en el canal normal. El tipo de catalizador utilizado es adecuado para trabajar en un rango de temperaturas de 270 – 450 °C. Periodos cortos de temperaturas hasta 500 °C no dañan el catalizador. Con este tipo de instalación es posible obtener un índice de reducción global de más del 80%. La guía de la planta describe una reducción de 800 mg/Nm³ a 320 mg/Nm³ y una demanda para conseguir una reducción superior al 85%, lo que probablemente puede hacerse. La reducción de costes de la RCS en el horno de balancín de Corus/Hoogovens es de 4,20 NLG por kg de NOx reducido [EUROFER 31.3] [EUROFER 3.4].

En IJmuiden no se ha instalado todavía un sistema de RCS para un horno de empuje, pero hay uno en construcción. El inicio de las operaciones estaba previsto para junio de 2000. Para el segundo horno de empuje, está prevista la instalación de un sistema de RCS a principios del próximo año. Su eficacia será probablemente mucho peor que en el caso del horno de balancín. Debido a las elevadísimas temperaturas de los gases de combustión (75% por encima de 520 °C) debe emplearse un tipo de catalizador experimental. Este tipo sólo funciona adecuadamente en un rango de temperatura de 300 – 520 °C. A temperaturas por encima de 520 °C no puede inyectarse más amoníaco por los posibles daños que podrían producirse en el catalizador. A menos que se logre solucionar el tema de las altas temperaturas (es decir, se encuentren soluciones técnicas para este problema o se tomen medidas adicionales), se estima que la reducción global de NOx no será de más del 30% [EUROFER 31.3]. Se expresaron algunas dudas relativas a la viabilidad técnica de la RCS que pueden limitar su aplicabilidad a los hornos de recalentar:

- Es posible que aparezcan algunos problemas técnicos en la aplicación de la RCS a los hornos de recalentar/tratamiento térmico del acero, ya que el ritmo de producción (y por consiguiente el aporte térmico) y los perfiles de temperatura no tienen un régimen permanente. Para evitar un desprendimiento excesivo de NH₃ o un exceso de NOx en la chimenea, la velocidad de inyección de amoníaco debería controlarse para que se adaptara a los caudales de escape y concentraciones de NOx, que cambian con rapidez [ETSU-GIR-45].
- La tecnología de RCS requiere ciertos límites de temperatura y caudal volumétrico, que puede que no se alcancen en algunas plantas [DK 30.6].
- La temperatura requerida de los gases de escape para adecuarla a la RCS puede no ser fácilmente alcanzable. Si las temperaturas son demasiado elevadas, podría usarse aire de dilución, aunque el tiro del horno podría entonces no ser aceptable [ETSU-GIR-45].
- En caso de quemadores regenerativos, la eficacia de recuperación de calor de los gases de combustión se vería afectada, a menos que la RCS pudiera incorporarse en mitad de un lecho regenerador (es decir, el lecho debería dividirse) [ETSU-GIR-45].
- Muchas plantas recuperan el calor residual de los gases de escape por motivos de eficacia energética. La temperatura resultante del gas residual está en el rango de 150 – 210 °C y debe incrementarse para que el catalizador de RCS funcione adecuadamente. En consecuencia, sería necesario un aporte adicional de energía [EUROFER 2.7].
- Dado que sólo se dispone de una experiencia muy limitada en la aplicación de la RCS en hornos de recalentar (únicamente una planta y sólo para hornos de balancín), no está comprobado si esta técnica funcionará en todas las condiciones de temperatura y relaciones de aire [EUROFER 30.6].
- Con concentraciones de polvo más elevadas en el gas residual (ej: si se usa fuel oil como fuente de energía), sería necesaria la eliminación del polvo para proteger el catalizador [EUROFER 2.7].
- En acerías integrales, los gases de planta (gas superior del alto horno, gases de conversión del alto horno o gas del horno de coque) se utilizan como combustible. Normalmente contienen sólo cantidades despreciables de zinc u otros metales, pero éstas pueden contaminar la superficie del catalizador y reducir gradualmente su eficacia y vida útil [EUROFER 2.7].

Un problema que puede plantearse es la formación de partículas de sulfato ácido de amonio (NH₄)HSO₄ o bisulfato amónico (NH₄)₂SO₄ por la reacción del exceso de amoníaco transportado por el reactor de RCS con el SO₂ o SO₃ en la corriente de gases de combustión más fría. La deposición de estas partículas puede causar suciedad, erosión y corrosión de las superficies del equipo corriente abajo. La formación de sulfato amónico se minimiza mediante el uso de cantidades ligeramente subestequiométricas de NH₃ (0.9 – 1.0 moles por mol de NOx) para suprimir el arrastre [HMIP-95-003], [ETSU-GIR-45].

Economía: 4,20 NLG por kg de NOx reducido [EUROFER 3.4].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas: [HMIP-95-003], [ETSU-GIR-45], [EUROFER 31.3].

A.4.1.3.9 Reducción no catalítica selectiva (RNCS)

Descripción:

La descripción general de la RNCS se da en el Capítulo D.2.5.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de NO_x.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Uso de amoníaco gas (su transporte y almacenamiento pueden ser peligrosos y sujetos a estrictas normas de seguridad).
- Riesgo de contaminación atmosférica por escape de amoníaco.

Plantas de referencia:

Avesta Sheffield, hornos de balancín.

Datos operativos:

Ejemplo Avesta Sheffield:

En la planta de laminación en caliente para la laminación de planchones de acero para producir bandas, existen dos hornos de recalentar (hornos de balancín), cada uno con una capacidad de 100 t/h y que utilizan gas propano/butano como combustible. El horno A, suministrado por Stein Heurty, entró en producción en 1992, y el horno B, suministrado por Itaimpanti, en 1996.

Dado que esta es la mayor fuente puntual de NO_x de la planta, se han realizado acciones para reducir estas emisiones mediante la introducción de una instalación de RNCS. La instalación comprende principalmente un depósito de almacenamiento de amoníaco (dilución en agua al 25%), bombas, tuberías, lanzas de inyección, y un sistema computerizado de medición y control, en el que se agrega amoníaco al gas de escape de cada horno sobre la base de una medición continua de NO_x.

La instalación entró en funcionamiento continuo en octubre de 1989 y fue regulada durante el otoño. Las mediciones efectuadas en enero de 2000 arrojaron los siguientes resultados (NO_x medido como NO₂):

	Contenido en NO _x (mg/MJ combustible)	% Reducción	NO _x [mg/Nm ³]
Horno A	74	70	205
Horno B	62	30	172 (desprendimiento amoníaco 5 mg/Nm ³)

Los resultados obtenidos son promedios de mediciones continuas realizadas durante 32 horas en el Horno A y 42 horas en el Horno B. Se consideran normales y se espera que se mantengan en estos niveles en funcionamiento continuo.

El motivo por el que la reducción es inferior en el Horno B es que el contenido de óxido de nitrógeno sin amoníaco es menor que en el horno A.

La siguiente información sobre costes fue facilitada por el Tribunal Medioambiental Sueco en diciembre de 1999 en un informe sobre las posibilidades de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno de estos hornos.

El capital invertido (incluidos costes de instalación y puesta en marcha, así como el coste del equipo): 6,3 m de SEK (0,76 m de Euros)²².

Costes operativos (principalmente amoníaco y mantenimiento): 1,4 m de SEK anuales (0,169 m de Euros anuales).

²² Los costes en Euros se calcularon con un tipo de cambio de 0,12 EUR por 1 SEK.

Total inversión y costes operativos: 3,3 m de SEK anuales (0,40 m de Euros anuales).

Con la reducción de NOx arriba mencionada, las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden reducirse en 60 toneladas al año, lo que corresponde a un coste específico de 55 SEK (6,63 EUR) por kg de NOx reducido (medido como NO₂) [EUROFER 17.4].

Otras fuentes indican una eficacia de eliminación típica de NOx mediante RNCS del 50 – 60 % con un desprendimiento de NH₃ de 20 – 30 ppm [ETSU-GIR-45], pero se señalan reducciones incluso mayores, de hasta el 85%, en conexión con la inyección de amoníaco en un quemador regenerativo a gas natural. Otros informaron acerca del uso de amoníaco y urea inyectados en la corriente de llamas de un quemador (operando con aire precalentado a 900 °C) que quemaba una mezcla de gases de alto horno y de horno de coque. Para ambos reactivos, la máxima reducción fue del orden del 80%. Estos datos se derivan de hornos de prueba que no superan los 600 kWth, lo que en este caso supone una versión a escala 1/3 de un horno Pit [HMIP-95-003].

Se expresaron algunas dudas en relación con la viabilidad técnica de la RNCS, que pueden limitar su aplicación a hornos de recalentar. Los problemas de la aplicación de la RNCS a hornos de recalentar debido a las grandes variaciones en las condiciones de proceso (temperatura del gas residual, caudal volumétrico, etc.) y la no disponibilidad de una gama de temperaturas adecuada son probablemente las mismas que para la aplicación de la RCS (véase sección anterior):

- La gama de temperaturas para la RNCS es de alrededor de 850 – 1100°C (según el reactivo). Para los sistemas regenerativos con temperaturas de horno que superan ampliamente los 1000°C, el rango de temperaturas apropiado para la RNCS es posible que se encuentre dentro del lecho del regenerador, lo que puede ser un inconveniente para el uso del método. Los sistemas de control serían complicados si se debiera ‘seguir’ una gama de temperaturas cuya posición puede cambiar dentro del horno/quemador al modificarse los aportes térmicos y las velocidades de producción [HMIP-95-003], [EUROFER HR].
- Un posible inconveniente de la técnica de RNCS es la formación de sulfato amónico por el arrastre de un exceso de NH₃. El uso de combustibles gaseosos limpios como gas natural en conjunción con la RNCS debería evitar los problemas señalados de compuestos adhesivos o corrosivos que pueden producirse. Puede que este no sea el caso con los gases de acería que contienen azufre [HMIP-95-003].

Economía: los datos económicos de las plantas suecas muestran que el coste de 6,63 euros por kg de NOx reducido dan lugar a costes adicionales de 0,33 euros en la fabricación de 1 tonelada de acero laminado. Basándose en un precio de unos 400 euros por tonelada de banda laminada en caliente, el gasto relativo es del 0,08%. La producción anual de las dos plantas se estimó en 1,2 millones de toneladas de acero laminado [Alemania 7.4].

Razón principal para su puesta en práctica:

Las unidades de RNCS se aplicaron debido a aspectos de reglamentación local. El lugar de producción tiene un límite del total de emisiones anuales de NOx y se deseaba aumentar la producción. La mayor producción no podría realizarse a menos que se consiguieran algunas reducciones de emisiones, y se consideró que la instalación de RNCS era la mejor solución.

Referencias Bibliográficas: [HMIP-95-003], [ETSU-GIR-45], [EUROFER 17.4].

A.4.1.3.10 Recirculación externa de los gases de combustión (RGC)

Descripción: véase Capítulo D.2.3.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de NOx.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- En la práctica, para su retroaplicación, pueden existir dificultades físicas en la instalación de conductos, así como problemas de accesibilidad.

- Potencialmente difícil de controlar en casos en los que la composición y por tanto los volúmenes de gases residuales son variables (ej: en centros integrados en los que se utilizan gases de planta mixtos).

Efectos sobre otros medios

- Posible aumento del consumo de combustible (mientras el caudal de gas residual y la temperatura no se vean afectados por la RGC, la eficacia de la combustión y el consumo de combustible seguirán siendo los mismos, pero esto implica un aumento en la temperatura de precalentamiento del aire).

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Para un horno de recalentar planchones de acero que quema gas del horno de coque con una capacidad mínima de 140 t/h se señalan reducciones de NO_x de 51,4 %, 69,4 % y 79,8 % (desde un nivel de base de 657 mg/m³) para RGC del 10 %, 20 %, y 30 % respectivamente [ETSU-GIR-45].

Los datos de aumento en el consumo de combustible facilitados (y por lo tanto en la emisión de CO₂) para distintos diseños de quemadores se encuentran entre el 1,1 y el 9,9 % (RGC entre el 10 y el 50%) [ETSU-GIR-45].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.3.11 Caldera de calor perdido

Descripción:

Puede instalarse una caldera de calor perdido o de recuperación entre la salida del horno y la chimenea (reduciendo la eficacia del sistema de recuperación) o entre el recuperador y la tobera. En la caldera de calor perdido, el contenido calorífico del gas residual se utiliza para generar vapor. La temperatura del gas residual después de la caldera de calor perdido baja hasta unos 200°C. La generación de vapor por este método en este punto ahorra tener que generar esta energía en otra parte (ej: en la central de energía o de calefacción). Gracias a ello, pueden conseguirse considerables reducciones de energía y emisiones.

El vapor generado puede usarse dentro de la planta de laminación para calentar sistemas, o fuera del taller de laminación para producir energía eléctrica en las centrales de energía y para sistemas de calefacción municipal de larga distancia [EUROFER HR].

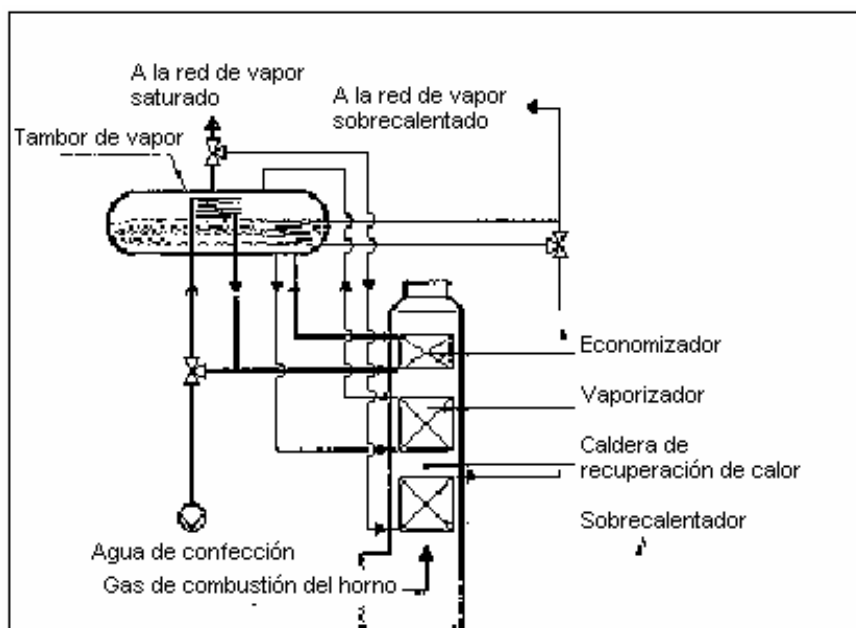


Figura A.4-3: Esquema de caldera de calor perdido o de recuperación [EUROFER HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Uso eficaz de la energía.
- Permite el ahorro de recursos, ya que no se consume combustible en otras etapas para producir el vapor y se reducen las emisiones.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas
- Plantas existentes, siempre que se disponga de espacio requerido.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Voest Alpine (2 calderas), Svenskt Stål AB

Datos operativos y Economía:

Ejemplo: Voest:

Temperatura del vapor: 320 °C

Presión de vapor: 18 bar

Temperatura del gas residual tras la caldera de agua: 200 °C.

Recuperación de energía: 0.17 GJ/t (12 % de consumo de combustible)

Costes de inversión: 4,5 M Euros/ caldera de recuperación (65t/h)

Caldera de calor perdido	Reducción [%] ¹		Coste de inversión [M EUROS]	
	NOx	Energía ²	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
	15	15	4,0	4,0
Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores). ¹ Las calderas de calor perdido tienen un efecto despreciable cuando se combinan con recuperadores o con sistemas regenerativos. ² Las reducción de energía en términos de porcentaje tiene el mismo efecto en la reducción de las emisiones de SO₂, CO y CO₂.				

Tabla A.4-8: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para calderas de calor perdido

Razón principal para su puesta en práctica: Menor consumo de energía, ventajas económicas.

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.12 Diseño optimizado de las guías para reducir las marcas de deslizamiento

Descripción:

SMC (Skid Mark Compensation) – Dispositivo de Compensación de Marcas de Deslizamiento

Los planchones calentados en el horno de empuje van sobre guías con tubos de apoyo que causan un enfriamiento local (marcas de deslizamiento) en la cara inferior de los planchones y que debe compensarse durante el tiempo de estancia en el horno Pit para evitar variaciones en el espesor del producto acabado.

El tiempo de resudado puede reducirse si se recalientan las marcas de deslizamiento con la aplicación de métodos adecuados, como el calentamiento inductivo local (dispositivo de compensación de marcas de deslizamiento). Las pérdidas debidas al sistema de refrigeración de la pared de solera son casi constantes a lo largo del tiempo, independientemente de si el horno opera a plena carga o con carga parcial.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: La reducción del tiempo de estancia en la solera y en consecuencia, del tiempo de paso, produce un ahorro de energía. Sin embargo, se ha señalado que el SMC requiere un gran aporte de energía para el calentamiento inductivo [Com2 HR].

Monturas de Guía de Horno

Una medida adicional para reducir la formación de marcas de deslizamiento es el uso de las monturas de guía. Se trata de fijaciones para los rieles refrigerados por agua fabricadas con un material especial (aleación metálica o cerámica) que reduce la disipación de temperatura.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: Al igual que con el sistema SMC, es posible obtener una reducción de la compensación de temperatura, en combinación con una mayor velocidad de paso y menor consumo de energía.

Desviación de las guías

En los hornos de balancín modernos, el material en el que se apoyan las guías no es totalmente recto a lo largo del horno. Principalmente la última sección de las guías, cerca del lado de salida del horno, está desviada, con un grado de desviación diseñado para distribuir y por consiguiente reducir las marcas de deslizamiento.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen: Se mejora la calidad y se reduce la cantidad de residuos.

Aplicabilidad:

- Monturas de guía de horno: Sólo aplicables a instalaciones nuevas, ya que deben considerarse en la fase de diseño.
- Dispositivo de compensación de marcas de deslizamiento: instalaciones nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

La reducción indicada para la desviación de las guías, la compensación de marcas de deslizamiento o las monturas de guía fue del 1% en cuanto a consumo energético y del 1% en emisiones de NOx [EUROFER HR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.13 Reducción de la pérdida de energía en el transporte de material

Descripción del dispositivo:

En los hornos de recalentar se utiliza refrigeración por agua para proteger algunos componentes y mantener su resistencia física; por ejemplo, las puertas, los dinteles y el mecanismo de transporte de material o sistema de apoyo. Los componentes refrigerados por agua representan una fuente significativa de pérdida de energía. En particular, las pérdidas a través de los sistemas de transporte de material en los hornos continuos (de balancín), pueden representar entre el 6 y el 12% del consumo de combustible en condiciones operativas normales. Cerca del final del periodo operativo del horno, cuando el aislamiento de los componentes refrigerados comienza a degradarse, las pérdidas pueden ascender al 20 o 25% [ETSU-G76], [Com2 HR].

Las pérdidas de las estructuras de apoyo de material pueden minimizarse en la fase de diseño optimizando o reduciendo el número de vigas y soportes refrigerados, así como utilizando un aislamiento adecuado [ETSU-G76].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Se indicó una reducción en las pérdidas por refrigeración de agua de 26.7 GJ/h (equivalente a un ahorro de combustible de 44.5 GJ/h)

Aplicabilidad:

- Hornos nuevos y existentes.
- Para los hornos existentes, la optimización puede hacerse durante el mantenimiento de los refractarios [Com2 HR].

Efectos sobre otros medios

- Reducción del 46% en el uso de agua [ETSU-G76].
- Reducción del consumo de energía del mecanismo de empuje [ETSU-G76].
- Reducción de las marcas de deslizamiento, mejora de la calidad [ETSU-G76].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.14 Refrigeración evaporativa de las guías de horno

Descripción

La energía de refrigeración disipada de las guías puede usarse para generar vapor. Un circuito cerrado de refrigeración forzada, que hace circular una mezcla de aproximadamente 95% de agua y 5% de vapor saturado, puede instalarse en los hornos de recalentar. El vapor producido por la refrigeración de los tubos de soporte (guías) del material a laminar se extrae del circuito y se distribuye a otros puntos de consumo para su aprovechamiento [EUROFER HR].

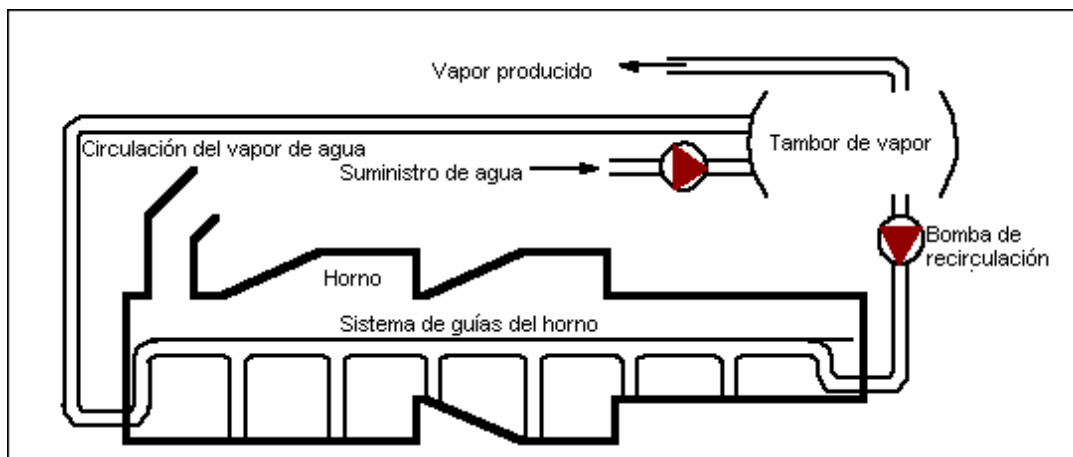


Figura A.4-4: Esquema típico de refrigeración evaporativa de guías de horno [EUROFER HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Eficacia en el uso de la energía, se ahorran recursos y no se consume combustible en otras etapas para producir el vapor, las emisiones se reducen.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes.
- Sólo es razonable cuando hay un requisito específico de vapor [ETSU-G76].

Efectos sobre otros medios: No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia: Svenskt Stål AB, EKO Stahl

Datos operativos y Economía:

Ejemplo: EKO Stahl [Input-HR-1].

- presión de trabajo media de caldera:	23 bar
- temperatura media del agua de refrigeración:	222 °C (a 23 bar)
- posible producción de vapor para la turbina:	10 – 41 t/h (según la situación del materia refractario y las condiciones de trabajo del horno)
- capacidad del generador:	4,16 MW
- producción de vapor (carga en frío):	Ø 18 t/h
- producción de vapor (carga en caliente):	Ø 22 t/h
- energía recuperada:	n.d.

Los potenciales de reducción generales reportados y los datos de costes se dan en la siguiente tabla:

Refrigeración evaporativa de guías de horno	Reducción [%] ¹		Coste de inversión [M EUROS]	
	NOx	Energía ²	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes
	7	7	4,0	4,0

Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).

¹ La refrigeración evaporativa de guías de horno tiene un efecto despreciable cuando se combina con recuperadores o con sistemas regenerativos.

² Las reducción de energía en términos de porcentaje tiene el mismo efecto en la reducción de las emisiones de SO₂, CO y CO₂.

Tabla A.4-9: Reducciones típicas obtenibles y datos de costes para refrigeración evaporativa de guías de horno

Sólo cabe esperar un efecto marginal de la refrigeración evaporativa de las guías de horno cuando se combina con un buen aislamiento de las guías.

Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias Bibliográficas:
A.4.1.3.15 Precalentamiento del material de alimentación
Descripción:

El calor en el gas residual de los hornos de calentamiento puede usarse para precalentar el material de alimentación impulsando el gas residual caliente de la parte superior e inferior sobre el planchón. Incluso tras quemadores regenerativos y un caldera de calor perdido, el gas residual puede tener suficiente energía para calentar los planchones hasta 400 °C. La *Figura A.4-5* muestra el ejemplo de un precalentador de planchones instalado antes de un horno de calentamiento de empuje.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía en el horno de recalentar (20 %).

Aplicabilidad:

- Hornos de recalentar continuos nuevos y existentes (para los casos en los que la recuperación del material no esté ya incorporada en el horno).

Efectos sobre otros medios No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia: Preussag Stahl, Salzgitter.

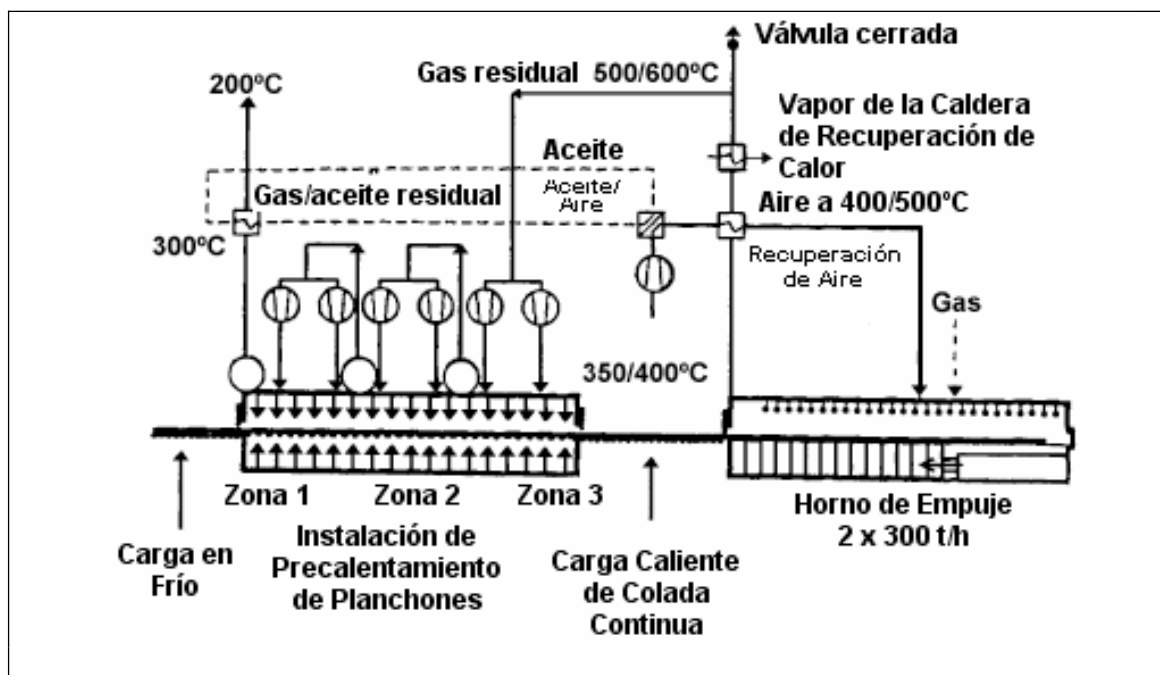


Figura A.4-5: Principio de precalentamiento de planchones mediante gas residual [StuE-113-10].

Datos operativos:

Ejemplo:

El precalentador que se muestra en la Figura A.4-5 está instalado antes de 2 hornos de empuje. Los hornos tienen capacidades de 300 t/h y tienen 2 quemadores regenerativos. El calor del gas residual del horno se utiliza primero para recuperación de calor en una caldera de calor perdido. Después ya está a una temperatura de 500 – 600 °C y se utiliza para precalentar los planchones hasta 400 °C. El gas residual que sale el precalentador todavía tiene una temperatura de 300 °C y se utiliza para precalentar el aire de combustión para los quemadores regenerativos del horno de recalentar hasta 150 °C (mediante intercambiadores de calor por aceite). El gas residual sale a una temperatura de 200 °C [StuE-113-10].

Como alternativa a los precalentadores, el calor del gas residual puede usarse en hornos de balancín muy largos, en la larga zona de precalentamiento sin combustión [StuE-113-10].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias Bibliográficas:

A.4.1.3.16 Caja de conservación de calor / cubiertas térmicas

Descripción:

Las cajas calientes o cámaras aisladas se utilizan para promover la retención de calor en el acero y servir de eslabón entre la fuente de material caliente y el horno. Los productos semiacabados, que no pueden cargarse inmediatamente (debido a la coordinación del programa y para cubrir los huecos causados por las interrupciones) se almacenan en esta caja sin calefacción aislada térmicamente en lugar de almacenarse en depósitos abiertos. De este modo se reducen las pérdidas de calor de los planchones y la temperatura de la carga se mantiene elevada. En promedio el tiempo de almacenamiento de los planchones es de 8 horas. La temperatura de los planchones almacenados aislados es unos 220° superior a la de los planchones almacenados en abierto [EUROFER HR], [ETSU-G76].

Otro método para reducir la temperatura operativa del horno y evitar las pérdidas de calor entre el horno y el tren de laminación son las cubiertas térmicas (pantallas que retienen el calor) instaladas entre la salida

del horno y los laminadores. Las pérdidas desde la máquina de moldeo al horno de recalentar pueden evitarse mediante el mismo tipo de medidas [DFIU98], [ETSU-G76].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía en el recalentamiento.
- Las cubiertas térmicas para el transporte de planchones entre la máquina de colada continua y un horno de recalentar pueden ahorrar unos 0.33GJ/t [DFIU98].

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes.
- Todas las plantas de colada continua con tren de laminación adyacente [Com A].
- Son aplicables las mismas limitaciones que para la carga en caliente [Input-HR-1].

Efectos sobre otros medios No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia:

- VA Stahl Linz, (max. 5000 t), Austria [Input-HR-1].
- HADEED, Saudi Arabia [Com A].
- Stahlwerke Bremen [STuE-117-5].

Datos operativos:

Ejemplo

Se realizó una investigación sobre posibles medidas para aumentar la temperatura de carga de planchones de colada continua a un horno de recalentar en Stahlwerke Nremen, utilizando un modelo numérico. Los resultados basados en una simulación por ordenador y mediciones para dicha instalación mostraron que la temperatura del centro del planchón inmediatamente tras el modelo era de 950 °C. En su camino al depósito de la planta de laminación en caliente, los planchones se enfriaban 200 °C, hasta 750 °C: durante el tiempo de almacenamiento de 24 horas, los planchones siguieron bajando de temperatura, dejando una temperatura remanente de carga al horno de recalentar de unos 250 °C. Optimizando la sincronización de la máquina de colada continua, el tiempo de almacenamiento podía reducirse a un tercio. Por otra parte, los planchones fueron cubiertos con cubiertas térmicas con un forro de lana mineral de 50 mm. Se probó que durante un almacenamiento de 8 horas, comenzando desde 750 °C, podía mantenerse una temperatura de carga de 700 °C. En comparación con las anteriores condiciones de carga (350 °C), éstas representaban un aporte adicional de energía al horno de 0,26 GJ/t, derivándose el ahorro en su mitad del menor tiempo de almacenamiento y en la otra mitad del aislamiento térmico [StuE-117-5].

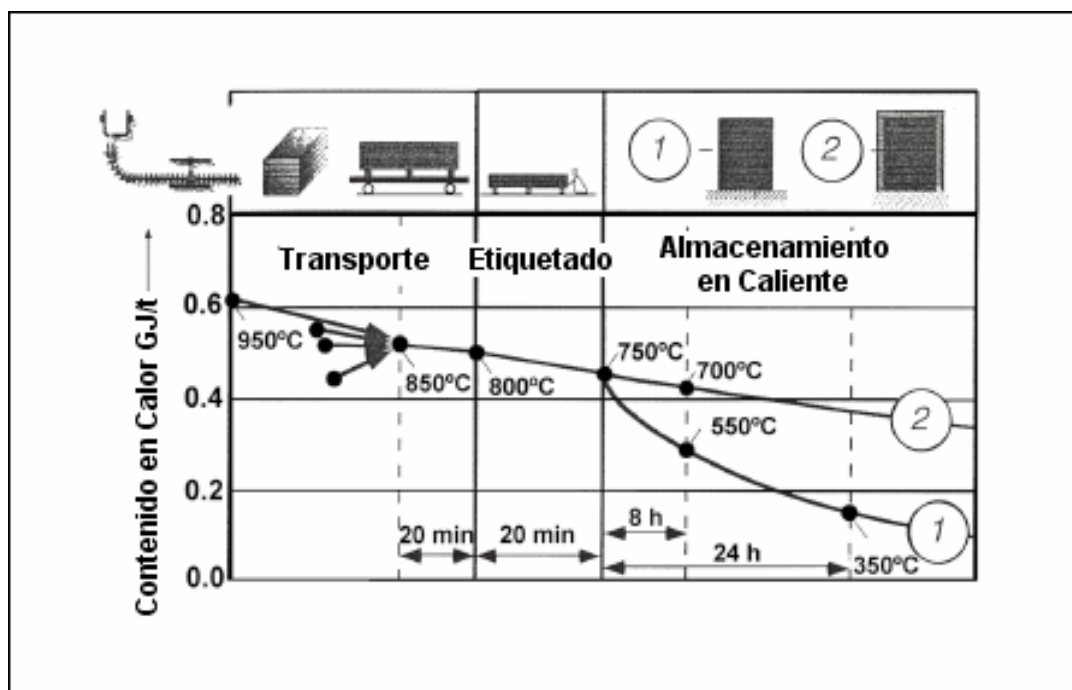


Figura A.4-6: Almacenamiento modificado para aumentar la temperatura de carga [StuE-117-5].

Economía:

Amortización de la inversión en 1 año en VA Stahl Linz [ComA].

Costes de inversión 2 M Euros, Voest [Input-HR-1].

Razón principal para su puesta en práctica:

- Mayor capacidad de los hornos y los trenes de laminación.
- Mayor índice de carga en caliente en conexión con el CCAO [Com A].

Referencias Bibliográficas

Ideas and Concepts for Hot or Direct Charging (Ideas y Conceptos para Carga en Caliente y Directa), Artículo N° 50, 7ª Conferencia Internacional sobre Colada Continua, 20 – 22 de mayo de 1996 [Com A].

A.4.1.3.17 Carga en caliente / laminación directa

Descripción:

Contrariamente al proceso convencional (almacenamiento y enfriamiento del material), el calor residual de los planchones de colada continua, tochos, perfiles en bruto o palanquillas se utiliza cargándolos directamente (con su contenido de calor residual) en los hornos de recalentar. La carga en caliente hace referencia a temperaturas de carga de 300 a 600 °C; la laminación directa, a temperaturas de carga de 900 a 1000 °C. Esta técnica sólo puede aplicarse si la calidad de la superficie es bastante buena de modo que no se requiera enfriamiento y desbarbado y si los programas de fabricación de la acería y de la planta de laminación en caliente pueden ajustarse adecuadamente. Se utilizan ordenadores de control para coordinar la producción de ambos departamentos de acuerdo con los pedidos de los clientes y para preparar los programas de laminación.

La Figura A.4-7 presenta un posible esquema de flujo de material en una planta que permita tanto carga en frío como carga templada y en caliente. Un plan de producción optimizado y un sistema de control para sincronizar los programas de producción de la acería y del taller de laminación pueden conseguir un porcentaje de carga en caliente de más del 60% a unos 800 °C. Puede ser necesario un horno Pit situado antes del tren de laminación.

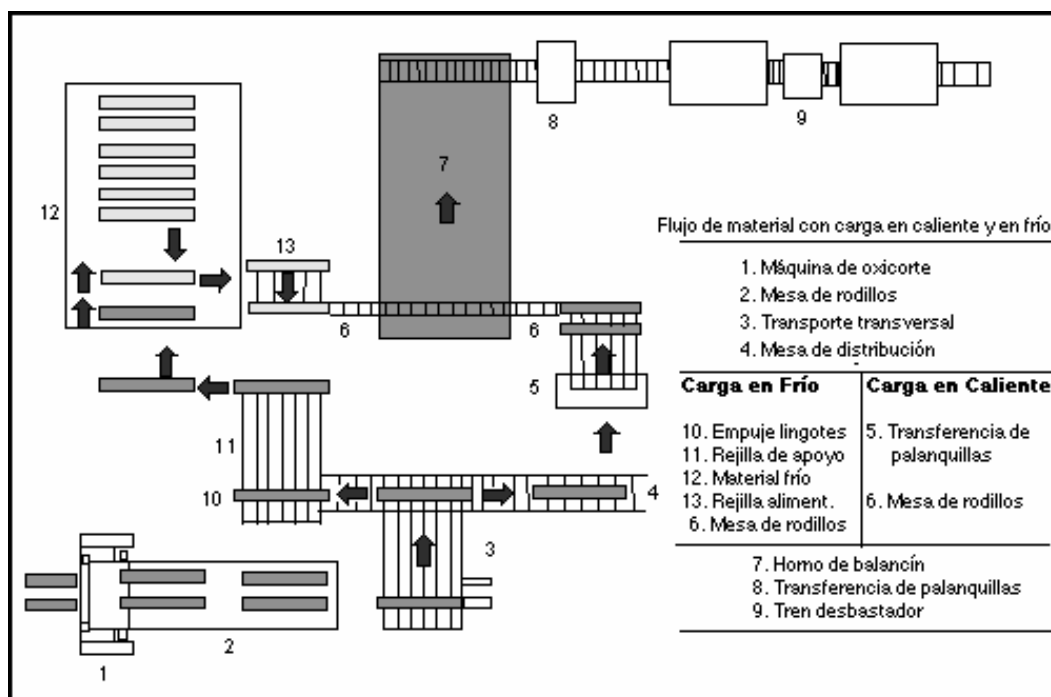


Figura A.4-7: Flujo de material: Carga en frío frente a carga en caliente [DFIU98].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía (ahorro de combustible).
- Reducción en las emisiones de SO₂, CO y CO₂.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes.
- Su aplicación puede estar limitada a algunas plantas existentes debido a la estructura de la planta y a la logística operativa. Parámetros técnicos importantes son el tipo de laminador y su configuración, la proximidad de la máquina de moldeo al horno y al taller de laminación (tiempo requerido para la transferencia del material de la acería al horno de recalentar), así como las especificaciones del acero. A veces la aplicación con zonas de precalentamiento sin combustión no es posible. La aplicación de la carga en caliente o de la laminación directa depende además de la instalación de equipo que permita una mayor productividad del horno, la normalización de la temperatura (ej: calentadores de bordes), laminación sin compromisos, posibilidad de alinear el programa de producción la acería (máquina de moldeo) y el programa de producción del taller de laminación, planchones de alta calidad (calidad superficial) etc [DFIU98], [ETSU-G77].

Efectos sobre otros medios:

- Reducción del tiempo de permanencia del material en el horno.
- Mayor velocidad de producción (aumento del 10 - 25 %).
- Mayores rendimientos y calidad de los productos debido a una menor formación de cascarilla y descaburación.
- Reducción de los residuos en los procesos siguientes, como el descascarillado.
- La temperatura del gas de escape puede aumentar [ETSU-G77].

Plantas de referencia:

EKO Stahl, [Input-HR-1].

Rotherham Engineering Steels, [ETSU-CS-263].

Stahlwerke Thuringen [StuE-118-2].

Datos operativos:

La Tabla A.4-10 ilustra la influencia de la carga en caliente sobre el consumo de energía y el tiempo de producción para carga en caliente. En los ejemplos que se muestran, el potencial de producción aumentó en un 10% para una temperatura de carga en caliente de 400 °C, y en un 25% para una temperatura de carga de 700 °C.

Temperatura de Carga			
	20 °C	400 °C	700 °C
Consumo específico de energía (combustible)	1,55 GJ/t	1,25 GJ/t	0,94 GJ/t
Porcentaje de reducción	0 %	19 %	39 %
Calor al acero	0.80 GJ/t	0.56 GJ/t	0.37 GJ/t
Tiempo de estancia en el horno ¹	100 min	90 min	75 min
¹ Ejemplo basado en palanquillas, acero dulce, horno de empuje con combustión superior, temperatura de descarga 1200 °C.			

Tabla A.4-10: Efecto de la carga en caliente en el consumo de combustible y el tiempo de estancia en el horno [ETSU-G77].

Ejemplos:

EKO Stahl, carga en caliente de planchones [Input-HR-1]:

- porcentaje de carga en caliente: 4,63 – 31,65 %, Ø in 1998 14,64 %
- temperatura media de carga de los planchones: 700 – 900 °C
- consumo de combustible (gas natural): 17 Nm³ /t
- ahorro de energía: 0.6 GJ/t

Rotherham Engineering Steels, carga en caliente de tochos [ETSU-CS-263]:

- porcentaje de carga en caliente: 66,4 %
- temperatura de carga de los tochos: ~ 700 °C
- consumo específico de energía (SEC): 1,1 GJ/t durante los periodos productivos
1,23 GJ/t incluida energía de encendido
ahorro de energía: ~ 0,67 GJ/t (en comparación con un horno de balancín con una pérdida de energía estructural similar, eficacia del 67 % y SEC 1.9 GJ/t)

Stahlwerke Thuringen, carga en caliente de perfiles en bruto [StuE-118-2]:

- porcentaje de carga en caliente: > 60 %

British Steel, Scunthorpe, carga en caliente de tochos de colada continua [Input-HR-1]:

- temperatura de carga de los tochos: de temperatura ambiente a la temperatura de salida de la colada continua ~ 1300 °C
- ahorro de energía de aprox. 33 %
- consumo específico de energía (SEC): 1,35 GJ/t (2,1 GJ/t sin carga en caliente)

Se señaló un ahorro de energía del 15% para carga en caliente a 300 °C [EUROFER HR].

Imatra Steel, Imatra, carga en caliente de tochos

- calidades de acero técnico palanquillas/barras gruesas 74 / 26 %
- porcentaje de carga en caliente 91 – 93 %
- carga directa en caliente 700 – 900 °C
- carga a través de cámara separadora caliente (combustión a gas natural) 700 °C
- temperatura de resudado 1250 - 1290 °C
- consumo específico de energía 0.87 GJ/t (media para producción de 1998 (98% gas natural + 2 % electricidad) incluida cámara separadora caliente, carga en frío, fines de semana y energía de encendido).

La cámara separadora caliente se utiliza:

- para eliminar los efectos de las paradas cortas en el taller de laminación.
- para equilibrar la diferencia de velocidad de producción al laminar barras (la velocidad de la colada continua no puede reducirse para adaptarla a la velocidad del laminador antiguo).
- para el precalentamiento lento de tochos fríos los fines de semana.

Economía:

Tipo de inversión	Coste de inversión	
	Nuevas instalaciones (M Euros)	Instalaciones existentes (M Euros)
Carga en caliente (a 300 °C)	1.5	2.0
Nota: Fuente de datos [EUROFER HR]. Como base se toma un horno con una capacidad anual de 1,5 Mt alimentado a gas natural con quemadores estándar y sin precalentamiento del aire. Los costes de inversión pueden ser específicos del lugar (espacio disponible, esquema del horno existente, número de quemadores laterales e inferiores).		

Tabla A.4-11: Costes de inversión para la carga en caliente [EUROFER HR].

Razón principal para su puesta en práctica: reducción del consumo de energía.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.3.18 Moldeo de precisión / moldeo de láminas

Descripción:

El ‘moldeo de precisión’ o moldeo de láminas utiliza una tecnología mejorada de colada continua en la que el espesor del planchón producido se reduce al máximo hasta la forma requerida del producto final.

Las soluciones técnicas disponibles difieren principalmente en el espesor de los planchones, con un rango de 15 a 80 mm (el rango de espesores convencionales es de 150 – 300 mm) en la técnica de recalentamiento y enlace entre la colada continua y el laminador en caliente. Entre las técnicas de moldeo de láminas se incluyen:

- **Producción de Bandas Compactas (PBC):** utilizando moldes de embudo con un espesor de moldeo de aproximadamente 50 mm.
- **Producción de Bandas en Línea (PBL):** el cordón moldeado de unos 60 mm de espesor sufre una reducción blanda (en núcleo líquido) con rodillos bajo el molde, seguido de un conformado del cordón solidificado, creando un espesor de planchón de unos 15 mm.
- **Moldeo en Continuo de Láminas Finas y Laminación (CONROLL):** con moldes paralelos rectos y un espesor de moldeo de 70 – 80 mm.
- **Producción Directa de Bandas (PDB):** molde de colada de 90 mm y reducción blanda a 70 mm.

Las máquinas de moldeo pueden conectarse a todas las configuraciones principales de trenes de acabado de laminación en caliente, laminadores de acabado, laminadores planetarios, laminadores de Steckel, etc.

Las Figuras A.4.8 y A.4-9 muestran ejemplos de los esquemas de los procesos de PBC y PBL.

Hornos de distinto diseño – en los que se logra una temperatura uniforme del planchón entrante – son los enlaces entre la máquina de moldeo y el laminador en caliente. Según el tipo de planta de producción de láminas, se utilizan hornos de túnel o ‘cajas de cremona’. El principal objetivo de estas instalaciones es igualar y homogeneizar la temperatura de los planchones de colada continua de distintas secciones y longitudes de alrededor de 50 m hasta 300 m en la actualidad [Com2 HR] y regular la alimentación al tren laminador de acabado. Según los cordones de colada, se instalan 1 o 2 hornos, conectados a un dispositivo de lanzadera.

El encendido de los hornos continuos y sistemas de combustión es en general comparable con los sistemas comparables de hornos de recalentar.

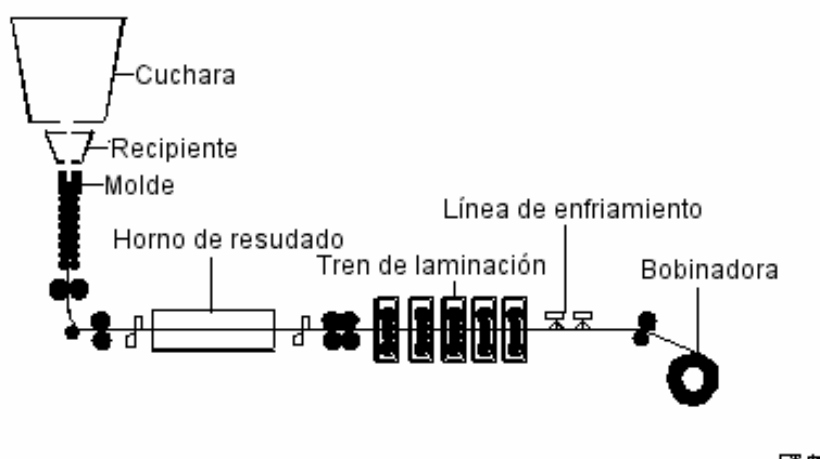


Figura A.4-8: Esquema del proceso de PBC (Producción de Bandas Compactas) [DFIU98].

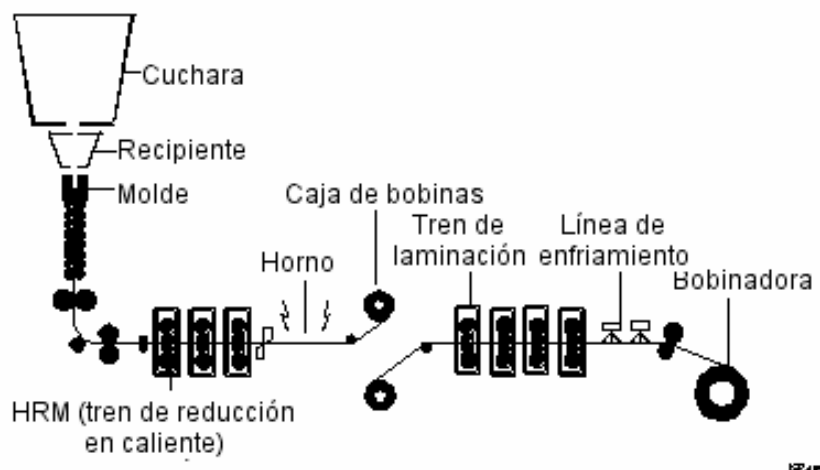


Figura A.4-9: Esquema del Proceso de PBL (Producción de Bandas en Línea) [DFIU-99].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Consumo de energía reducido.

Aplicabilidad:

- Aplicable a plantas nuevas.
- Para la producción de acero de bajo contenido en carbono, acero estructural sin alear y microaleado de alta resistencia, y acero al carbono $> 0.22\%$ [STuE-118-5].
- Para la producción de acero inoxidable de alta calidad (calidades austeníticas, calidades ferríticas y calidades martensíticas) (BHM, 142Jg. 1997, Heft 5, 210 – 214)) [Com A].

Efectos sobre otros medios: no se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

La producción de bandas de 1 a 3 mm de espesor mediante moldeo de planchones convencional – con una temperatura de carga de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una descarga a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – requiere una energía específica de 1.67 GJ/t . Una línea de moldeo de láminas – con una temperatura de carga para el horno de $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ y descarga a $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – tiene un consumo específico de energía de 0.50 GJ/t .

Calidades moldeadas por moldeo de láminas (producción comercial):

- Aceros ordinarios al carbono fuera del rango periférico (PBC). ($0.065 - 0.15\% \text{C}$) (PBC).
- Aceros de alta aleación e inoxidables (PBC).
- Aceros estructurales sin alear (PBL).
- Aceros estructurales aleados (ISP).
- Aceros para oleoductos (HSLA) (PBL).
- Aceros para yacimientos petrolíferos (PBL).
- Aceros austeníticos y ferríticos de alta aleación (PBL).
- Aceros inoxidables por CONROLL [Moldeo de Precisión].
- Acero al carbono bajo y ultrabajo (CSP) [STuE-118-5], [AC-Kolloq].
- Calidades de acero al carbono $> 0.22\%$.
- Acero estructural de alta tenacidad (microaleado y sin alear).
- Calidades de acero para estampado profundo.
- Aceros microaleados con Nb.
- Aceros estructurales aleados con Cu [Moldeo de Precisión].

	Dimensiones planchones [mm]	Capacidad [Mt/a]	Espesor Laminado [mm]	Fecha de Inicio
Producción de Bandas Compactas				
Nucor Crawfordsville, USA	50 x 900 – 1350 50 x 500 – 1350	0.8 1	1.6 1.6	7/89 4/94
Nucor Hickman, USA	50(75) x 1220 – 1560 50(75) x 1220 – 1560	1 1	1.5 1.5	8/92 5/94
Nucor Berkeley County, USA	50 x 1680	1.5	1.2	3/97
Geneva Steel Provo, USA	150-250 x 3200 max o 50 x 1880 max	1.9	chapa	7/94 - 95
AST , Terni, Italia	50 x 1000 – 1560	-	-	12/92
Hylba SA , Monterrey, Mexico	50 x 790 – 1350	0.75	1.2	11/94
Hanbo Steel , Asan Bay, Korea	50 x 900 – 1560 50 x 900 – 1560	1 1	1.5 1.5	6/95 12/95
Gailatin Steel , Warsaw, USA	50 x 1000 – 1560	1	2.1	2/95
Steel Dynamics , Butler, USA	40-70 x 990 – 1560	1.2	1.2	1/96
Nippon Denro Ispal Calcuta, India	50 x 900 - 1560	1.2	1.2	8/96
Amalgamated Steel Mills Malaisia	50 x 900 – 1560	2	1.2	10/96
Ac. Compacta Bizkaya Bilbao, España	53 x 790 – 1560	0.91	1.3	7/96
Acme Metals , Riverdale, USA	50 x 900 – 1560	0.9/1.8	1.25	10/96
Producción de Bandas en Línea				
Arvedi ISP Works Cremona, Italia	60 * x 1070 - 1250 * *(red. a 40 durante la solidificación)	0.5	1.2	1/92
Posco Kwangyang, Korea	75 * x 900 - 1350 *(red. a 60 durante la solidificación)	1 0.8	1.0 1.0	1996 1996
Nusantara Steel Corp , Malaisia				?
Saldanha , Sudáfrica		(1.4) ¹		?
Ipsco , USA		(1)1		?
Pohang Iron and Steel , Corea del Sur		(2)1		
Hoogovens Staal ² Ijmuiden, Holanda	70 – 90 x ??	(1.3)	1 – 2.5	
CONROLL				
Avesta , Suecia	80-200 x 660–2100	-	-	12/88
Armco , Mansfield, USA	75-125 x 635-1283	0.7/1.1	1.7	4/95
Vöest Alpine , Linz, Austria				?
Producción Directa de Bandas				
Algoma , CAN ³	90 * x 200 *(red. a 60 durante la solidificación)		1	11/97
Nota: Fuente de datos [Jahrbuch Stahl 1996], año de referencia 1995. ¹ Fuente [StuE-116-11], plantas contratadas, año de referencia 1996 ² Fuente [Steel News, marzo 1998]. ³ Fuente [algoma.com].				

Tabla A.4-12: Plantas de moldeo de láminas (Julio 1995)

	Producción convencional Consumo Típico	Moldeo de láminas Consumo Típico
Energía eléctrica ¹ (energía de deformación)	72 - 115 kWh/t promedio 94 kWh/t (señalado por miembros del grupo de seguimiento)	aprox. 70 kWh/t (deformación sólo) aprox. 77 kWh/t (incl. caja de bobinas)
Energía de recalentamiento (consumo de combustible) ²	approx. 1300 - 1900 MJ/t	aprox. 300 - 650 MJ/t
Nota: Fuente de los datos [EUROFER HR]. ¹ Depende del grado de deformación, de la temperatura de la banda intermedia y de la dureza del material ² El consumo de combustible depende del diseño del horno y del espesor del planchón entrante.		

Tabla A.4-13: Comparación de las cifras de consumo de la ruta de producción convencional y de la ruta de moldeo de láminas

Economía:

La técnica de moldeo de láminas abrió efectivamente el mercado de la laminación de productos planos a los mini-laminadores, que hasta entonces habían estado enfocados más o menos a la producción de productos largos. La aplicación de esta tecnología reduce el tamaño de la máquina de moldeo y elimina el tren de desbaste, produciendo un gran ahorro de costes. Las bandas laminadas en caliente, en el segmento en el que la superficie no es crítica, puede ahora producirse de forma económica con capacidades de 0.8 – 1,0 Mt/año (con máquinas de moldeo de un cordón).

Razón principal para su puesta en práctica:

- Debido a la reducción en el consumo de energía y el tiempo de proceso, ventajas económicas/monetarias.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.3.19 Moldeo de precisión / modelo de perfiles en bruto

Descripción:

Otra forma – más común – de ‘moldeo de precisión’ se aplica en el campo de la laminación de productos largos de acero estructural. En lugar de los tochos tradicionales de sección transversal rectangular o cuadrada, la máquina de colada continua produce un perfil en bruto en forma de H, I o doble T.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Aporte de energía reducido en recalentamiento y laminación.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas o plantas existentes en caso de modernización general.

Efectos sobre otros medios No se conocen efectos negativos sobre otros medios.

Plantas de referencia:

Northwestern Steel & Wire, USA [StuE-114-8].

Chaparral Steel, USA [StuE-114-8].

Kawasaki Steel, Nucor-Yamato, Yamato Steel Tung Ho Steel [StuE-114-9].

Stahlwerke Thuringen [StuE-118-2].

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

- Aumento del rendimiento en la colada continua debido la reducción del material a cizallar.
- Aumento de la transferencia de calor específica en el horno de recalentar.
- Reducción del tiempo en el proceso de laminación, aumento de productividad [Com HR].

Referencias bibliográficas:

A.4.1.4 Descascarillado

A.4.1.4.1 Seguimiento del material

Descripción:

La automatización de los respectivos trenes y sensores periféricos permite la determinación exacta de la entrada y la salida del material del equipo de descascarillado y permite que el operador abra las válvulas de las tuberías de agua a presión en función de ello. Como consecuencia, el volumen de agua puede ajustarse continuamente a los requisitos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua.
- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- Laminadores de desbaste, de acabado y de chapas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.4.2 Uso de equipo de almacenamiento a alta presión

Descripción:

Se utilizan depósitos de almacenamiento a alta presión de un tamaño apropiado para almacenar el agua a alta presión y reducir la fase de arranque de las bombas de gran potencia. Además, esto permite mantener la presión a un nivel constante cuando se realizan varios procesos simultáneos de descascarillado. Este método permite mantener el consumo de energía dentro de límites razonables y, en caso de varios procesos de descascarillado simultáneos, ayuda a asegurar una óptima limpieza y productos de alta calidad gracias a la presión constante del sistema.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- Sistemas de descascarillado de los laminadores de desbaste, acabado y de planchas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.5 Bordeado

Prensa de Dimensionamiento

Descripción:

En la laminación vertical convencional, la reducción del ancho se limita a los bordes del planchón con sólo un pequeño efecto en la parte central del planchón. El espesor del materia aumenta en los bordes, formando secciones transversales en forma de hueso. En la laminación horizontal posterior se produce una recuperación significativa de anchura – extensión lateral – lo que reduce la eficacia de la reducción del ancho.

Las prensas de dimensionamiento en línea, debido al efecto de forja sobre el planchón, aumentan asimismo el espesor del material en medio del planchón. La forma de la sección transversal es casi rectangular y la extensión lateral durante las pasadas de laminación horizontal se reduce.

Con la introducción de una prensa de dimensionamiento antes del desbaste, se reducen los intervalos de anchuras de la máquina de moldeo y el número de planchones en cuña. La productividad de la colada continua y la velocidad de carga en caliente pueden por lo tanto incrementarse [EUROFER HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción de la chatarra de recorte y cizallamiento.

Aplicabilidad:

- Trenes de desbaste y de chapas.
- Reducción de la chatarra de recorte y cizallamiento.
- Con limitaciones para los laminadores existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia: Sollac Fos, Thyssen Bruckhausen

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.5.1 Control de anchura automático con control de carrera corta

Descripción:

En el bordeado convencional, el ancho del planchón se reduce independientemente de la anchura y temperatura del material, generando por lo tanto variaciones de ancho a lo largo de la barra de transferencia, especialmente en grandes reducciones de ancho. Con la ayuda del sistema de control de anchura automático (AWC), el proceso de bordeado se realiza a través de modelos computerizados. Para los extremos de las bandas (cabeza y cola), los valores de bordeado se reducen a lo largo de una longitud definida, y así se evita la formación de las denominadas lenguas en la cabeza de la banda y/o las colas de pescado que ocurren en la laminación convencional.

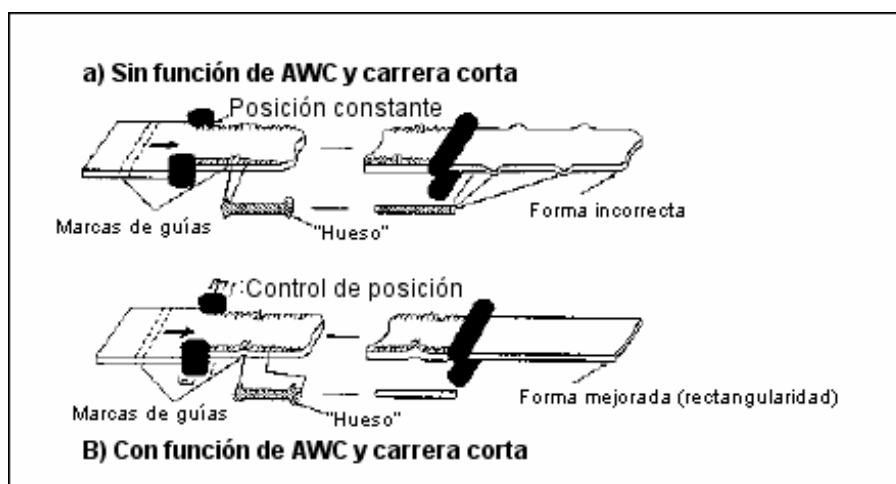


Figura A.4-10: Funcionamiento del sistema AWC

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los recortes y de la chatarra de cabezas y colas.

Aplicabilidad:

- Laminadores de desbaste, acabado y de planchas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Aumento de la calidad de los productos, mejora del rendimiento, por consiguiente debe reciclarse menos material; se reduce el consumo de energía y las emisiones.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: Mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.6 Desbaste

A.4.1.6.1 Automatización del proceso

Descripción:

El uso de ordenadores permite el ajuste de la reducción de espesor por pasada. En otras palabras, los planchones y tochos son reducidos a una banda prelamada aplicando del menor número posible de pasadas, incluso en caso de interrupciones cortas que producen pérdidas de temperatura del material.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Puede reducirse la temperatura de descarga del horno.
- Optimización del número de pasadas.

Aplicabilidad:

- Laminadores de desbaste y de chapas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.7 Transporte del material laminado del tren desbastador al tren de acabado

A.4.1.7.1 Caja de bobinas

Descripción:

El producto intermedio producido en el tren desbastador (barra de transferencia) se arrolla en una bobina sin mandril mediante rodillos de pinzado/flexión y rodillos de apoyo impulsados eléctricamente. Una vez realizado el bobinado, la bobina se coloca en un dispositivo de debobinado, se debobina, y se pasa al tren de acabado. Durante el proceso de desbobinado y laminación de acabado, la bobinadora queda libre para recibir la siguiente banda prelamada. De este modo se evitan los atascos en el flujo de producción.

Este equipo presenta la ventaja de que la distribución de temperatura a lo largo de la longitud de la barra de transferencia permanece constante y se reducen las cargas durante la laminación de acabado. Por otra parte, debe considerarse el requisito de energía adicional. En la modernización de laminadores existentes, la gama de productos puede aumentar.

En caso de un flujo de adoquines, la barra bobinada puede retenerse durante un periodo más largo del que de otro modo sería posible. Para interrupciones del laminador, más largas, la barra de transferencia bobinada puede almacenarse en hornos de recuperación de calor. Ambas medidas mejoran el rendimiento.

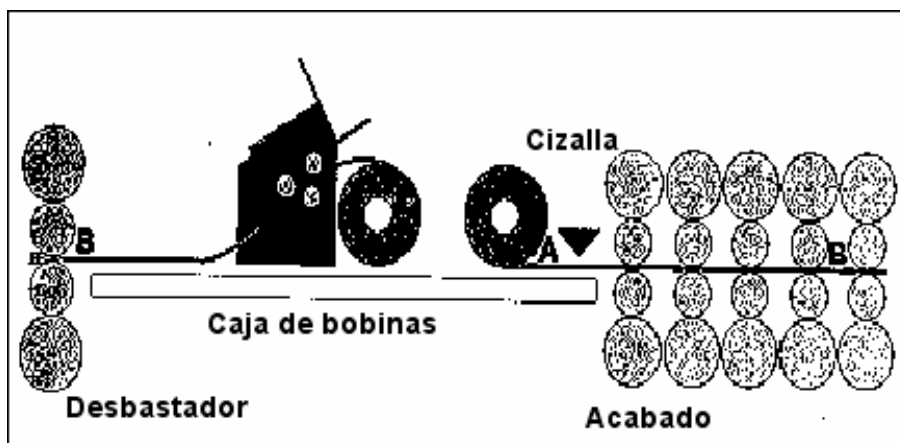


Figura A.4-11: Disposición de la caja de bobinas [EUROFER HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Se requiere menor energía de laminación (la temperatura del material es más elevada y más uniforme).

Aplicabilidad:

- Mesa de salida de los laminadores desbastadores.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

En algunos casos, una caja de bobinas puede limitar la producción máxima del laminador [Com HR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.7.2 Horno de recuperación de bobinas

Descripción:

Los hornos de recuperación de bobinas se desarrollaron como un complemento a las instalaciones con cajas de bobinas, de modo que en caso de interrupciones más largas en la laminación, las bobinas pudieran ser devueltas a la temperatura de laminación y reintegradas a la secuencia de laminación, lo que produce una mejora del rendimiento. Las pérdidas de temperatura se minimizan y pueden cubrirse interrupciones de laminación de hasta 2 horas.

Mediante modelos de temperaturas de calentamiento y enfriamiento se determina el ciclo correcto para cada bobina, teniendo en cuenta el perfil de temperatura de la bobina al inicio del calentamiento. Este se determina a partir de los datos del ordenador de laminación sobre la temperatura de la pasada de desbaste, el tiempo transcurrido antes y después del bobinado, así como el tamaño y calidad de las barras. Las bobinas guardadas mediante el horno de recuperación se convierten en bandas laminadas en caliente de primera calidad, siempre que sean laminadas antes de 2 horas. Las bobinas retenidas durante periodos más largos se procesan como productos de calidad superficial no crítica (el horno puede llevar incorporado un sistema de gas inerte).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- En combinación con cajas de bobinas en trenes desbastadores.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.7.3 Pantallas térmicas en las mesas de transferencia

Descripción:

Para minimizar la pérdida de temperatura de una barra mientras se transporta desde el tren desbastador al tren de acabado y para reducir la diferencia de temperatura entre los extremos de cabeza y cola al entrar e el tren de acabado, la mesa de rodillos de transferencia puede ir equipada con pantallas térmicas. Se trata de cubiertas aislantes aplicadas al transportador. Para los tamaños en los que los productos laminados alcanzan el límite de capacidad del tren de laminación, este equipo logra cargas de laminación menores.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción de las pérdidas de temperatura.

Aplicabilidad:

- Mesa transportadora de rodillos entre los trenes de desbaste y acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos: las pantallas térmicas en las mesas de transferencia implican elevados costes de mantenimiento, ya que las pantallas son fácilmente dañadas por los adoquines [Com2 HR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.7.4 Calentamiento de los bordes de las bandas

Descripción

Con el fin de elevar la temperatura de los bordes de las bandas – más fríos – al nivel de temperatura global y conseguir un perfil de temperatura constante en todos el ancho de la banda, la mesa de rodillos de transferencia está equipada con dispositivos adicionales de calentamiento a gas o por inducción.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción del desgaste de los rodillos de trabajo (menos lodos de desbaste).

Aplicabilidad:

- Mesa de transporte con rodillos entre los trenes de desbaste y de acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Energía utilizada para el calentamiento de los bordes.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8 Laminación

A.4.1.8.1 Sistema de optimización del cizallamiento

Descripción:

Utilizando cámaras de televisión en circuito cerrado (CCD), en combinación con una medición después del tren de desbaste, se identifica la forma real de cizallamiento de la banda prelamada. Un sistema automático asegura que la acción de corte de las cizallas se limite a cortar materiales fuera del área rectangular de la barra de transferencia.

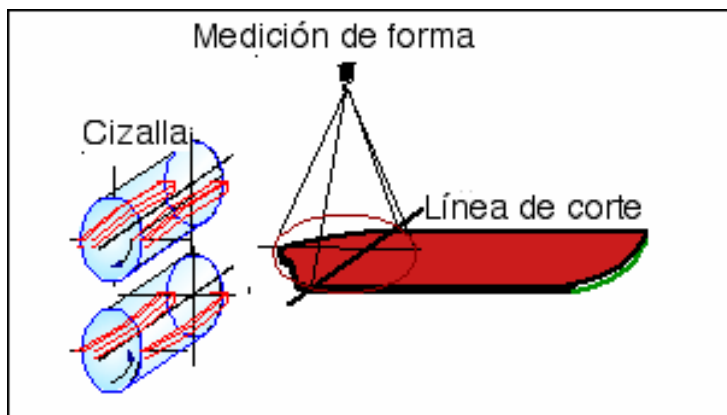


Figura A.4-12: Sistema de optimización de cizallamiento [EUROFER HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de chatarra (cabezas y colas).

Aplicabilidad:

- A la entrada de los trenes de acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia: Sidmar

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.2 Sistema de lubricación de los rodillos de trabajo

Descripción:

Se aplican aceites de laminación a la abertura de laminación mediante boquillas con el fin de reducir la fricción entre el material y el rodillo, reducir los requisitos energéticos de accionamiento de los rodillos, reducir las fuerzas de laminación y mejorar la calidad de la superficie del material laminado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía al reducirse la carga de laminación.
- Reducción del desgaste de los rodillos (especialmente en las zonas de los bordes de las bandas), lo que prolonga la vida útil de los rodillos de trabajo y reduce los lodos de desbaste.

Aplicabilidad:

- Laminadores de acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Contaminación del sistema de agua por los aceites de laminación.

Plantas de referencia: gran número de plantas.

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

- Mayor productividad del laminador e incremento de la velocidad de decapado.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.3 Enfriamiento forzado de las bandas entre trenes

Descripción:

Para permitir la aceleración del tren de acabado y conseguir sin embargo una temperatura de acabado constante, se emplea el enfriamiento forzado de las bandas entre los trenes mediante pulverizadores de agua o cortinas de agua.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Se suprime la formación de humos de cascarilla y óxidos.
- Menor velocidad de desgaste de los rodillos de trabajo en los trenes sucesivos y reducción de los lodos de desbaste.

Aplicabilidad

- Entre los trenes de acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Generación de aguas residuales.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.4 Control de tensión de las bandas entre trenes

Descripción:

Normalmente se emplean circuitos cerrados para controlar la tensión de las bandas entre los trenes de acabado. Se hallan disponibles diversos diseños de circuitos (hidráulicos, de baja inercia y con dispositivos de medición de tensión). Además, se han desarrollado técnicas sin circuitos de control, pero su éxito depende en gran medida de la precisión de medición de los parámetros de proceso. La mejora de los circuitos de control en combinación con modelos computerizados para calcular la tensión de las bandas y circuitos electrónicos de control apropiados facilitan el control independiente tanto de la tensión como de la altura del circuito cerrado. Esto evita principalmente que se formen ‘estrangulamientos’ en la banda en su introducción y en caso de funcionamiento inestable.

Los sistemas automáticos para controlar el ancho de la banda al salir del tren de acabado y/o acercarse a las bobinadoras (con realimentación a los modelos computerizados del tren de acabado) apoyan la tarea del sistema de control de tensión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- La chatarra de recorte se reduce, al evitarse los ‘estrangulamientos’ durante la introducción y en caso de funcionamiento inestable.

Aplicabilidad:

- Trenes de acabado.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes (parte de sistemas de automatización de laminadores).

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: Mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.5 Control de perfil y planeidad de las bandas

Descripción:

El perfil transversal y la planeidad de la banda caliente es importante para su proceso subsiguiente y depende de una serie de condiciones operativas, como la programación de pasadas.

La principal finalidad del control del perfil y de la planeidad en los trenes de laminación es conseguir el perfil deseado de la banda sin exceder las tolerancias de planeidad requeridas. En su aplicación a laminadores en caliente, los sistemas de control de perfil y planeidad están normalmente diseñados para conseguir los siguientes objetivos:

- Rango de control de corona de bandas de aprox.. 0 - 75 μm .
- Tolerancias de corona de bandas.
- Planeidad de bandas de unas 10 unidades I (Unidad I: $\Delta L/L = 10^{-5}$ m).
- Reducción en la caída de los bordes.

Para mantener una buena planeidad de las bandas en laminadores en caliente, sólo existen unos ciertos cambios máximos en la relación entre la corona y la planeidad de la tira que son posibles en una pasada sin introducir anomalías indeseadas en la planeidad de la banda, denominadas ‘franjas sin planeidad’. Se han desarrollado diversos sistemas para permitir una selección objetiva del perfil y de la planeidad de la banda.

- Sistemas de flexión de los rodillos de trabajo y los cilindros de apoyo.
- Rollos de corona ajustables de cuerpo flexible.
- Rollos de corona ajustables de borde flexible.
- Sistemas de cruce de rodillos.
- Sistemas con desviación axial con rodillos no cilíndricos.
- Rodillos cilíndricos con desviación axial.
- Control automático de calibre.

En los laminadores en caliente, cada caja de laminación está normalmente equipada con un sistema de flexión de rodillos que puede ser de corona hacia dentro, de corona hacia fuera o ambas cosas. Si eso no es suficiente para alcanzar los requisitos de corona, las cajas pueden equiparse con sistemas como rodillos CV, rodillos UPS, sistemas de cruce de rodillos u otros. Un modelo computerizado de ajuste del laminador, que en ocasiones incluye sistemas inteligentes, calcula los ajustes requeridos de los sistemas de control de perfil y planeidad teniendo en consideración la corona térmica del cuerpo del rodillo para obtener la corona y la planeidad deseadas en las bandas.

Después de las cajas de laminación, se instalan dispositivos de medida de perfil (sensores) para controlar la corona real. Esta se compara con el objetivo a conseguir, y la diferencia se utiliza para producir

cambios, principalmente en las fuerzas de flexión de los rodillos. Los circuitos de control de planeidad producen un índice de corona/espesor de las bandas prácticamente constante. Hay instalados dispositivos de control de forma al final del tren de acabado o entre los trenes de laminación para controlar la planeidad real. Los errores de planeidad detectados se utilizan nuevamente para ajustar las fuerzas de flexión de los rodillos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la chatarra.

Aplicabilidad:

- Trenes laminadores de acabado y de planchas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes (parte de sistemas de control automático de procesos).

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: Mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.6 Enfriamiento de los rodillos de trabajo

Descripción:

En los trenes de laminación se utilizan una amplia variedad de tipos de boquillas y cabezales de pulverización para enfriar los rodillos de trabajo. Esto es importante para evitar daños y grietas de los rodillos (lo que implica menos operaciones de desbaste y producción de residuos) y reduce la formación de cascarilla.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la formación de cascarilla.
- Menor desgaste de los rodillos y menos lodos de desbaste.

Aplicabilidad:

- Trenes de desbaste, de acabado y de planchas.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.7 Automatización del tren de acabado – automatización básica y de procesos

Descripción:

Es posible producir materiales de alta calidad con ordenadores de proceso con los circuitos de control apropiados (automatización básica – nivel I) para la planificación de la producción y el control de hornos y trenes desbastadores. En caso de interrupciones cortas en la laminación, los modelos de software flexible aplicados permiten realizar cambios en la programación hasta el último momento (justo antes de la sujeción en el primer tren de laminación).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la chatarra en las averías cortas del tren laminador.

Aplicabilidad:

- Trenes de acabado,

- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.8 Reducción de las emisiones fugitivas / sistema de eliminación de óxido

Descripción:

Debido al funcionamiento del laminador se liberan partículas de óxido. Las partículas se liberan al aire como emisiones fugitivas principalmente en el lado de salida de los trenes de laminación (donde la velocidad de los laminadores es más elevada). Pueden suprimirse mediante pulverizadores de agua o eliminarse mediante sistemas de extracción (campanas extractoras, campanas de polvo o líneas de aspiración).

Pulverizadores de agua:

Con la pulverización de agua, los óxidos suprimidos son llevados a los canales de la mesa de rodillos y de ahí al tratamiento de aguas, donde son recuperados en estanques de sedimentación y filtros.

Sistema de extracción

Otra opción es instalar un sistema de extracción, en el que se instalan campanas de polvo entre los trenes de laminación (principalmente tras los 3 trenes de acabado) para recoger el polvo y los óxidos. A través de tubos de aspiración en el lado de transmisión del tren laminador, la mezcla de óxido y polvo es aspirada y enviada a filtros de chorro pulsátil (de tipo seco, filtro de bolsa) o a filtros de tipo húmedo. El polvo y los óxidos separados son transportados a cubetas a través de transportadores sinfín, siendo reciclados en acerías integrales.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas de partículas.

Aplicabilidad:

- Trenes de acabado
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

- La pulverización de agua produce aguas residuales, y los óxidos deben recuperarse de las mismas.
- Los sistemas secos consumen energía pero, al igual que los filtros de escape/filtros de bolsa, tienen la ventaja de que evitan la necesidad de reconvertir los óxidos del agua residual, y el polvo recogido puede ser reciclado internamente [Com2 HR].

Plantas de referencia:

Pulverizadores de agua: WSM Avilés, Aceralia; Sidmar, Hoogovens

Sistema de extracción: Voest Alpine

Datos operativos y Economía:

		Emisión de partículas [mg/m ³]	Capacidad [Mt/año]	Costes Miles de Euros
a	Pulverizadores de agua	1,5		CI: 50
a	Campana y filtro de bolsa ¹	< 50	3	CI: 280
a: [CITEPA], el nivel era el reportado para la mejor técnica disponible en la nota de MTD en aire. CI: Costes de Inversión.				

Tabla A.4-14: Niveles de emisiones alcanzados y datos operativos para sistemas de eliminación de óxidos

Ejemplos de pulverizadores de agua:

Los pulverizadores de agua se instalan en el último tren de acabado. El equipo consta de 6 boquillas en la parte superior y 8 boquillas en la parte inferior en cada tren. El agua es pulverizada a un caudal de 22 l/min y una presión de 8 bar. El gasto total de agua del sistema de pulverización es 35 m³/h. Coste facilitado para 1994: 50000 ECUs.

Lugar de muestreo Duración del muestreo: 3 h	Concentración de partículas	
	sin pulverización	con pulverización
Por encima del tren de acabado	6,02 mg/Nm ³	2,35 mg/Nm ³
Techo	2,77 mg/Nm ³	0.63 mg/Nm ³

Tabla A.4-15: Reducción típica de las emisiones fugitivas por pulverización de agua [Input-HR-1].

El sistema de medición no corresponde a ninguna norma, ya que las mediciones son más o menos difusas. Los puntos de muestreo se escogieron evaluando el lugar de procedencia de las emisiones por la aspiración en el taller, ya que no había flujos bien definidos.

Ejemplo de Sistema de Aspiración:

Se señalaron costes de inversión de 1 M Euros (Voest) en [Input-HR-1]. Otra fuente [EUROFRER HR] indica costes de inversión aproximados de 1,45 m de Euros y un coste operativo de 0,15 M de Euros/t (eliminación y desecho de polvo y lodo no incluidos) para plantas de aspiración para el tren de acabado.

Motivo principal para su puesta en práctica: Reducción de emisiones de óxidos ferrosos [Input-HR-1].
Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.9 Prevención de la contaminación por hidrocarburos

Descripción:

La reducción de pérdidas de aceite y lubricantes es una medida preventiva contra la contaminación de aguas de proceso y la cascarilla incluida. El uso de cojinetes y de juntas de cojinete para los rodillos de trabajo y los cilindros de apoyo y la instalación de indicadores de fugas en las líneas de lubricante (equipo de control de presión, por ejemplo en los cojinetes hidrostáticos) puede reducir el contenido en hidrocarburos (aceite) de la cascarilla y del agua residual, y reduce el consumo de aceite entre un 50 y un 70% [EUROFER HR].

El agua de desagüe contaminada en los distintos puntos de consumo (agregados hidráulicos) debe recogerse y bombearse a depósitos intermedios de almacenamiento. El aceite residual, tras su separación del agua, puede usarse como agente reductor en el alto horno o puede reciclarse externamente. El agua separada puede procesarse ulteriormente en la planta de tratamiento de agua o en plantas de reacondicionamiento con ultrafiltración o evaporador de bajo vacío [Com2 HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Prevención de la contaminación por aceite (hidrocarburos) del agua y la cascarilla.
- Reducción de la cantidad de cascarilla con aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes en caso de modernización general (menos aplicable a plantas antiguas).

Efectos sobre otros medios
Plantas de referencia:
Datos operativos:
Economía:
Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.10 Bobinadoras hidráulicas con control por pasos

Descripción:

En el bobinado convencional, la banda está en contacto con los rodillos de arrollamiento durante un mínimo de 3 vueltas del mandril, y penetra en el bobinado situado encima. Estas partes de la banda en caliente deben ser eliminadas para su proceso subsiguiente en laminador en frío.

Los bobinadores accionados hidráulicamente que comprenden sistemas de control por pasos elevan los rodillos de arrollamiento automáticamente, comandados por sensores, cuando la cabeza de la banda para por el rodillo individual.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Se reduce la cantidad de chatarra de cizallamiento en los procesos subsiguientes.

Aplicabilidad:

- Trenes de laminación en caliente.
- Laminadores en caliente de productos planos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.11 Laminación con control de forma / control de vista en planta

Descripción:

Durante la laminación de chapas convencionales manteniendo un espesor constante durante cada pasada de laminación, se produce una clara distorsión de la vista en planta de la chapa desde una forma perfectamente rectangular.

El control de forma se utiliza cuando se producen perfiles en forma cuña o en forma de hueso durante la laminación. Con la ayuda de mediciones (carga o forma) se computa el grado de la forma de hueso o de cuña, enviándose señales de corrección al sistema de ajuste de los rodillos. El control de vista en planta se emplea principalmente como complemento al sistema de calibre automático. El término 'laminación con control de forma o control de vista en planta' se aplica a varias técnicas desarrolladas durante los últimos años. Todas ellas se basan en el mismo principio que consiste en laminar una chapa de espesor variable en pasadas intermedias, lo que produce una forma de chapa final rectangular y una reducción de la chatarra de recorte.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la cantidad de chatarra.

Aplicabilidad:

- Laminadores de chapas.
- Plantas nuevas y, con limitaciones, plantas existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica: mejora del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.12 Tratamiento térmico en línea (enfriamiento acelerado)

Descripción:

Se disponen dispositivos de enfriamiento de distintos diseños (ej: cortinas de agua, cojines hidráulicos, etc.) después del tren de laminación. Controlando el volumen de agua de enfriamiento en función las temperaturas de las láminas, puede aplicarse un tratamiento en línea, como normalización o enfriamiento por inmersión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía y de las emisiones de los hornos de tratamiento térmico subsiguientes.

Aplicabilidad:

- Laminadores de chapas.
- Plantas nuevas y, con limitaciones, plantas existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.8.13 Laminación termomecánica

Descripción:

En una ‘laminación termomecánica’ se actúa sobre las propiedades de las chapas o perfiles laminados en caliente para reducir la necesidad de un tratamiento térmico ulterior. Los planchones o tochos/perfiles en bruto del horno de recalentar son laminados a un espesor intermedio, seguido de un periodo de espera (en el que pueden aplicarse pulverizadores de agua) para enfriar a la temperatura deseada, procediéndose luego a su laminación final. La laminación termomecánica permite conseguir un parámetro técnico, normalmente atribuido a un tamaño de grano menor, utilizando menos aditivos de aleación y con o sin reducción de los tratamientos térmicos subsiguientes como la normalización.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción de las emisiones del tratamiento térmico.

Aplicabilidad:

- Laminadores de chapas y de perfiles.
- Plantas nuevas y existentes, siempre que haya suficiente potencia de laminación [Com HR].

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.9 Líneas de refrigeración

A.4.1.9.1 Bombas de agua optimizadas para flujos laminares

Descripción:

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.1.10 Producción subsiguiente de láminas

A.4.1.10.1 Eliminación del polvo de la aplanadora

Descripción:

Por el efecto de flexión de la banda de los rodillos de aplanado, se rompe la cascarilla de la superficie de la banda y se genera polvo fugitivo. Pueden instalarse campanas de aspiración que recogen las partículas del aire cerca de la aplanadora y las conducen a través de conductos de aspiración a una planta de filtrado, normalmente equipada con filtros de tejido [Com HR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de partículas fugitivas.

Aplicabilidad:

- Líneas de cizallamiento y de rebobinado.
- Nuevas instalaciones de equipos de tratamiento subsiguiente para productos planos.

Efectos sobre otros medios

- Producción de residuos.
- Las partículas de polvo recogidas se reciclan a la producción de acero,
- Aumento del consumo de energía [Com2 HR].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.11 Taller de laminación

A.4.1.11.1 Prácticas operativas correctas para talleres de laminación

Descripción:

Uso de disolventes

- Siempre que sea técnicamente aceptable para el grado de limpieza requerido, deben aplicarse desengrasantes de base acuosa.
- Si se utilizan disolventes orgánicos, debe darse preferencia a los disolventes no clorados.

Residuos

- La grasa extraída de los muñones de los rodillos debe recogerse y desecharse adecuadamente (ej: mediante incineración).
- Los lodos de desbaste deben tratarse mediante separación magnética para la recuperación de las partículas de metal, que se reciclan al proceso de fabricación de acero.
- Los residuos minerales de las muelas de desbaste deben depositarse en vertederos.
- Las virutas de acero y hierro se reciclan al proceso de fabricación de acero.
- Las muelas de desbaste gastadas se depositan en vertederos.
- Los rodillos gastados que no puedan ser reacondicionados deben reciclarse al proceso de fabricación de acero o devolverse al fabricante.
- Los líquidos de enfriamiento y/o emulsiones de corte deben tratarse para la separación del aceite y el agua. Los residuos de aceite deben desecharse adecuadamente (ej: mediante incineración).
- Los efluentes de aguas residuales de enfriamiento y desengrase, así como de la separación de emulsiones, deben ser recuperados por la planta de tratamiento de aguas de laminación en caliente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del impacto medioambiental global.

Aplicabilidad:

- Talleres de laminación nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios
Plantas de referencia:
Datos operativos:
Economía:
Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias bibliográficas:

A.4.1.12 Tratamiento de aguas

A.4.1.12.1 Reducción del consumo y de la evacuación de agua

Descripción:

Aplicación de sistemas semicerrados y de circuito cerrado que reducen la evacuación al mínimo posible. Para una descripción más detallada, véase Capítulo A.2.1.15.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los desagües de aguas residuales y de contaminantes.

Aplicabilidad:

- En algunos casos la modernización de plantas existentes de ‘laminadores húmedos’ (sin recirculación) a laminadores con circuitos semicerrados o cerrados puede no ser posible debido a que no se disponga de espacio suficiente para albergar una planta de tratamiento de aguas totalmente equipada con costes de inversión económicamente justificables.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía y de agentes químicos.
- Producción de residuos (lodos).

Plantas de referencia:

Circuitos semicerrados: ...

Circuitos cerrados: Stahlwerke Bremen, ...

Datos operativos:

La Tabla A.4-16 muestra los niveles de emisiones alcanzados con circuitos de agua semicerrados y cerrados. A efectos de comparación, se facilitan asimismo los niveles alcanzados por un sistema abierto.

Parámetro	Circuito abierto	Circuito semicerrado	Circuito cerrado
Sólidos en suspensión (SS)	≤ 40 mg/l	≤ 40 mg/l	≤ 40 mg/l
Emisión específica de SS	aprox. 800 g/t	aprox. 480 g/t	0 - 40 g/t
Consumo de agua	100 %	aprox. 60 % ¹	aprox. 5 % ¹
DQO (O ₂) ≤ 40 mg/l	≤ 40 mg/l	≤ 40 mg/l	
Emisión específica de DQO	aprox. 800 g/t	aprox. 480 g/t	aprox. 38 g/t
Hidrocarburos (HC) (en relación al aceite mineral)	≤ 5 mg/l	≤ 5 mg/l	≤ 5 mg/l
Emisión específica de HC	aprox. 100 g/t	aprox. 60 g/t	aprox. 5 g/t

Notas: Fuente de los datos [EUROFER HR]. Basados en una producción de unos 3,0 Mt. El tratamiento de aguas residuales consiste en una combinación de medidas individuales descritas en el capítulo siguiente (no se dispone de información detallada).

¹ En comparación con el circuito abierto, los valores absolutos de consumo de agua dependen de la situación de la planta individual.

Tabla A.4-16: Niveles de efluentes típicos para distintos sistemas de tratamiento de aguas

Economía:

Proceso	Costes de Inversión	Costes operativos	Volumen de agua caudal/consumo
Planta de tratamiento de circuito abierto	9,4 – 14,4 millones ECU	0,5 – 0,65 ECU/ t	4000 m ³ /h
Planta de tratamiento de circuito semicerrado	13.0 – 14,5 millones ECU	0,6 – 1,15 ECU/ t	2500 m ³ /h
Planta de tratamiento de circuito cerrado			m ³ /h consumo de agua adicional
• con torre de refrigeración	25,0 – 40,0 millones ECU	1,45 ECU/ t	(torre de refrigeración)
• con intercambiador de calor	43,2 millones ECU	1.6 - 1.75 ECU/ t	y/o agua de refrigeración en grandes cantidades para intercambiadores de calor

Notas: Fuente de los datos [HR]. Se toma como base una producción de unos 3,0 Mt/año de productos laminados en caliente. Los costes de inversión excluyen costes de los terrenos y de las naves de los talleres, pero incluyen la infraestructura necesaria. Los costes operativos son sólo ejemplos típicos; la eliminación (desecho) de los lodos y el polvo no se tiene en consideración.

Tabla A.4-17: Estimación de costes para distintas plantas de tratamiento de aguas

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.12.2 Tratamiento del agua de proceso con cascarilla y aceite

Descripción:

El agua residual con cascarilla y aceite de la laminación en caliente (y a menudo de la colada continua) es tratada mediante una secuencia de pasos de limpieza, como por ejemplo pozos de descascarillado, tanques de sedimentación, ciclones, filtración, etc., creando sistemas de tratamiento de aguas residuales bastante complejos. El primer paso, generalmente, es un pozo de descascarillado para eliminar la cascarilla gruesa mediante sedimentación. Esto va seguido de varios pasos de limpieza secundarios o finos destinados a separar y precipitar el aceite y la cascarilla remanente.

Para una descripción detallada de los dispositivos de tratamiento individuales, véase el Capítulo D.9.1.

Dado que existen numerosas opciones para combinar los pasos de limpieza individuales, el tratamiento de las aguas de proceso son cascarilla y aceite y los niveles de emisión alcanzables se describen mediante ejemplos de sistemas de tratamiento de aguas aplicados en talleres de laminación en caliente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del vertido de contaminantes al agua, especialmente sólidos en suspensión, aceite, grasa, etc.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes

Efectos sobre otros medios

- El aceite y los lodos aparecen como residuo en el tratamiento de aguas [Com D].

Plantas de referencia:

Stahlwerke Bremen (D), SSAB (S), BSW (D).

Datos operativos:

Ejemplo A: SSAB

La parte principal de la cascarilla y el aceite se separa en dos pozos de descascarillado cerca del tren de laminación. La planta de tratamiento de agua tiene tres estanques para separación gravimétrica de la cascarilla y separación superficial de aceite y grasa. La limpieza final se realiza en diez filtros de arena. El porcentaje de recirculación de agua se ha ido aumentando durante los últimos años para reducir la evacuación de agua al río a menos de 200 m³/h (anteriormente 3500 m³/h, porcentaje de recirculación >95%). Además, se han tomado medidas básicas para reducir las fugas de, por ejemplo, grasa, lubricantes y aceites hidráulicos de las máquinas. Se han cambiado las mangueras, se han instalado mejores acoplamientos y se realizan mejores inspecciones [SSAB].

Los valores de evacuación alcanzados son 0,4 mg/l para aceite (0,7 t/a) y 3,8 mg/l para sólidos en suspensión (6 t/a) (año de referencia 1994, valor mensual medio?) [SSAB].

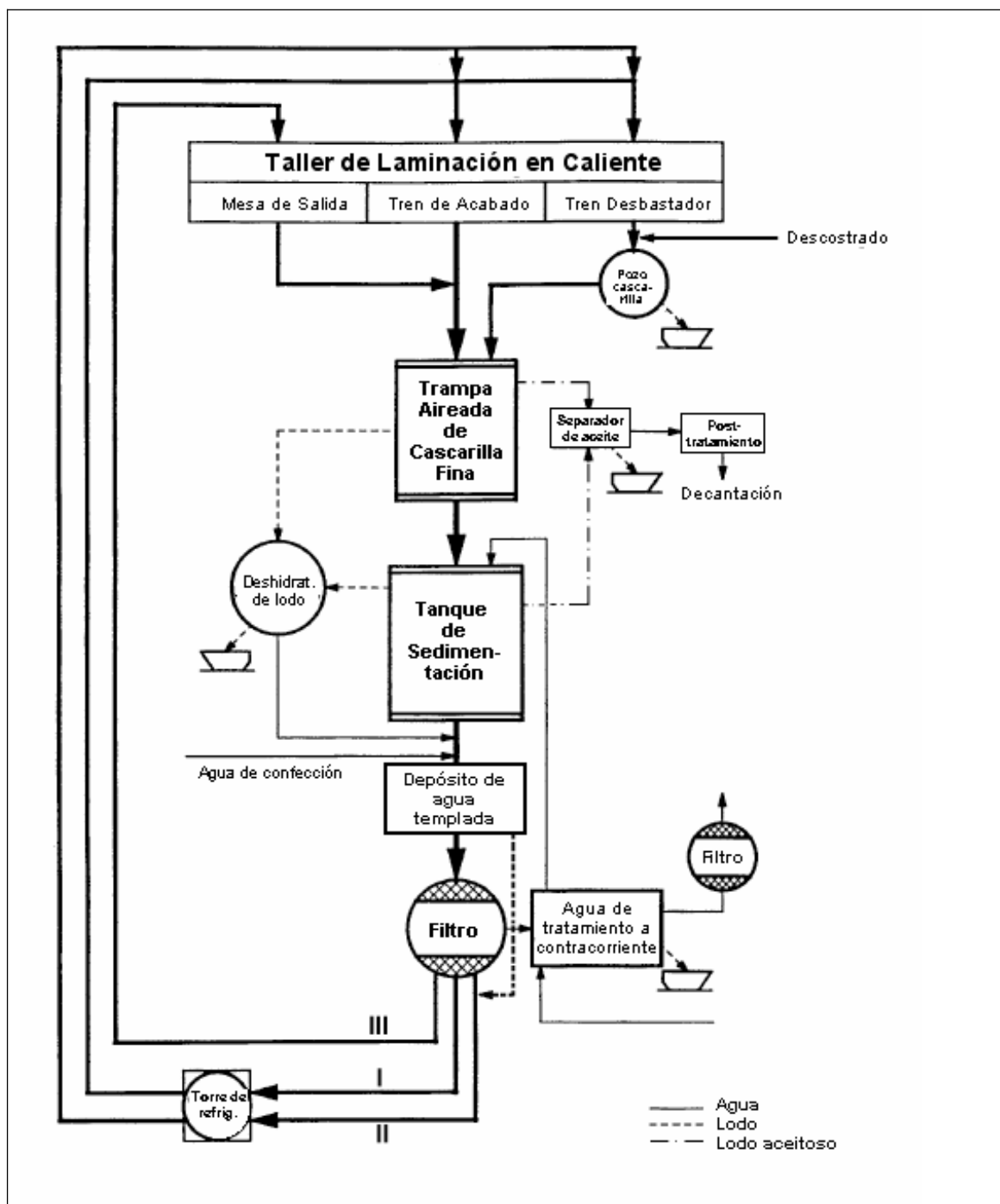
Ejemplo B: Stahlwerke Bremen

La Figura A.4-13 muestra el circuito de agua y el sistema de tratamiento de agua instalados en Stahlwerke Bremen. El sistema trata un caudal medio de agua de 18000 m³/h; alrededor de 3500 m³/h del mismo es del tren desbastador, y alrededor de 14500 m³/h del tren de acabado, incluida el agua de la mesa de rodillos de salida, la bobinadora y el sistema de extracción de niebla. La cascarilla gruesa se elimina del agua de proceso de tren de desbaste en pozos de descascarillado antes de ser tratada junto con el caudal del tren de acabado en trampas de cascarilla fina aireadas seguidas por tanques de sedimentación. Antes de recircular el agua y dividirla en corrientes de distintas calidades, se limpia en filtros de arena. Estos consisten en 3 grupos de filtros de presión; funcionando a plena capacidad de producción, la velocidad de filtrado es 21,4 m/h. La reducción en la concentración de sólidos, hierro e hidrocarburos en suspensión se muestra en la Tabla A.4-18 [Dammann], [UBA-Kloeckner-82].

Sustancia	Pozos de descascarillado, trampa de cascarilla fina aireada, tanque de sedimentación	Filtro de arena/grava		
	Salida	Entrada ¹	Salida	Reducción
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[%]
Sólidos en suspensión	40 – 70	36	3.5 ~ 3.8	90
Hierro	10 – 20	7,7	0.85	90
Hidrocarburos	1 – 2	1,7	0.5 ~ 0.6	65

Nota: Fuente de datos [UBA-Kloeckner-82].
¹ concentración media de entrada

Tabla A.4-18: Concentraciones de contaminantes en el circuito de agua



Corriente I: 4600 m³/h para refrigeración de máquinas (calidad máxima, aceite < 10 mg/l).

Corriente II: 7400 m³/h trenes de desbaste y de acabado (calidad media, aceite ~15 mg/l).

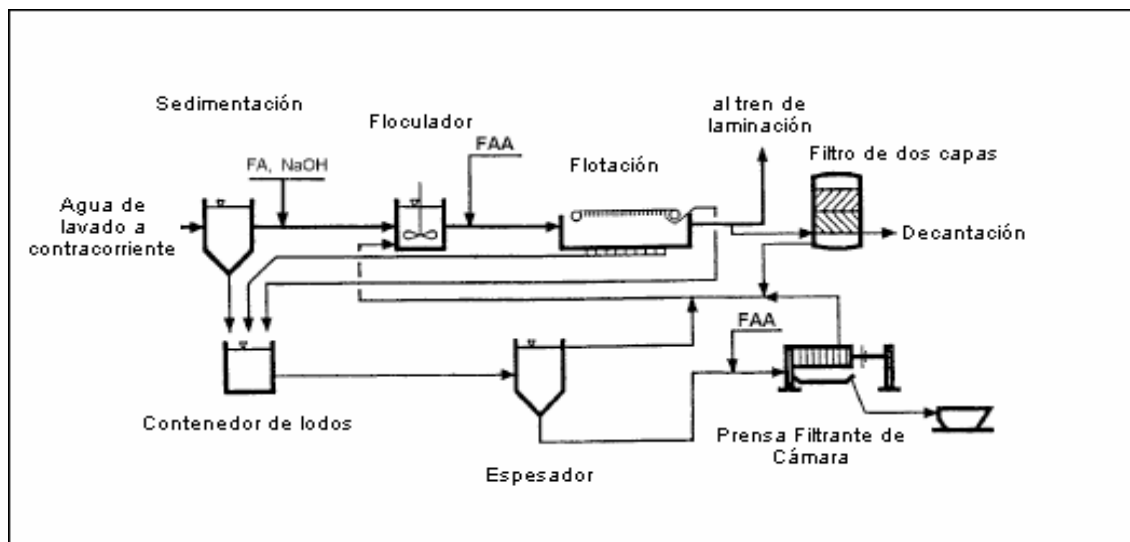
Corriente III: 6000 m³/h mesa de rodillos de salida (calidad baja, aceite < 20 mg/l).

Figura A.4-13: Ejemplo de sistema de recirculación de agua para una planta de laminación en caliente.
[UBA-CS-8007].

Para compensar las pérdidas por evaporación y agua de decantación, se añade al sistema agua de la acería o – en caso de parada de producción – agua filtrada en bruto de un río. La cantidad de agua de decantación que debe extraerse del sistema para evitar la acumulación de sales se minimiza mediante su reutilización para filtros de arena de lavado a contracorriente, y mediante su uso parcial en el proceso de escorias [Dammann], [UBA-Kloekner-82].

Del lavado a contracorriente de filtros se obtienen unos 750 m³/h que son tratados como se muestra en la Figura A.4-14. Alrededor del 92% de los sólidos sedimentan en el paso de sedimentación; los sólidos en suspensión restantes (aprox. 50 mg/l) y los hidrocarburos (media 1,5 mg/l) son tratados por floculación y flotación. El agua es luego recirculada al sistema de agua. La corriente parcial que debe desecharse se trata en filtros de doble capa. Las concentraciones de los sólidos y los hidrocarburos en suspensión están bastante por debajo de los valores límite de emisiones fijados por las autoridades (10 mg/l SS y 1 mg/l HC). Los niveles de emisión alcanzados se muestran en la Tabla A.4-19.

Para el mantenimiento del circuito de agua se agregan biocidas, inhibidores de corrosión y agentes dispersantes. Cuando se requiere (ej: una vez al día) se realiza cloración instantánea.



FA = agente floculante FAA = agente de ayuda a la filtración

Figura A.4-14: Tratamiento del agua de lavado a contracorriente
[UBA-CS-8007].

Sustancia	Concentración en mg/l	Tipo de muestreo	Mediciones en 1998 Operador/Autoridad Competente
Fe	0,13	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Aceite	< 0,1	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Sólidos en suspensión	< 3	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Cr	< 0,01	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Ni	0,02	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Zn	0,03	Muestreo aleatorio cualificado	12/6

Note: Fuente de los datos: Senator für Bau und Umwelt Bremen. Planta: Stahlwerke Bremen.
Valores medios de las muestras aleatorias cualificadas de 1998. Volumen de agua residual: 1620404 m³

Tabla A.4-19: Concentración de efluentes del tratamiento de agua de lavado a contracorriente.
[Com2 D].

Ejemplo C: SIDMAR

El circuito de agua instalado en Sidmar se compone básicamente de 3 sistemas: El sistema de 3 bar para refrigerar los cilindros de apoyo, la mesa de rodillos y los motores; el sistema de 12 bar para enfriar los rodillos de trabajo y alimentar el sistema de bomba de descascarillado, y el sistema de 150 bar para el descascarillado a la salida del horno y en los trenes de desbaste y acabado. El caudal total es de hasta 13000 m³/h.

El agua con aceite y cascarilla del sistema de 150 bar es limpiada en un primer paso en pozos de descascarillado, seguido de filtros de arena por gravedad. El agua de proceso del tren desbastador contiene principalmente cascarilla gruesa, menos del 20% del consumo de aceite y grasa, no requiere enfriamiento y puede reutilizarse en el sistema de 3 bar sin mayor tratamiento adicional. El agua del tren de acabado contiene cascarillas finas y más del 80% del consumo de aceite y grasa. Tras los decantadores y los filtros de arena, debe enfriarse antes de ser reutilizada en el sistema de 3 bar. El agua del canal de reutilización contiene menos de 5 mg/l de sólidos en suspensión y menos de 0,2 mg/l de hidrocarburos.

Debido a la evaporación y al elevado contenido en Na, Cl, etc., se requieren unos 500 m³/h de agua de refresco, que se toma del tren laminador en caliente. El agua decantada es dirigida a la acería. El porcentaje de reutilización del sistema descrito es de más del 95%.

La eficacia del tratamiento de aguas residuales y por lo tanto la concentración de contaminantes evacuados depende entre otros de la combinación de las distintas operaciones de limpieza. La Tabla A.4-20 muestra más ejemplos de secuencias de tratamiento de agua y niveles de emisión alcanzados.

Resultados del tratamiento de aguas residuales		
Antes del tratamiento	Tratamiento	Después del Tratamiento [mg/l]
Aceite/Grasa: 10 -200 mg/l 0,7 – 2,73 kg/t Sólidos en Suspensión: 120 – 2000 mg/l 0,13 – 4,57 kg/t	Ejemplo E Sedimentación + floculación, flotación + filtro de arena	Aceite: 50 SS: 50
	Ejemplo F Sedimentación + floculación, enfriamiento + filtro de arena	SS: < 10 Aceite: <5 Fe: 12 Ni, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd: < 0.1
	Ejemplo G Sedimentación + floculación, enfriamiento + filtración magnética ¹	Reducción: SS: 90 % (baja a 3 - 9 mg/l) Aceite: 50 - 90 %
	Ejemplo B' Sedimentación + eliminación aglomerados con aire, flotación + filtro de arena	Reducción: SS (>63 µm): > 99 % 31 < SS <63 µm): 20 - 80 %:
	Ejemplo H Ciclones, estanque de sedimentación, filtro de arena	Aceite: 50 (= 20 g/t) SS: 50 (= 20 g/t) DQO: 100
Nota: Fuente de los datos [EC Haskoning]. ¹ Concentración antes del tratamiento: 30 - 100 mg sólidos en suspensión/l		

Tabla A.4-20: Reducción de contaminantes para diversos tratamientos de aguas residuales

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.12.3 Tratamiento del agua de refrigeración

Descripción:

Para poder utilizar circuitos cerrados de agua de refrigeración, el agua debe reenfriarse y ser tratada.

El enfriamiento se realiza en **torres de refrigeración** o mediante intercambiadores de calor. En las torres de refrigeración a contracorriente con enfriamiento a presión, el agua a enfriar se rocía en rejillas en los compartimentos de la torre de refrigeración, y fluye por encima de bloques hasta el acumulador de la torre de refrigeración. Unos ventiladores dispuestos lateralmente o en la parte superior aspiran aire ambiente que pasa por el agua a contracorriente. De este modo, se consigue un enfriamiento mediante la evaporación de agua. La eficacia de la refrigeración se controla mediante el volumen de aire. El desalado se controla a través de la medición de la conductividad eléctrica. Si se requiere, se añade la cantidad necesaria de dispersantes, hipoclorito sódico y biocidas (prevención el crecimiento de bacterias y hongos) y ácido o álcalis (control del pH).

En los **intercambiadores de platos**, una serie de platos con canales que los atraviesan van fijados a un bloque. Desde cada plato, se bombea alternativamente agua residual caliente y agua de refrigeración fría a través de los canales. El calor se transfiere a través de la pared del plato.

En las **torres de refrigeración híbridas**, un intercambiador de calor de platos se instala en la parte superior de la torre. En la parte inferior, el agua se enfría por evaporación. Gracias al intercambiador de calor, el aire con 100% de humedad se calienta y condensa como niebla un poco más tarde y con menos intensidad.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua, ya que el agua puede reutilizarse en el proceso.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios

- Adición de dispersantes y biocidas.
- Aumento del consumo de energía debido a los requisitos del bombeo de recirculación [Com2 HR].

En la planificación e instalación de plantas de tratamiento de agua de circuito cerrado con torres de refrigeración, debe tenerse en cuenta la situación geográfica del taller en cuestión. Debido a la evaporación de agua en el proceso de reenfriamiento, las condiciones climáticas pueden verse afectadas por la formación constante de niebla y por la denominada niebla industrial, especialmente en Europa central.

Plantas de referencia:

Datos operativos: véase Tabla A.4-16 [Com2 HR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.13 Tratamiento y reciclaje de residuos y subproductos

A.4.1.13.1 Reciclaje Interno de óxidos secos o desecados

Descripción:

Los óxidos secos o desecados, compuestos principalmente de la fracción gruesa – también derivada de las operaciones de desbaste o desbarbado – puede reciclarse selectivamente mediante separación magnética y mecánica (tamices). Así, parte del óxido puede reutilizarse directamente en la planta de sinterización, en el alto horno o en la acería.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los desechos.
- Aprovechamiento del hierro.

Aplicabilidad:

- Determinadas opciones de reciclaje requieren tratamiento preliminar mediante aglomeración [Com D].

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.1.13.2 Tecnologías de reciclaje para cascarilla con aceite

Descripción:

La utilización directa de la cascarilla de laminación con aceite en los procesos metalúrgicos está limitada según el contenido en aceite. La cascarilla gruesa con un tamaño de partícula de 0,5 – 5 mm y un contenido en aceite por debajo del 1% puede ser devuelta a la planta de sinterización sin tratamiento preliminar alguno. Un elevado contenido en aceite (> 3%) produce elevadas emisiones de COVs y posiblemente dioxinas, lo que puede producir problemas en los sistemas de purificación de gases residuales (ej: incandescencias en los precipitadores electrostáticos). Debido a ello, los residuos y desechos deben ser pretratados antes de su reutilización. El lodo de cascarilla fina está compuesto principalmente de partículas muy pequeñas (< 0,1 mm). Dado que las partículas muy pequeñas absorben aceite en un grado muy alto (5 – 20%), esta cascarilla normalmente no puede ser devuelta a la planta de sinterización sin pretratamiento. Un elevado contenido en aceite del lodo unido a la combustión incompleta puede producir la formación de vapor de aceite, lo que puede provocar un incendio en los sistemas de tratamiento de gases residuales subsiguientes [Com A].

Ejemplos para el tratamiento de la cascarilla con aceite:

Formación de briquetas (compactación) y carga del convertidor

El lodo con cascarilla se compacta en briquetas con la adición de aglomerantes. Los cuerpos conformados son de suficiente consistencia para ser cargados en el convertidor. El efecto de enfriamiento de las briquetas es suficiente para la carga del convertidor. Pueden añadirse aditivos como antracita para hacer que las briquetas sean térmicamente neutras.

CARBOFER

El lodo con cascarilla de laminación y aceite se mezcla con cal y polvo de carbón y, opcionalmente, hierro o polvo del canal de llamas con carbono para obtener una mezcla seca adecuada para inyección neumática en un reactor del proceso de fabricación de hierro y acero, como el alto horno o el horno de arco eléctrico. Puede esperarse una recuperación plena de los materiales inyectados [Com HR].

Lavado (Método PREUSSAG / eliminación de aceite)

Se carga un dispositivo de agitación con lodo preacondicionado (cascarilla, aceite, agua) con adición de reactivos en el agua de lavado. Tras enjuagar la suspensión creada, se separan los sólidos, el agua y el aceite. El resultado es un material férreo exento de aceite (~0,2%).

Flotación (Método THYSEN / eliminación de aceite)

El lodo con cascarilla es acondicionado con reactivos y se le elimina el aceite en un proceso de flotación de 3 etapas. El resultado es un producto férreo, un producto aceitoso y una mezcla de ambos.

Horno tubular giratorio (eliminación de aceite)

La cascarilla con aceite y agua es deshidratada y se elimina el aceite a temperatura de aprox. 450 – 470 °C. El horno puede calentarse directa o indirectamente. El resultado es un producto férreo exento de aceite (~ 0,1 %) mas emisiones al aire por el uso adicional de energía.

Tecnología de sinterización de 2 capas:

Pasos del proceso:

Predeformación de la carga (cascarilla de laminación, polvo del canal de llamas, etc.).

Premezcla de la carga en la carbonera seguido de un proceso de mezcla intensiva, cargando la mezcla de residuos – unos 10 m. antes de la ignición – sobre la carga primaria ya sinterizada, lo que produce una ignición secundaria.

Utilización directa en el alto horno (Método VOEST-ALPINE STAHL)

La cascarilla se inyecta en el fondo del alto horno mediante una lanza de combustión de lodos. Esta es una forma muy económica de utilizar la energía de los hidrocarburos y de reducir el óxido de hierro (cascarilla) sin necesitar un horno adicional y sin producir contaminación medioambiental adicional, pero

sólo es posible en altos hornos equipados con una lanza de combustión de lodos o de residuos de aceite. Es importante inyectar el lodo en la parte inferior y no en la superior del alto horno para asegurar que los hidrocarburos se quemen y no sólo se evaporen. Debe prestarse especial atención a las emisiones para controlar que realmente se quemen todos los hidrocarburos y para asegurar que la co-incineración de estos residuos en el alto horno no produzca mayores emisiones.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los desechos.
- Aprovechamiento del contenido de hierro como materia prima.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Los métodos de eliminación de aceite consumen detergentes o agentes floculantes y producen agua residual con aceite o residuos de flotación.
- Los tratamientos térmicos producen emisiones al aire y aumento del consumo de energía.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2 Plantas de LAMINACIÓN EN FRÍO

A.4.2.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares

A.4.2.2 Decapado

A.4.2.2.1 Reducción de la carga contaminante y del volumen del agua residual

Descripción:

Las técnicas generales para la reducción del volumen de agua residual y de la carga contaminante incluyen:

- Reducción de la formación de óxido de hierro durante la laminación en caliente y la manipulación del acero (ej: mediante descascarillado a alta presión, enfriamiento rápido, almacenamiento y transporte sin corrosión). El consumo de ácido durante el decapado es proporcional a la cantidad de óxido de hierro eliminado de la superficie. Aunque el potencial de reducción de formación de óxido es limitado, el control de la velocidad de enfriamiento puede modificar la estructura de la cascarilla. Esto puede influir sobre la velocidad de decapado y por lo tanto reducir el consumo de energía del proceso. El enfriamiento rápido de la banda laminada en caliente puede sin embargo estar limitado por motivos de calidad.
- La sustitución parcial o total de los procesos de decapado en medio acuoso por un tratamiento mecánico sin agua residual (descascarillado mecánico). En acero inoxidable, el descascarillado mecánico puede sólo aplicarse en una parte del proceso y sólo es viable una sustitución parcial [Com2 HR]. No obstante, debe reconocerse que hay una penalización energética asociada con el uso de equipos de descascarillado mecánico.
- Reducción de los costes de consumo y regeneración de ácidos agregando agentes químicos adecuados (inhibidores) para el decapado de acero de baja aleación y acero aleado (no aplicable al acero inoxidable). No obstante, los inhibidores pueden tener un efecto negativo sobre la calidad de la superficie (debido a la formación de óxido).
- Reducción de la concentración de ácido utilizando elevadas temperaturas de decapado. De todos modos, debe encontrarse un equilibrio entre la concentración del ácido y la temperatura de decapado. El punto óptimo está en función de las pérdidas de ácidos, de la eficacia del decapado y del consumo de energía. El aumento de la temperatura de decapado produce un aumento de la producción de NOx para el decapado de acero inoxidable y por lo tanto debe tenerse en consideración que hay que evitar la formación de un exceso de NOx en conjunto.
- Reducción de la concentración de ácido utilizando procesos eléctricos.
- Minimización del volumen de agua residual mediante el uso de flujo en cascada.
- Minimización del volumen de agua residual utilizando equipos mejorados de decapado y enjuague (pretratamiento mecánico, tanques cerrados para reducir los efluentes del lavado de gases, tratamiento con pulverizadores en lugar de por inmersión, rodillos de escurrido para eliminar la solución del baño de decapado adherida y reducir el arrastre de solución de decapado y agua de enjuague, etc.).
- Reciclaje interno y filtración mecánica de la solución de decapado y del agua de enjuague para prolongar su vida útil.
- Regeneración del ácido de decapado. La regeneración de los residuos de ácidos reduce el volumen de residuos que requieren neutralización. No obstante, la concentración y el volumen de residuos de ácidos debe alcanzar un cierto nivel para procesos de regeneración.
- Intercambio iónico con corriente lateral o electrodíálisis para regeneración del baño.

- Selección cuidadosa de materias primas para minimizar la contaminación de los caudales residuales.
- Reducción de la formación de polvo de óxido (durante el desbobinado, el aplanado o en el acumulador de entrada) mediante el uso de cabezales de aspiración adecuados.
- Calentamiento indirecto del ácido. La forma más común de calentar el ácido es el uso de intercambiadores de calor. El calentamiento directo por inyección de vapor diluye ácido residual, que por consiguiente no puede regenerarse.

A.4.2.2.2 Reducción de la emisión de polvo en las debobinadoras

Descripción:

El polvo de óxido de hierro se forma al enderezar la banda durante la operación de desbobinado. La formación de polvo puede evitarse mediante el uso de cortinas de agua. Este método húmedo requiere un sistema de separación para extraer el óxido de hierro del agua de rociado. Este puede ser un sistema independiente o estar integrado en el sistema global de tratamiento de agua de la planta.

En algunos casos, el método de pulverización de agua produce una acumulación no deseada de partículas de óxido en los rodillos de la línea de decapado y por lo tanto de marcas de los rodillos en la banda. En tales casos se utiliza un sistema de extracción, normalmente equipado con filtros de tejido, como alternativa para evitar la dispersión del polvo.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Prevención de emisiones fugitivas de polvo.
- Reducción de las emisiones a la atmósfera.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Consumo de energía.
- Generación de agua residual o residuos (polvo de los filtros).

Plantas de referencia:

Datos operativos y Economía:

Se han señalado costes de inversión de alrededor de 5000 euros para los pulverizadores de agua y 280000 euros para el sistema de aspiración con filtro de tejido (para un planta de 3 My/A) [CITEPA].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.3 Predescascarillado mecánico

Descripción:

Las técnicas de descascarillado mecánico, como **granallado**, **aplanador de estirado**, **laminador de revenido** o **aplanador**, se utilizan para romper y eliminar la mayor parte de la cascarilla de laminación en caliente. Al reducirse la cantidad de óxido de hierro que debe eliminarse de la superficie del acero en la sección de decapado químico, el consumo de ácido se reduce.

Las instalaciones de descascarillado mecánico están equipadas con sistemas de extracción y dispositivos de precipitación (normalmente filtros de tejido) para controlar la liberación de partículas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido.
- Aumento de la eficacia del proceso de decapado.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y, con limitaciones debido al espacio disponible, plantas existentes.
- El descascarillado mecánico para calidades de acero inoxidable sólo puede aplicarse antes del paso de decapado inicial. En posteriores pasos de decapado esto influenciaría la calidad de la superficie del producto acabado.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía.
- Generación de emisiones de partículas, que deben ser capturadas y precipitadas.
- Producción de residuos (polvo de los filtros).
- Debido a la mayor eficacia de las operaciones de decapado, las temperaturas del baño de decapado pueden reducirse, lo que reduce las pérdidas por evaporación. La reducción de la carga sobre el decapado con ácido y por consiguiente el consumo de ácidos reduce la producción de residuos ácidos.

Plantas de referencia:

Thyssen Stahl, Krefeld, Alemania (granallado horizontal para bandas laminadas en caliente y en frío, filtro de tejido) [Met-Plant-Int-1-94].

Datos operativos:

	Concentración [mg/Nm ³]	Emisión Específica [kg/t product]	Índice de reducción 1 [%]	Volumen de gas residual	Método de análisis
Ejemplo A: Unidad de granallado de planta de acero inoxidable					
Polvo	15 – 25 ¹	0.01 - 0.02	> 95	350 – 450 m ³ /t	BS 3405
Cr, Mn, Ni	fiable por debajo del límite de 5 mg/m ³ ²				
Ejemplo B: Unidad de granallado de la línea de recocido y decapado de bandas de acero laminadas en caliente					
	4.5/< 1/2,6			13800/15200/18200 Nm ³ /h	
Nota: Fuente de datos para el ejemplo A [EUROFER CR]; ejemplo B [FIN 28.3].					
¹ [CITEPA] reporta menos de 20 mg/m ³ para V=135000 m ³ /h y capacidad máxima de 225 t/h.					
² Fuente de los datos [Met-Plant-Int-1-94]					

Tabla A.4-21: Niveles de emisión de polvo conseguidos en la unidad de granallado utilizando filtros de tejido.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.4 Proceso de enjuague optimizado / enjuague en cascada

Descripción: véase también Capítulo D.8

Un proceso de enjuague optimizado tiene por finalidad reducir el agua residual generada y minimizar la contaminación del agua de enjuague. Un método común de reducir el volumen de agua residual y de lodo en el tratamiento de agua es instalar (a contracorriente) un sistema de flujo en cascada en combinación con rodillos de raqueta en la planta de enjuague. Los rodillos de escurrido y de barrido se instalan después de los baños de decapado, así como antes y después de los baños de enjuague. La solución del baño que queda adherida a la superficie de las bandas es eliminada para eliminar el arrastre de la solución del baño de decapado y de agua de enjuague concentrada de un paso de flujo en cascada al siguiente.

Un sistema típico de enjuague en cascada utiliza de tres a seis compartimentos con rodillos exprimidores para reducir la transferencia entre compartimentos. El agua fresca o de condensación que se agrega en el

último compartimento se deja fluir en cascada a contracorriente sobre un vertedor al compartimento anterior. El exceso, es decir el arrastre, rebosa desde el primer compartimento a un tanque de almacenamiento desde el que normalmente es enviado a la planta de regeneración. Se toman partes de los tanques intermedios para la absorción de los vapores ácidos en las columnas de absorción de la planta o para dilución del ácido fresco en los tanques de decapado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de consumo de agua.
- Reducción del volumen de aguas residuales y de lodos del tratamiento de aguas.
- Reducción del consumo de ácido.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia: Jenn An, Taiwan

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.5 Decapado con agitación

Descripción:

Los recientes avances en las técnicas de decapado tienen por finalidad la mejora del proceso en sí, mejorando su eficacia, la velocidad y la calidad del decapado y haciendo que el proceso sea más fácil de controlar. La Figura A.4-15 muestra la evolución desde tanques de decapado profundos a tanques poco profundos y al decapado con agitación en el que el ácido se rocía sobre la banda en el hueco estrecho entre los tanques de decapado.



Figura A.4-15: Distintos tipos de tanques de decapado

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Mayor eficacia.
- Reducción del consumo de energía, reducción del consumo de ácido.

Aplicabilidad:

- Plantas de decapado nuevas y existentes en conexión con una modernización general.

Efectos sobre otros medios

- Al ser más eficaz el proceso, son posibles temperaturas más bajas para el baño de ácido, lo que produce una reducción en el consumo de ácido [Metall94].
- Dado que el decapado con agitación es más fácil de controlar (y puede equiparse con modelos de procesos adicionales), permite un control más eficaz del efecto de decapado, lo que reduce el sobredecapado y por consiguiente produce una reducción de las pérdidas por decapado (20 – 30 %, 0,8 – 1,2 kg/t respectivamente) [Metall94].
- Se reduce el consumo de ácido nuevo y/o la capacidad de regeneración del ácido [Metall94].

Plantas de referencia:

Stahlwerke Bochum AG (Alemania); BHP (Australia); Sumitomo Metals (Japón); Sidmar (Bélgica); Thyssen Stahl (Alemania); ILVA (Italy); ALZ (Bélgica), Avesta (Suecia);

Allegheny Ludlum (USA) [Metall94].

Datos operativos:

Economía: reducción de los costes de inversión y de los costes operativos.

Razón principal para su puesta en práctica: mejora de la eficacia del proceso de decapado, mejora de la calidad, ventajas monetarias.

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.6 Limpieza y reutilización de la solución de ácido de decapado

Descripción:

La filtración mecánica con corriente lateral, la recuperación del ácido y su reciclaje interno pueden utilizarse para prolongar la vida útil de la solución de decapado. La solución se filtra, por ejemplo en filtros activos de lecho profundo, para eliminar las partículas. El enfriamiento del ácido mediante intercambiadores de calor puede ser necesario antes de la unidad de adsorción en la que un absorbente fisicoquímico (como una resina) extrae el ácido libre de la corriente residual. Una vez saturada la unidad, el ácido libre es desorbido por una corriente de agua fresca y reciclado al proceso de decapado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido (volumen de agua residual y lodo).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía.

Plantas de referencia:

Allegheny Ludlum, USA

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.7 Regeneración de ácido clorhídrico mediante tostación por atomización

Descripción:

Véase capítulo D.6.10.1.2 para la descripción del proceso de regeneración y capítulo D.6.3 para la supresión de las emisiones.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco (desde 12 – 17,5 kg/t a 0,7 – 0,9 kg/t; conc. HCl 33 %).
- Reducción del volumen de agua residual y de lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes según su tamaño.

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía y agua.
- Generación de emisiones a la atmósfera (producto de combustión y ácido), que deben reducirse, por ejemplo mediante lavado húmedo de gases.
- Producción de aguas residuales, que deben ser tratadas (véase A.4.2.2.28).
- Emisión específica de sólidos suspendidos de 2,86 g/t (en aguas residuales tratadas).
- Reducción de la cantidad de ácido nuevo a producir (proveedor).
- Genera un subproducto sólido comercializable: óxido de hierro, que puede venderse a la industria de la ferrita o usarse en la producción de tintes y vidrios.

Plantas de referencia: [Karner-1].

Empresa	Año de contrato	Capacidad [l/h]	Comentarios
Hoesch Stahl AG; Dortmund, RFA	1989	9000	
Ornatube Enterprise; Kaohsiung; Taiwan	1989	900	
Shanghai Cold Strip; China	1989	2900	
China Steel; Kaohsiung, Taiwan	1989	1900	
Sidmar S.A.; Gent, Belgium	1990	11000	
Anshan Iron & Steel; China	1991	2 x 6000	óxido de gran pureza
Benxi Iron & Steel; China	1992	5000	
Karaganda Met. Komb.; Kazajstan	1992	2 x 10000	
MMK; Magnitogorsk, Rusia	1993	11000	
Baoshan Iron & Steel; China	1994	2 x 2900	óxido de gran pureza
Hanbo Steel; Corea	1994	11000	

Datos operativos:

Las Tablas A.4-22 y A.4-23 presentan datos sobre los consumos y emisiones asociados con la tostación por atomización con HCl.

Entrada / Nivel de Consumo	
Acido consumido	0,7 - 0,9 kg/t
Agua de refrigeración (entrada)	0,07 - 0,09 m ³ /t
Agua industrial + desmineralizada	0,09 - 0,15 m ³ /t
Energía: Energía eléctrica	4 - 15 MJ/t
Energía calórica (gas natural)	102 - 119 MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones	
Emisiones Específicas	Emisiones Específicas
Subproducto sólido: Fe ₂ O ₃	5,1 - 5,4 (5,6 Sidmar) kg/t
Acido reciclado (20 %)	23 - 40 kg/t
Agua de refrigeración (salida)	0,07 - 0,09 m ³ /t
Gas residual	24 - 38 m ³ /t
Agua residual (desagüe)	0,04 - 0,07 m ³ /t
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]	

Tabla A.4-22: Niveles de consumo y emisiones para tostación por atomización de HCl.

	Concentración [mg/Nm ³]	Emisiones Específicas [kg/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
Polvo	20 - 50	n.d.	n.d.	EPA
SO ₂	0 - 100	n.d.	n.d.	Detección de SO ₄ mediante cromatografía iónica (NBN T95-202)
NO ₂ ²	300 - 370	0,014	> 90	Detección de NO ₃ por cromatografía iónica (NBN T95-301), Luminiscencia
CO	150	0,006	> 90	Umwelt-BA EM-K1
CO ₂	180000	6855	> 90	Infrarrojos
HCl	8 - 30	3,05	E-4 > 98	Cromatografía iónica (ASTM D 4327-84), Valoración potenciométrica (NEN 6476)
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR].				
¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente antes/después de la medida de precipitación.				
² (3 % O ₂).				

Tabla A.4-23: Emisiones a la atmósfera de la tostación por atomización de HCl.

El proveedor de la planta indica concentraciones de contaminantes inferiores a 2 mg/m³ de HCl y Cl₂ libre [Karner-1].

Para un dispositivo de lavado con agua a contracorriente con lavado final alcalino, [CITEPA] señala niveles de emisión de HCl de <15 mg/m³ con un coste de inversión de 1175 kECU y costes operativos de 6 kECU/a (electricidad 300 kWh, V=10000 m³/h).

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.8 Regeneración de ácido clorhídrico por lecho fluidizado

Descripción:

Véase Capítulo D.5.10.1.1 para la descripción del proceso de regeneración y Capítulo D.5.3 para la precipitación de las emisiones.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del volumen de agua residual y de lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes según su tamaño.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

La economía de una moderna planta de decapado, incluido el proceso de lecho fluidizado, comporta los siguientes factores:

- Consumo de ácido crudo.
- Utilización de agua de enjuague y de lavado.
- Producción de ácido clorhídrico limpio, exento de hierro.
- Producción de óxido de hierro que puede usarse en distintas industrias.

Generalmente, los costes de inversión de una planta de decapado, incluido el proceso de lecho fluidizado, son favorables en comparación con los costes operativos y los beneficios resultantes. La economía global variará de una instalación a otra, debido a diferencias locales en el coste de los ácidos, el coste de regeneración de la solución de decapado consumida y el coste que supone la modernización de las instalaciones existentes o la construcción de instalaciones nuevas [Rituper-1].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.9 Planta de decapado de bandas con HCl sin efluentes

Descripción:

En la determinación del agua residual del proceso de decapado, debe tenerse en cuenta la solución de ácido consumida, el agua residual del enjuague y el agua de lavado de gases. Utilizando el proceso de lecho fluidizado, la solución de ácido de decapado recorre un ciclo entre los tanques de decapado y la unidad de regeneración, lo que produce un consumo casi nulo de ácido crudo aparte de algunas pequeñas cantidades de pérdidas por evaporación [Rituper-1].

Dado que el proceso de lecho fluidizado opera a unos 850 °C, el agua adicional de enjuague y lavado de la línea de decapado puede utilizarse en la planta de regeneración. De acuerdo con el balance de energía

en el lavador de Venturi, se requiere una cierta cantidad de agua para enfriar el gas de salida del reactor mediante evaporación [Rituper-1].

La cantidad de agua de enjuague y de lavado que puede utilizarse en el proceso de lecho fluidizado depende del contenido de hierro de la solución de decapado. Un ejemplo de utilización de agua de enjuague se muestra en la Figura A.4-16. Una parte del agua de enjuague se utiliza para absorción, y el resto se agrega directamente al lavador de Venturi [Rituper-1].

En el ejemplo que se muestra en la Figura A.4-16, puede usarse un total de 5943 l/h de agua de enjuague para la absorción de HCl. Según el contenido de hierro de la solución de decapado, pueden usarse adicionalmente unos 500 l/h de agua de enjuague a 105 g/l Fe^{++} y unos 1750 l/h de agua de enjuague a 130 g/l Fe^{++} .

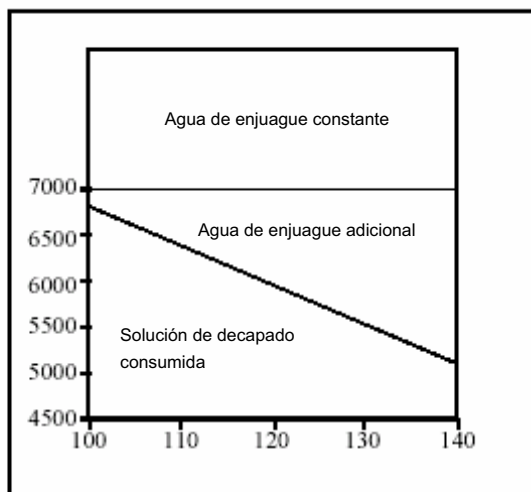


Figura A.4-16: Dependencia de la utilización del agua de enjuague del contenido de hierro. [Rituper-1].

Este ejemplo muestra que puede conseguirse operar una línea de decapado económica sin efluentes considerando la solución de decapado consumida así como las cantidades y concentraciones del agua de enjuague.

Este proceso permite operar una planta de decapado totalmente cerrada sin efluentes, y ya se ha instalado en varias instalaciones modernas. Estas instalaciones operan con consumos de ácido clorhídrico de menos de 0,2 kg de ácido por tonelada de material decapado. La Figura A.4-17 ilustra un ejemplo de una línea de decapado de bandas sin efluentes en funcionamiento [Rituper-1].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- No hay vertidos de agua ni contaminación.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes según tamaño.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

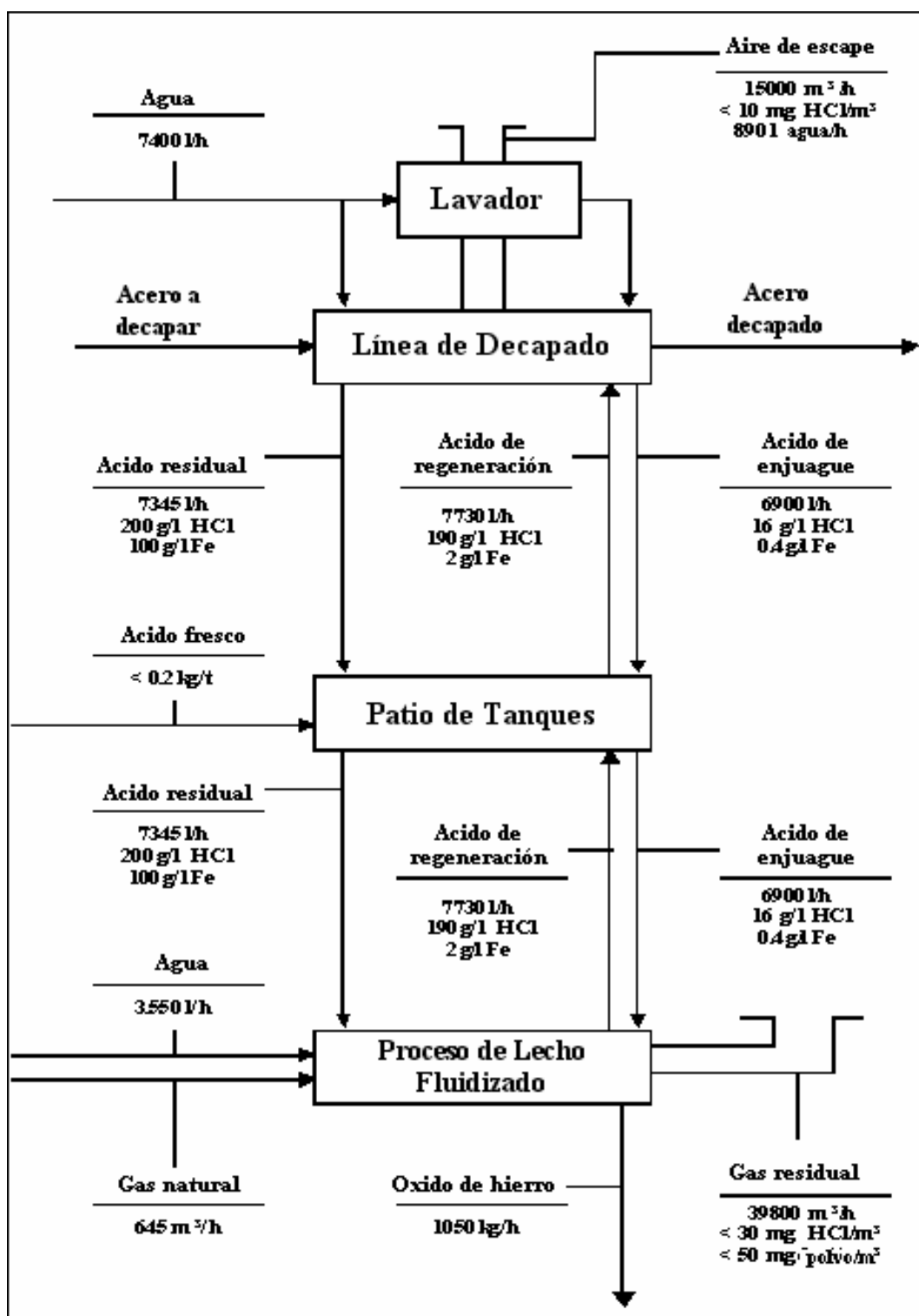


Figura A.4-17: Ejemplo de decapado con HCl y regeneración del ácido sin efluentes. [Rituper-1].

A.4.2.2.10 Recuperación de ácido sulfúrico por cristalización

Descripción: Véase Capítulos D.6.9.1 y D.6.3 para la reducción de las emisiones a la atmósfera (lavado).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del volumen de agua residual y lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes según tamaño.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía.
- Emisiones al aire de la recuperación.

Plantas de referencia:
Datos operativos:

La Tabla A.4-35 presenta datos sobre los consumos y emisiones asociados con la cristalización al vacío de H_2SO_4 .

Entrada / Nivel de Consumo	
Acido consumido	7 – 10 kg/t
Agua de refrigeración (entrada)	2 – 3,5 m ³ /t
Agua industrial + desmineralizada	0,2 – 0,4 m ³ /t
Energía:	
Energía eléctrica	1 - 20 MJ/t
Energía calórica (gas natural)	100 - 200 MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones	
	Emisiones Específicas
Subproducto sólido: Sulfato de Fe	26 - 30 kg/t
Acido reciclado (20 %)	0 -10 kg/t
Agua de refrigeración (salida)	2 – 3,5 m ³ /t
Gas residual	70 - 90 m ³ /t
Agua residual (desagüe)	0,2 – 0,4 m ³ /t
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]	

Tabla A.4-24: Niveles de consumo y emisiones para cristalización al vacío de H_2SO_4 .

	Concentración [mg/Nm ³]	Emisiones Específicas [kg/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
SO ₂	8 - 20	0.5 - 1.5	> 95	Infrarrojos
H ₂ SO ₄ ¹	5 - 10	0.3 - 0.6	> 95	Valoración
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR].				
¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente antes/después de la medida de precipitación.				

Tabla A.4-25: Emisiones a la atmósfera de la cristalización al vacío de H_2SO_4 .

Economía:
Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.11 Regeneración de mezcla de ácidos mediante tostación por atomización

Descripción: véase Capítulos D.5.10.1.2 y D.5.3.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco (desde 2,5 -7. kg/t de HF y 3 - 10 kg/t HNO₃ hasta 0,8 – 1,2 kg/t de HF), reducción del ácido nuevo a producir (proveedor) [Com Karner].
- Reducción de los lodos de neutralización [Com Karner].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com Karner].

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía y agentes químicos.
- Generación de emisiones a la atmósfera, que deben reducirse/controlarse.
- Generación de agua residual, que debe tratarse.
- Generación de subproducto utilizable de mezcla de óxidos [Com Karner].

Plantas de referencia: [Com Karner].

Empresa	Capacidad [l/h]	Año de Inicio
Acerinox, España	3000	1992
Yieh United, Taiwan	4500	1994
Posco, Corea	4500	1994
Columbus, Sudáfrica	4500	1995

Datos operativos:

La Tabla A.4-26 presenta datos de consumo y emisiones de la regeneración de mezcla de ácidos mediante tostación por atomización.

Entrada / Nivel de Consumo	
Acido consumido	25 - 100 kg/t
Agua de refrigeración (entrada)	1,5 - 9 m ³ /t
Urea (para Denox)	0,4 - 1 kg/t
Sosa cáustica	
Energía: Energía eléctrica	5 - 20 MJ/t
Energía calórica (gas natural)	60 - 230 MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones	
	Emisiones Específicas
Subproducto sólido: mezcla de óxidos	1,7 - 5 kg/t
Acido reciclado (HF 6 %, HNO ₃ 10 %)	26 - 108 kg/t
Agua de refrigeración (salida)	1,5 - 9 m ³ /t
Gas residual	25 - 100 m ³ /t
NOx	< 100 ppm (= 200 mg/m ³ NO ₂ calc.)
HF	< 2 mg/Nm ³
Polvo	< 10 mg/Nm ³
Agua residual (desagüe)	0,003 - 0,01 m ³ /t
Nota: Fuente de los datos [Com-Karner], ejemplo Pyromars.	

Tabla A.4-26: Niveles de consumo y emisiones para regeneración de mezcla de ácidos mediante tostación por atomización.

Economía: ahorro gracias a la reducción del consumo de ácido y al subproducto comercializable.

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

W. Karner, W.Hofkirchner, Modern pickling and acid regeneration technology (Tecnología moderna de decapado y regeneración de ácido), MPT-Metallurgical Plant and Technology No.2, 1996, 92 -100

A.4.2.2.12 Recuperación de mezcla de ácidos (HNO₃ y HF) mediante intercambio iónico

Descripción: véase Capítulo D.5.9.3.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos y del consumo de ácido fresco.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Entrada / Nivel de Consumo	
Acido consumido	0,05 – 0,2 m ³ /t
Agua	0,05 – 0,2 m ³ /t
Energía: Energía eléctrica	2 – 5 MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones	
	Emisiones Específicas
Recuperación de mezcla de ácidos:	0,05 – 0,2 m ³ /t
Indice de recuperación de HF libre:	75 - 85 %
Indice de recuperación de HNO ₃ libre:	80 - 85 %
Indice de eliminación de metales:	50 - 55 %
Solución de ácido diluida con contenido de metales	0.05 - 0.2 m ³ /t
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR].	

Tabla A.4-27: Niveles de consumo y emisiones para recuperación de mezcla de ácidos mediante intercambio iónico.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.13 Recuperación de mezcla de ácidos (HNO₃ y HF) mediante diálisis por difusión

Descripción: véase D.5.9.4

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos y del consumo de ácido fresco.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia: Planta en Suecia.

Datos operativos:

Ejemplo

Gracias a la filtración de los ácidos consumidos, la limpieza de la membrana sólo es necesaria muy raramente. Mediante el correspondiente tratamiento preliminar de la solución de proceso se ha conseguido que una planta para la regeneración mediante diálisis por difusión del ácido de decapado de acero inoxidable (HF/HNO₃, 300 l/h), instalada en Suecia en 1989, haya funcionado hasta la fecha (1993) sin limpieza de las membranas con perfectos resultados [OSMOTA].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.14 Recuperación de mezcla de ácidos por evaporación

Descripción: Véase Capítulo D.5.10.4 y D.5.10.5.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco al reciclar el HNO_3 y el HF libres y combinados.
- No hay nitratos en las aguas residuales.
- No hay emisiones de polvo [Com2 FIN].

Aplicabilidad:

Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Consumo de energía y H_2SO_4 .
- Generación de sulfatos metálicos, que pueden neutralizarse a hidróxidos metálicos [Com2 FIN].

Plantas de referencia:

Empresa	Capacidad (l/h)	Año de Inicio
Outokumpu, Finlandia	1500	1984
Outokumpu, Finlandia	3000	1997

Datos operativos:

Entrada / Nivel de Consumo	
Acido consumido	15 – 30 litros / t
H_2SO_4 (95%)	4,0 – 6,0 kg / t
Agua de refrigeración	3,8 – 5,8 kg / t
Energía:	
Electricidad	2.3 – 3.5 MJ / t
Vapor	16 – 24 kg / t
Propano	3,2 – 4,8 MJ / t
Salida / Nivel de Emisiones	
Agua de refrigeración	3,8 – 5,8 kg / t
Acido reciclado:	14 – 20 litros / t
130 g/l HNO_3	
55 g/l HF	
Sulfatos metálicos:	5,0 – 7,6 kg / t
Fe	0,6 – 0,8 kg / t
Cr	0,09 – 0,13 kg / t
Ni	0,08 – 0,12 kg / t
SO_4	1,9 – 2,9 kg / t
H_2SO_4	1,7 – 2,5 kg / t
Gas residual	0.05 - 0.2 m ³ / t
Polvo	Nada
HF	< 2 mg / l
NO_2	$\text{NO}_2 < 100 \text{ mg / l}$
Estos datos se basan en mediciones durante el funcionamiento de la fábrica	

Tabla A.4-28: Niveles de consumo y emisiones para recuperación de mezcla de ácidos por evaporación.
[Com2 FIN].

Economía:

- Ahorro por la reducción del consumo de ácidos.
- Es fácil mantener la composición constante de los ácidos de decapado.
- No es necesario neutralizar los ácidos [Com2 FIN].

Razón principal para su puesta en práctica:

- Regeneración total de los ácidos [Com2 FIN].

Referencias bibliográficas:

B.Nyman, T.Koivunen, The Outokumpu process for pickling acid recovery (El proceso Outokumpu para recuperación del ácido de decapado), Iron Control in Hydrometallurgy, Toronto, 19 - 22 Oct 1986, p 519-536, John Wiley & Sons.

A.4.2.2.15 Predecapado electrolítico para acero de alta aleación

Descripción:

El predecapado se realiza en un tanque de electrólisis inicialmente neutro con una solución acuosa de sulfato sódico (Na_2SO_4) a una temperatura de proceso (máx. 80°C) antes de los baños de mezcla de ácidos. Las instalaciones de predecapado electrolítico con totalmente cerradas. Los vapores se extraen y se conducen a una unidad de lavado antes de su evacuación.

Entre las técnicas recientes se incluyen asimismo el predecapado electrolítico alcalino en combinación con el predecapado neutro y el decapado ácido / electrólisis ácida [Hitachi].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la carga en la mezcla de ácidos y por consiguiente reducción de las emisiones de NO_x y nitratos.
- Generalmente se emplean técnicas de lavado húmedo con torres rellenas para reducir las emisiones a la atmósfera de las instalaciones de predecapado.

Aplicabilidad:

- Líneas de decapado nuevas y existentes en caso de modernización general, siempre que se disponga de suficiente espacio.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Allegheny Ludlum, USA

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.16 Limpieza y reutilización de la solución de decapado electrolítico

Descripción:

Durante el proceso de decapado se forman sales y metales insolubles que deben eliminarse de la solución electrolítica de sulfato sódico para mantener un funcionamiento correcto.

Por consiguiente, se limpia una pequeña corriente lateral del electrolito. Las partículas de la solución se separan en clarificadores de plano inclinado por sedimentación gravitatoria. La solución clarificada es devuelta a la electrólisis, mientras que la corriente con lodo es enviada a la unidad de reducción con cromo.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Aumento de la vida útil de la solución electrolítica, reducción de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Allegheny Ludlum, USA

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.17 Uso externo de la solución de ácido de decapado consumida

Descripción: Venta para regeneración externa / Venta para uso externo en tratamiento de aguas.

- No se ha facilitado información.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.18 Reducción de las emisiones del decapado / tanques de decapado con HCl y H₂SO₄ en recinto cerrado con lavado del gas de escape

Descripción: Véase Capítulo D.5.2 y D.5.3 ff.

Los distintos pasos del proceso de decapado se realizan en equipo totalmente cerrado o en equipo equipado con campanas. Los vapores ácidos generados se extraen y se pasan a través de lavadores de gas (torres de absorción) para su limpieza. Se utiliza agua reciclada, por ejemplo del enjuague, como absorbente. Parte del agua de lavado debe ser evacuada a través de la planta de neutralización.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al aire, especialmente vapores ácidos fugitivos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía.
- Generación de agua residual ácida, que puede usarse en el proceso, por ejemplo como agua de enjuague para regeneración del HCl, o requiere neutralización y tratamiento de aguas (asociado con el consumo de agentes químicos y la producción de lodos de tratamiento de agua).

Plantas de referencia: Jenn An, Taiwan [Danieli].

Datos operativos:

Decapado con HCl

Decapado con HCl		
	Polvo	HCl
Volumen Específico de Gas Residual [m ³ /t]	25 - 400	
Consumo de Energía [MJ/t]	0,5 – 1,5	
Concentración [mg/Nm ³]	10 – 20	10 - 30 ¹
Emisión Específica [g/t]		0,258
Índice de reducción		2 > 98 %
Método de análisis	EPA	Cromatografía de iones (ASTM D 4327-84) Valoración Potenciométrica (NEN 6476)
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR].		
¹ [EUROFER 6.9] reporta un nivel superior de 30 mg/Nm ³ si se incluyen mediciones continuas.		
² Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente antes/después de la medida de precipitación.		

Tabla A.4-29: Niveles de emisiones para decapado con HCl utilizando torres de absorción

Otras fuentes reportan los siguientes niveles de emisiones:

USA [EPA-453].

Lavador con relleno + antiniebla de malla:

Valores de emisión de HCl: 2,7 / 2,8 / 21,2 mg/m³, eficacia de 9,5 / 97,8 / 97,0 % respectivamente.

Lavador con platos + antiniebla de malla:

Valores de emisión de HCl: 3,5 mg/m³, eficacia del 99.96 %.

Lavador con platos + antiniebla de espiga:

Valores de emisión de HCl: 12,9 / 13,4 mg/m³, eficacia del 99.0 %.

[Co-or] indica valores de emisión de HCl reducidos, de hasta 1 mg/m³, con una media de 15,4 y un máximo de 30 mg/m³.

[CITEPA]:

Pared de agua + paranieblas:

Emisiones HCl 10 – 15 mg/m³, costes de inversión: 450.000 ECU, costes operativos: 14.000 ECU/a,

Consumo horario de electricidad: 100 kWh.

Lavador de agua a contracorriente con relleno: Emisiones de HCl 10 – 15 mg/m³, costes de inversión: 625.000 ECU, costes operativos: 14.000 ECU/a, electricidad 80 kWh.

[Rituper] indica niveles de emisiones < 10 mg/m³.

 Decapado con H₂SO₄

Decapado con H ₂ SO ₄		
	SO ₂	H ₂ SO ₄
Volumen Específico de Gas Residual [m ³ /t]	50 - 110	
Consumo de energía [MJ/t]	1 -2	
Concentración [mg/Nm ³]	8 – 20	1 - 2
Emisiones Específicas [g/t]	0,4	0,05
Índice de reducción ¹	> 95 %	> 95 %
Método de análisis	Infrarrojos	Valoración
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]		

 Tabla A.4-30: Niveles de emisiones obtenibles para decapado con H₂SO₄ utilizando torres de absorción

Economía:

Lavado con agua a contracorriente en columnas con relleno		
Capacidad de producción	900000	t/a
Consumo de energía (eléctrica)	0,68	kWh/t
Caudal volumétrico	10,6	Nm ³ /s
Coste de inversión	625.000	EUR
Costes operativos	14.000	EUR

Tabla A.4-31: Costes estimados para lavado con agua a contracorriente en columnas con relleno. [CITEPA].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.19 Reducción de las emisiones de decapado / mezcla de ácidos en recinto cerrado con lavado del gas de escape

Descripción: Véase Capítulo D.5.2, D.5.3 (filtro de tejido) y D.5.8.3.

Lavado con H₂O₂, NaOH, urea ...

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, especialmente de vapores ácidos fugitivos (HF y NO_x).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- El lavado con H₂O₂ produce un subproducto del ácido nítrico con una concentración que permite su reciclaje al proceso de decapado.
- Reducción del consumo de ácido nítrico.
- Reducción del volumen de agua residual y del lodo del tratamiento de aguas .
- En caso de inyección de H₂O₂ o urea en el baño de decapado, el agua de lavado puede reutilizarse como agua de relleno en los tanques de decapado.
- El lavado con hidróxido sódico produce un residuo de nitrato sódico que se desecha.

Plantas de referencia:

Thyssen Stahl, Krefeld, Germany [Met-Plant-Int-1-94].

Allegheny Ludlum, USA.

Datos operativos:

[CITEPA] facilita cifras de emisiones de 0,2 – 2 mg/m³ (max 17 mg/m³) para HF y de 5 - 1000 mg/m³ para NO_x.

La industria indica que el límite inferior del rango de emisiones es 350 mg/Nm³ para NO_x [Com2 CR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.20 Supresión del NO_x del decapado con mezcla de ácidos por adición de H₂O₂ o urea al baño de decapado

Descripción: Véase Capítulo D.5.8.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de NO_x.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Reducción del consumo de ácido.
- Consumo de peróxido de hidrógeno (3 to 10 kg/t).

Plantas de referencia:

Thyssen Stahl, Krefeld, Germany (adición de urea) [Met-Plant-Int-1-94].

Datos operativos:

La adición de peróxido de hidrógeno suprime la formación de emisiones gaseosas de NO_x mediante la regeneración del HNO₃ en el tanque de decapado. De este modo es posible reutilizar el ácido, lo que produce una reducción del consumo de ácido de hasta un 25%.

	Concentración [mg/Nm ³]	Emisión Específica [g/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
NO _x	350 – 600	80 – 300	75 – 85	Quimioluminiscencia
HF	2 – 7	1 – 1,5	70 – 80	Valoración

Nota: Fuentes de los datos [EUROFER CR].

¹ El índice de reducción es una combinación de la inyección de H₂O₂ y del sistema de absorción del gas de escape.

Tabla A.4-32: Niveles de emisiones obtenibles por inyección de H₂O₂

Para la supresión de NO_x por adición de urea al baño de decapado (más lavador de gases), se señaló que las emisiones estaban consistentemente por debajo del valor límite de NO_x de 850 mg/m³. El mayor contenido de amoníaco en el agua residual se redujo por aireación [Met-Plant-Int-1-94].

Economía:

Para una reducción de NO_x del 70% se indicó un coste de adición de peróxido de hidrógeno de 4000 ECU/kg NO_x [CITEPA].

Para decapado con agitación en baño poco profundo, la dosificación requerida de peróxido de hidrógeno puede aumentar drásticamente [Com2 CR]. Por ello, para grandes instalaciones de decapado, en las que la dosificación de peróxido de hidrógeno será excesiva, pueden ser más apropiadas otras medidas de reducción de NO_x, como un sistema de RCS.

Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.21 Reducción del NO_x del decapado por reducción catalítica selectiva

Descripción: Para una descripción más detallada, véase Capítulo D.2.4.

La técnica de Reducción Catalítica Selectiva (RCS) se aplica a las emisiones del decapado con mezcla de ácidos. Esto comprende el calentamiento del gas de escape de los tanques de decapado, que contiene NO_x, a 280 - 450 °C, y la inyección de amoníaco o urea. La corriente de gas se pasa luego por un catalizador y el NO_x reacciona con el amoníaco para dar nitrógeno y agua.

La RCS puede combinarse con un paso adicional de reducción del HF, que se realiza mediante una absorción húmeda o tratamiento con cal [Com CR]. En este último, el gas residual se trata con cal antes de la RCS. El HF reacciona con la cal para formar espato flúor que, debido a su alto grado de pureza, puede utilizarse como materia prima secundaria [CITEPA].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del NOx (eficacia de reducción de hasta el 95 % con un rango típico de 70 – 90 %. El nivel de NOx alcanzado depende de la concentración inicial).
- Si se combina con tratamiento con cal, reducción de las emisiones de HF.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y modernización general de plantas existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: 3 unidades en la Plnta de Outokumpu en Tornio, Finlandia [Com2 FIN].

Datos operativos:

Economía: elevado coste de inversión, por lo que sólo es para grandes instalaciones [Com CR].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.22 Reducción del NOx del decapado por reducción no catalítica selectiva

Descripción: Para una descripción más detallada, véase Capítulo D.2.5

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de NOx.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y modernización general de plantas existentes.

Efectos sobre otros medios

- Consumo de energía para calentar el gas de escape con el fin de obtener la temperatura operativa para la RNCS.

Plantas de referencia: No se ha aplicado para decapado con mezcla de ácidos.

Datos operativos y Economía:

Calentar los gases de escape de un proceso a temperatura ambiente hasta la temperatura requerida por la RNCS (del orden de 900 - 1000 °C) significa que los costes operativos serían muy elevados. Además, la eficacia de eliminación es menor que la que puede conseguirse con la RCS, que requiere una temperatura de unos 500 – 600 °C menos que la RNCS para un funcionamiento eficaz [Com3 EUROFER]. Dado que existen otras medidas de reducción de NOx disponibles más apropiadas y eficaces, la CNS no ha sido seleccionada como Mejor Técnica Disponible para la reducción de NOx del decapado con mezcla de ácidos.

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.23 Decapado de acero inoxidable sin ácido nítrico

Descripción: Para una descripción más detallada, véase Capítulo D.5.8.2.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de NOx.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y modernización general de plantas existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia: no se ha aplicado para decapado de bandas [Com2 CR].

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.24 Optimización del uso del aceite para acero de baja aleación y acero aleado

Descripción:

Cuando se aplica aceite a la chapa (con aceite de laminación o aceite anticorrosivo), la optimización de las cámaras de pulverización de aceite o de las máquinas de engrase permite una reducción del consumo de aceite. Una máquina de engrase electrostático tiene la ventaja de que el caudal de aceite puede adaptarse continuamente al espesor requerido de la película de aceite a la velocidad actual de la línea.

Si la chapa decapada (producto) debe usarse para laminación en frío, el engrase con aceite de laminación puede no ser necesario en la línea de decapado. Por otra parte, el engrase con aceite anticorrosivo no es necesario si el siguiente proceso sigue inmediatamente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.25 Bombas magnéticas (acero de baja aleación y acero aleado)

Descripción:

Las bombas mecánicas necesitan un flujo constante de agua en el collarín de estanqueidad de los cierres mecánicos. La sustitución de las bombas mecánicas por bombas magnéticas reduce los requisitos de agua.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.26 Calentamiento del ácido mediante intercambiadores de calor

Descripción: véase Capítulo D.6

El uso de intercambiadores de calor evita la dilución del ácido de decapado que ocurre con la inyección directa de vapor.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.27 Calentamiento del ácido por combustión sumergida

Descripción: Véase Capítulo D.6

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.2.28 Tratamiento del agua residual ácida

Descripción:

El agua residual ácida del enjuague y de los absorbedores de vapores del sistema de extracción del tanque de decapado, si no puede utilizarse en los tanques de decapado, y el agua residual de aclarado (limpieza de la planta) requieren tratamiento antes de su evacuación. El agua residual se neutraliza (ej: con aguas residuales alcalinas de otras operaciones de la planta), los iones metálicos disueltos se transforman en hidróxidos o sales poco solubles en agua, que posteriormente son eliminadas por sedimentación, en muchos casos añadiendo floculantes. El lodo de metal precipitado se deshidrata en prensas de filtro y se desecha.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del volumen y de la carga de contaminantes en el agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Generación de gran cantidad de lodos.
- Los lodos, consistentes principalmente en hidróxido de hierro y agua, pueden reciclarse para la producción de hierro mientras no estén contaminado por metales inaceptables (ej: zinc) o por otros componentes. Debe tenerse cuidado en evitar la mezcla de las corrientes de agua residual y de los lodos, lo que podría dificultar el reciclaje.
- La neutralización puede también crear grandes cantidades de sales neutras (ej: NaCl, CaCl₂, Na₂SO₄, CaSO₄), la mayoría de las cuales son muy solubles en agua y se evacúan con el agua tratada. Su extracción sólo es posible mediante un tratamiento muy especial y en muchos casos antieconómico (ósmosis inversa, electrodiálisis o evaporación seguida de intercambio iónico, evaporación de concentrado y secado de las sales). Incluso si se extraen estas sales, su composición mixta limita su uso, y su desecho en vertedero puede estar restringido por su solubilidad.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

	Concentración [mg/l]	Emisión Específica [g/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
Sólidos en suspensión	50	2,86	> 90	DIN 38409-H2
Fe total	2	0,114	> 90	DIN 38406
Zn total	0,06 – 1			"
Ni total	0,1 – 0,5			"
Cr total	0,02 – 0,5			"
Cr^{VI}	0,01 – 0,1			"
Temperatura	< 30 °C			Termómetro
pH	6,5 – 9,5			DIN38404-C5

Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]. Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 h.

² Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente antes/después de la medida de precipitación.

Tabla A.4-33: Concentración de contaminantes en la evacuación de agua de las plantas de decapado con HCl y regeneración [EUROFER CR].

Sustancia	Concentración [mg/l]	Tipo de muestreo	Mediciones en 1998 Operador/Autoridad Competente
Fe	0,41	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Aceite	< 0,28	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Sólidos en suspensión	< 10	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Cr	< 0,01	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Ni	0,03	Muestreo aleatorio cualificado	12/6
Zn	0,02	Muestreo aleatorio cualificado	12/6

Nota: Fuente de los datos: Senator für Bau und Umwelt Bremen. Planta: Stahlwerke Bremen. Valores medios de las muestras aleatorias cualificadas de 1998. Volumen de agua residual: 264528 m³

Tabla A.4-34: Concentración de efluentes en el agua evacuada de las plantas de decapado con HCl y regeneración [Com2 D].

	Concentración [mg/l]	Emisión Específica [g/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
Sólidos en suspensión	40 - 50	16 - 20	> 90	DIN 38409-H2
Fe total	1,4 - 2	0,3 – 0,5	> 95	DIN 38406
Zn total	0,15 - 1			"
Ni total	0,1 – 0,5			"
Cr total	0,5			"
Cr^{VI}	0,01 – 0,1			"
Temperatura	< 30 °C			Termómetro
pH	6,5 – 9,5			DIN38404-C5

Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]. Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 h.

² Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente antes/después de la medida de precipitación.

Tabla A.4-35: Concentración de contaminantes en la evacuación de agua de las plantas de decapado con H₂SO₄ y regeneración [EUROFER CR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3 Laminación

A.4.2.3.1 Laminación en continuo en lugar de laminación en discontinuo convencional para acero de baja aleación y acero aleado

Descripción: véase Capítulo A.2 Laminación en continuo

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite.
- Reducción del consumo de electricidad.

Aplicabilidad:

- Aplicable a instalaciones con una alta capacidad de producción y el mismo tipo de productos.
- Instalaciones nuevas o modernización general de las instalaciones existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

- La laminación en continuo parcial o total puede ofrecer grandes ventajas en comparación con la laminación en discontinuo.
- Mejora del rendimiento del material debido al mejor control del calibre de los extremos de las bobinas.
- Mejora de la calidad.
- Reducción en la frecuencia de cambio de los rodillos.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

- Mejora de la calidad y mayor rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.2 Planta de decapado conectada con el laminador tándem

Descripción:

El acoplamiento de una línea de decapado existente con un laminador tándem existente sólo es beneficioso cuando las capacidades de las dos instalaciones individuales están bien equilibradas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la chatarra (minimización de defectos).

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas o modernización general de las plantas existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

- Tiempo de proceso reducido, minimización de defectos, aumento del rendimiento.

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.3 Elección óptima del aceite de laminación y del sistema de emulsión

Descripción:

La elección adecuada de un aceite para laminador tándem es importante por motivos de calidad (buenas propiedades de destilación, fácil eliminación en líneas de desengrase). Además, para limitar el consumo de aceite, un aceite para laminador tándem debe satisfacer una serie de criterios funcionales:

- Unas buenas características de lubricación permiten reducir el consumo de aceite.
- Es necesaria una fácil separación de las fugas accidentales causadas por el sistema hidráulico o por los cojinetes Morgoil. Si la separación no es posible, es necesaria una renovación parcial o total de la emulsión.
- Los parámetros de proceso reales (reducción en frío, calibre, fuerzas de laminación, velocidad, rugosidad) y la estación de preparación de emulsión disponible determinan los requisitos de estabilidad de la emulsión y de la dispersión del aceite en la emulsión.
- La calidad del aceite debe permanecer invariable durante periodos largos de parada de la línea (estabilidad de la emulsión, formación de bacterias) con el fin de evitar el desecho prematuro de la emulsión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite.
- Reducción del desecho de emulsión residual.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.4 Control continuo de la calidad de la emulsión

Descripción:

La calidad de la emulsión puede degradarse por muchos accidentes, que son difíciles de controlar: arrastre de ácido de la línea de decapado, contaminación del agua de enfriamiento de la emulsión, contaminación con aceite hidráulico o Morgoil, destrucción de las propiedades de la emulsión por bacterias, o concentración de finos de hierro. Estos accidentes producen muy a menudo una renovación parcial o total de la emulsión del laminador tándem. Una medición regular o, si es posible, continua de las características importantes de la emulsión (concentración de aceite, pH, índice de saponificación, concentración de ácido, concentración de posibles contaminantes, concentración de finos de hierro, etc.) ofrece la posibilidad de detectar o corregir las anomalías en la calidad de la emulsión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite/emulsión.
- Reducción de la cantidad de emulsión a tratar y desechar.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.5 Prevención de la contaminación

Descripción:

Un control regular de las juntas y de los conductos sirve para evitar fugas y por consiguiente la contaminación de la emulsión de laminación con aceite hidráulico o Morgoil.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de emulsión.
- Reducción del tratamiento y evacuación de agua residual.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.6 Optimización del uso de emulsión/aceite

La concentración de aceite residual que queda en la banda que sale del laminador, que es responsable de la mayor parte del consumo de aceite, es función de la concentración de aceite en la última caja de laminación. Por consiguiente, la concentración de aceite en la última caja de laminación debe limitarse al mínimo requerido para lubricación y el arrastre de emulsión de las anteriores cajas, en las que la concentración de aceite es mayor, debe ser menor que la concentración mínima de trabajo. Las posibles medidas (separación de los depósitos de emulsión, blindaje de las cajas de laminación) son específicas para cada instalación.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.7 Limpieza y reutilización de la emulsión

Descripción: véase Capítulo D.3.1

Las emulsiones de laminación de las cajas de laminación se pulverizan sobre los rodillos para su enfriamiento, lubricación y limpieza. La contaminación de la emulsión de laminación se produce debido a la captación de partículas, limaduras de acero, cascarilla y polvo. Actualmente los sistemas de emulsiones se utilizan como sistemas de circulación, en los que se integran dispositivos de limpieza para mantener la calidad de la emulsión y por tanto minimizar los daños en el acabado de la superficie de la banda.

Se utilizan tanques de sedimentación, separadores filtros de malla, filtros magnéticos, etc. para eliminar las impurezas de la emulsión. Sólo debe extraerse del circuito una parte del caudal, que se trata en plantas de separación de emulsiones y por último se desecha.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de emulsión nueva de laminación en frío.
- Reducción del volumen de agua residual.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.8 Tratamiento de la emulsión consumida

Descripción: véase Capítulo D.3.2

Una parte del caudal del sistema de limpieza del circuito de emulsión se desecha, eliminándose el aceite en una planta de separación de emulsiones y/o dividiéndose en lodos aceitosos y agua, y el agua purificada es luego evacuada. Los lodos separados, que contienen aceite, puede usarse por ejemplo en los altos hornos de un acería integral.

La Figura A.4-18 presenta un ejemplo de un sistema de separación de emulsiones mediante separación electrolítica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al agua

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Tratamiento Térmico:

Efectos sobre otros medios:

- Alto consumo de energía.
- Se requiere tratamiento del gas residual.
- Poca DQO en el efluente [Woll].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Tratamiento Químico

Efectos sobre otros medios

- Producción de lodos de neutralización adicionales que contienen aceite [Com D].
- Consumo de agentes químicos [Woll].
- DQO en el efluente [Woll].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Tratamiento Electrolítico:

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Datos operativos:

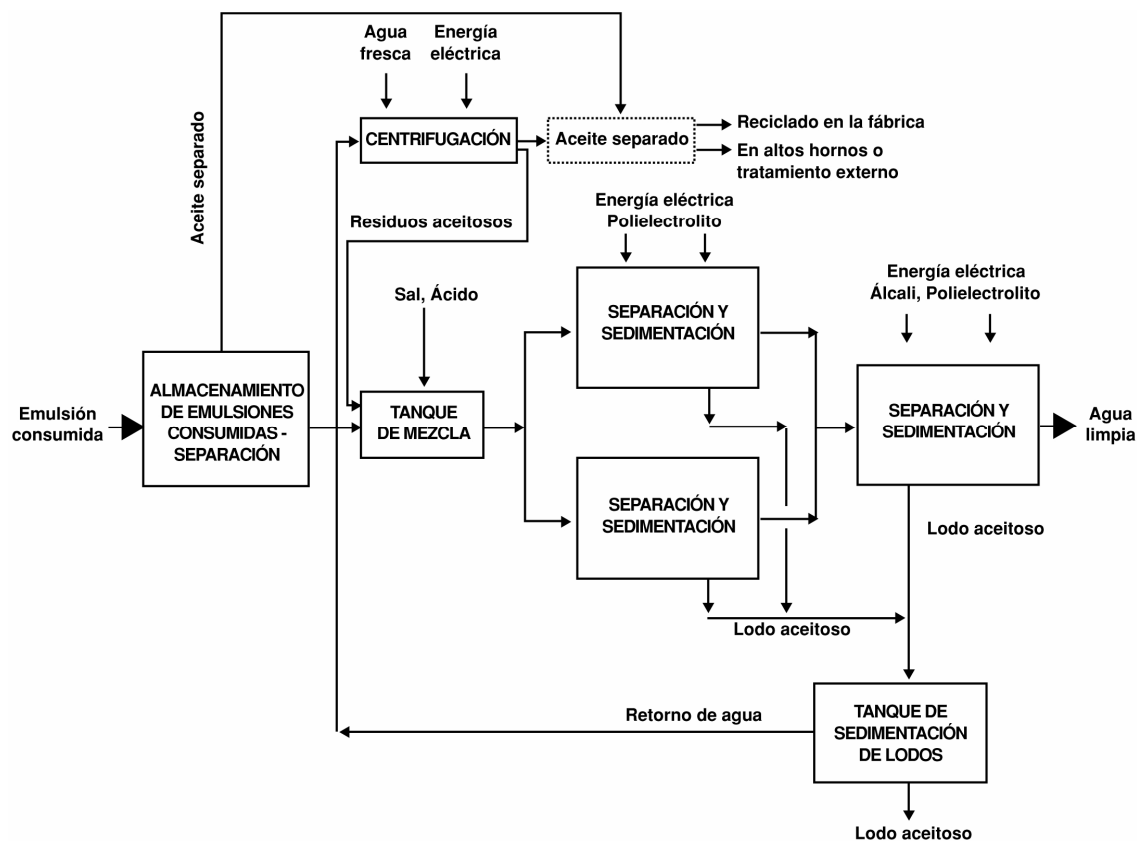


Figura A.4-18: Sistema de separación de emulsión consumida [EUROFER CR].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Ultrafiltración:

Efectos sobre otros medios:

- No se requiere adición de agentes químicos [SIDMAR].
- No se generan lodos aceitosos [SIDMAR].
- Eficacia de eliminación de casi el 100%, independientemente del contenido de aceite de los influentes [SIDMAR].

Plantas de referencia: SIDMAR

Datos operativos:

Economía: ahorro de costes.

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Entrada / Nivel de Consumo				
		Laminador Tándem		Laminador Reversible
Emulsión consumida		5 -13 kg/t		0,06 m³/t
Agua industrial		0,5 - 1 kg/t		kg/t
Sal		0,025 – 0,05 kg/t		0,125 (NaCl) kg/t
Polielectrolito		0,003 – 0,005 kg/t		0,012 kg/t
Anodos Al		0,003 – 0,006 kg/t		0,012 kg/t
Energía eléctrica		5 - 10 MJ/t		3 - 3.5 MJ/t
Salida / Nivel de Emisiones				
Agua residual purificada		5 - 13 kg/t		0,06 m³/t
Agua (-> planta de coque)				
Lodos aceitoso (desecho)		0,1 – 0,3 kg/t		1,9 kg/t
Lodos aceitoso (reciclaje interno)		2,5 – 3,5 kg/t		
Aceite (+/- 20 % agua, ➔ alto horno)		1,3 - 2 kg/t		
	Concentración [mg/l]	Emisión Específica [kg/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de análisis
Sólidos sedimentables	7 – 10	5,8 - 8 E -5	> 90	DIN 38409-H9
% Hidrocarburos	6 – 18	5,2 - 18 E -5	> 90	DIN 38409-H18
Cloruros	800 –1400	6,7 - 10 E -3		DIN 38405-D1
Sulfuros	0.004 - 0.4	3,3 - 330 E -8		DIN 38405-D26
NO2 -	8 –10	8 - 9 E -5		DIN 38405-D19
Pb total	0,03 – 0,3	2,65 - 27 E -7		> 90 DIN 38406
As total	0,075 – 0,1	6,2 – 7,5 E -7	> 90	DIN 38406
Zn total	0,08 – 1,6	6,6 - 132 E -7	> 90	DIN 38406
Ni total	0,4 – 0,5	3,3 - 4 E -6	> 90	DIN 38406
Cr total	0,008 – 0,4	6,6 - 2500 E -8	> 90	DIN 38406
Cu total	0,06 – 0,4	5 - 33 E -7	> 90	DIN 38406
AOX	0,1 – 0,4	8,3 - 32 E -7		DIN 38409-H14
BTX	0,02 – 0,08	1,7 – 6,6 E -7		DIN 38407-F9
Temperatura	28 °C			Termómetro
pH	7,6			DIN 38405-C5
Notas:				
- Fuente de los datos [EUROFER CR].				
- Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 horas.				

Tabla A.4-36: Datos operativos para la separación electrolítica de emulsiones

A.4.2.3.9 Extracción de las emisiones de niebla de aceite y separación del aceite

Descripción:

Los vapores de emulsión de los trenes de laminación se extraen mediante separadores para su limpieza. Se utilizan eliminadores que contienen rellenos y platos o mallas para separar el aceite del flujo de aire extraído, y en algunos casos se emplean precipitadores electrostáticos. La emulsión separada puede ser devuelta al sistema de emulsión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los vapores de emulsiones, eficacia > 90 %.

Aplicabilidad:

- Operaciones de laminación y desbaste de bandas.
- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- El aceite recuperado de los separadores puede ser reciclado, aunque en algunos casos la vuelta del aceite de los filtros de emulsión podría ser imposible debido a la mala calidad del aceite (bacterias) [Com HR].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

	Laminador Tándem	Laminador Reversible Baja Aleación	Laminador Reversible Alta Aleación	
Separador de Extracción de Vapores de Emulsión	n.d.	Separador de gotitas de tejido de acero	Separador de gotitas de tejido de acero	
Volumen [m³/t]	1850 - 2000	175 - 850	3000 - 12000	
Consumo de Energía [MJ/t]	5 –10	2 – 13	n.d.	
Niveles de Emisiones Alcanzados				
Contaminante	Polvo ²	Hidrocarburos ¹	Hidrocarburos ¹	Aceite
Concentración [mg/m³]	10 –50	5 – 20	10 – 12	10 - 20
Emisión Específica [g/t]	96	7	8.4 - 10.1	50 - 80
Índice de Reducción ³ [%]	> 90	> 90	> 90	n.d.
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR].				
¹ Como carbono orgánico método de análisis Umwelt-BA EM-K1, EPA S 008.				
² Método de análisis EPA.				
³ Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente.				

Tabla A.4-37: Niveles de emisión alcanzados para la separación de vapores de emulsión en trenes de laminación.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.3.10 Ciclos de agua de refrigeración / sistemas especiales de agua de refrigeración

Descripción:

El calor generado durante la laminación en frío se disipa normalmente, a través de intercambiadores de calor de platos, a circuitos de agua de refrigeración. El agua de estos circuitos puede recircularse para minimizar el consumo, disipando el calor a través de torres de refrigeración por evaporación o circuitos de refrigeración secundarios.

Sistema especial de refrigeración de agua:

Permite minimizar el riesgo de contaminar el agua de refrigeración con aceite.

Reutilización del agua de refrigeración:

Ahorro de recursos naturales y energía en el sistema de limpieza del agua de refrigeración.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Sistema de Agua de Refrigeración

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua de refrigeración (recirculación)	8400	m ³ /t
Agua de río	7000	m ³ /t
Agua blanda ¹	2.5 E -4	m ³ /t
NaOH	1,25 E -8	m ³ /t
Inhibidor	2.5 E -7	m ³ /t
Energía:		
Eléctrica	0,004	GJ/t
Calórica ²	0,282	GJ/t
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentración
Agua de refrigeración (recirculación)	8400 m ³ /t	
Agua residual (desagüe del sistema)	2,5 E -4 m ³ /t	
Sólidos sedimentables (volumen)	2 – 5 ml/l	
Hidrocarburos (aceite, grasa)	2 – 5 mg/l	0,5 – 1,25 mg/t
Cloruros	50 mg/l	12,5 mg/t
Fe total	2 mg/l	0.5 mg/t
Temperatura	35 °C	
pH	6,5 – 9,5	
Conductividad eléctrica	1,1 mS/cm	
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR].		
Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 horas.		
¹ sólo en caso de desagüe del sistema		
² energía extraída del laminador tándem por el agua de refrigeración.		

Tabla A.4-38: Niveles de consumo y emisiones para el sistema de agua de refrigeración de un laminador tándem

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4 Recocido

A.4.2.4.1 Aplicación de cascadas al baño de desengrase

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.4.2 Predesengrase con agua caliente

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.4.3 Limpieza y reutilización de la solución desengrasante

Descripción: véase CapítuloD.4.3

El elevado contenido de aceite hace que la solución desengrasante sea inutilizable y se apliquen medidas para extender la vida útil del baño. Las medidas para limpiar el baño de desengrase y prolongar su vida útil son:

Separadores magnéticos para eliminar la mezcla de finos de hierro y aceite.

Limpieza mecánica

Normalmente, las emulsiones de agentes desengrasantes y aceite/grasa de la superficie del metal son inestables y al cabo de un tiempo flotan en la superficie del baño. Pueden ser eliminadas mediante derivación del líquido superficial. Las partículas suspendidas son eliminadas por sedimentación en separadores gravitatorios. La limpieza mecánica puede extender la vida de los baños de desengrase en 2 o 4 veces.

Adsorción de surfactantes y aceite (precipitación seguida de filtración).

Ultrafiltración

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Puede reducirse drásticamente el consumo de agentes químicos para nuevos baños alcalinos.
- Reducción del tratamiento y la evacuación de agua residual.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

El aceite y la grasa aparecen como residuos en las soluciones de limpieza y desengrase. Este residuo puede utilizarse para recuperación de la energía o debe desecharse por incineración.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

La Tabla A.4-39 presenta datos de entrada/salida y de efluentes para el ciclo de la solución de desengrase de una línea de recocido continuo, que se mantiene mediante limpieza por ultrafiltración.

Entrada / Nivel de Consumo				
Solución desengrasante		50 – 60	kg/t	
Agua desmineralizada		0,3 – 0,4	kg/t	
Desengrasante		0,04 – 0,05	kg/t	
Concentrado de revenido		0,15 – 0,2	kg/t	
Energía eléctrica		4 – 5	MJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones				
Solución desengrasante limpia		40 – 50	kg/t	
Lodos		0,4 – 0,5	kg/t	
	Concentración [mg/l]	Emisión Específica [g/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Método de Análisis
Sólidos en suspensión (filtrables)	20 - 40	2,35 – 4,7 E -4	> 90	DIN 38409-H2
Σ Hidrocarburos (aceite, grasa)	5 - 8	5,9 – 9,4 E -5	> 90	DIN 38409-H18
Fe total	1 -2	1,2 – 2,4 E -5	> 90	DIN 38406
Temperatura	30 °C			Termómetro
pH	6,5 – 9,5			
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR]. Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 horas.				
¹ Basado en el flujo de masa del componente.				

Tabla A.4-39: Datos operativos y de emisiones para la limpieza del baño desengrasante por ultrafiltración.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.4 Tratamiento del baño desengrasante consumido y del residuo alcalino

Descripción: véase también Capítulos D.4.4 y D.4.5.

Parte de los caudales del circuito de limpieza de la solución desengrasante, del agua de enjuague del desengrase electrolítico y del agua residual del laminador de efecto superficial, que no pueden reutilizarse en los laminadores, deben ser tratados antes de su evacuación. Antes del tratamiento del agua residual con floculantes, debe eliminarse el contenido de aceite, por ejemplo mediante ultrafiltración [Com2 D]. Luego, el agua residual se neutraliza normalmente con cal o HCl en una planta de neutralización, se pasa a través de filtros y finalmente se desecha. Los lodos se deshidratan en prensas filtrantes para su desecho en vertedero. Los lodos con aceite de las plantas de ultrafiltración pueden reutilizarse en los altos hornos [EUROFER CR].

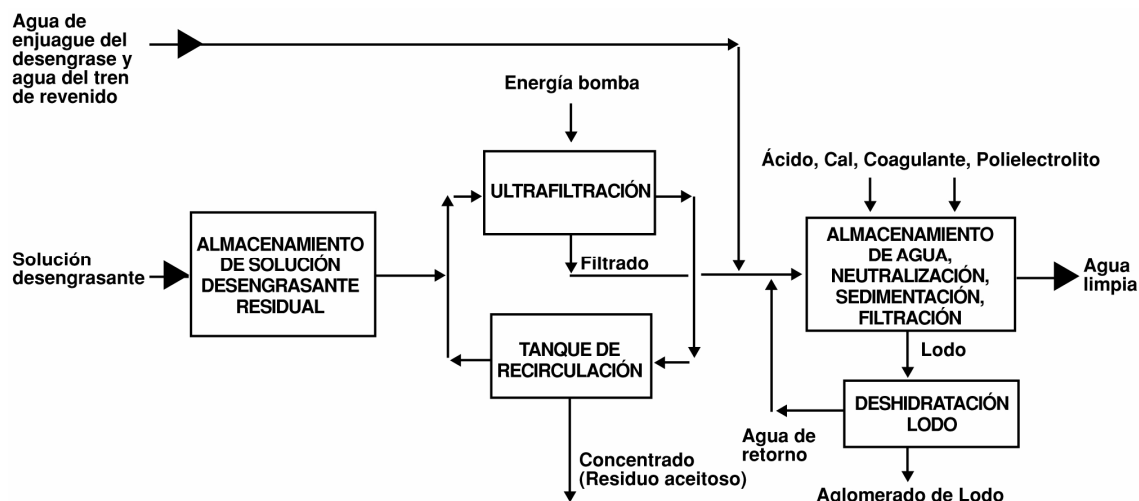


Figura A.4-19: Flujo de la solución desengrasante consumida (ejemplo de una línea de recocido continua). [EUROFER CR].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones, especialmente de aceite al agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Consumo de energía y de materias primas.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

La Tabla A.4-40 presenta datos de entrada/salida y de efluentes para el agua residual alcalina (de desengrase).

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Entrada / Nivel de Consumo				
Agua residual bruta			12 – 15 kg/t	
Acido cítrico			Ocasionalmente kg/t	
Energía eléctrica			1 – 1,5 MJ/t	
Salida / Nivel de Emisiones				
Agua residual purificada			12 –15 kg/t	
Lodo			kg/t	
	Concentración [mg/l]	Emisión Específica [g/t producto]	Indice de reducción [%]	Método de Análisis
Sólidos en suspensión (filtrables)	20 - 40	2,35 – 4,7 E -4	> 90	DIN 38409-H2
Σ Hidrocarburos (aceite, grasa)	5 - 8	5 – 8 E -5	> 90	DIN 38409-H18
COD	5000 – 6000	15,9 – 7,1 E -5	> 90	DIN 38409-H44
Temperatura	30 °C			Termómetro
pH	6,5 – 9,5			
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR]. Datos basados en un muestreo semanal de un volumen proporcional a 24 horas.				
¹ Basado en el flujo de masa del componente.				

Tabla A.4-40: Datos operativos y de efluentes para el tratamiento de agua residual alcalina

A.4.2.4.5 Sistema de extracción para las instalaciones de desengrase

Descripción:

Los vapores de los baños de desengrase y de la sección de limpieza previa de las líneas de recocido continuo se extraen mediante un sistema de extracción y se pasan por lavadores de gas para su limpieza. Como absorbente se utiliza agua reciclada. Parte del caudal del agua de lavado debe evacuarse a través de las instalaciones de tratamiento de agua de la línea de desengrase o, alternativamente, la planta de recocido continuo.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas de los vapores de desengrase.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.6 Sistemas especiales de agua de refrigeración y reutilización del agua

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.4.7 Recocido discontinuo 100% con hidrógeno

Descripción:

Puede utilizarse recocido discontinuo 100% con hidrógeno en lugar de hidrógeno/nitrógeno.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Reducción del consumo específico de energía (reducción desde 700 MJ/t en el recocido en atmósfera de H₂/N₂ a 422 MJ/t con atmósfera 100 % hidrógeno) [EUROFER CR].

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.8 Recocido continuo en lugar de discontinuo

Descripción: El recocido continuo, utilizado en lugar del recocido discontinuo convencional, puede usarse para algunas parte de la gama de productos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad: Para nuevas instalaciones o modernización general de plantas existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.9 Precalentamiento del aire de combustión / uso de quemadores regenerativos o recuperativos para el horno de recocido

Descripción: véase Capítulos D.1.1 y D.1.2

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- Hornos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Posible aumento del nivel de emisiones de NO_x (concentración).

Plantas de referencia: - British Steel Stainless, Sheffield.

Datos operativos:

Ejemplo

El horno de recocido ‘antiguo’ para bandas de acero inoxidable trabajaba con 3 zonas controladas individualmente, pero a la misma temperatura de unos 1100 °C, siendo calentado por elementos eléctricos montados en las paredes laterales. La producción máxima era de 1 t/h. En 1989, se realizaron modificaciones estructurales para aumentar la capacidad y mejorar la circulación del gas en el horno. Las 3 zonas se mantuvieron, pero las dos primeras se equiparon con dos pares de quemadores de lecho integral (IBB) de 5,5 term/h, y en la tercera zona se instaló un quemador autorrecuperativo.

Las emisiones de NO_x se midieron a niveles de combustión del quemador de 21 – 84 % del nivel máximo, y presentaban valores de 225 – 317 ppm corregidos al 3% de oxígeno (460 – 650 mg/m³).

Suponiendo una productividad media de 100 t/h y 46 semanas productivas al año, el consumo de energía primaria se redujo en el 50,6% (teniendo en cuenta el consumo de energía primaria en la central de energía para el anterior sistema de calentamiento eléctrico). El periodo de amortización en este caso fue de 5,5 años, pero el tiempo de amortización depende en gran medida de los costes energéticos (combustible, gas, electricidad, etc.). Se reportaron periodos de amortización calculados para otros escenarios: 2,5 años para gas a 2.93/GJ y electricidad a 11.77/GJ [ETSU-FP-64].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.10 Reducción de las emisiones de NOx con quemadores de bajo nivel de NOx

Descripción: véase Capítulo D.2.1

La producción de NOx derivado de los procesos de combustión puede reducirse mediante la elección de quemadores de bajo nivel de NOx.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de NOx.

Aplicabilidad:

- Hornos nuevos y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

	Concentración [mg/m ³]	Emisión [kg/t producto]	Reducción ¹ [%]	Método de análisis
Polvo	5 – 10			EPA
SO₂	60 – 100	9 – 14 E –03		Infrarrojos, Fluorescencia UV
NO₂ ²	150 – 380	25 - 110 E –02	60	Quimioluminiscencia (NBN T94-303)
CO	40 – 100	15 - 40 E –03	87	Umweltbundesamt-EM-K1, Espectrometría de I.R.
CO₂	200000 – 220000	31200	0	Espectrometría de absorción de I.R.
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR]. Volumen basado en condiciones estándar; (gas residual 10000 – 16000 m ³ /h, 200 - 250 m ³ /t) ¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente ² referencia 3 % O ₂ , mg/m ³ seco				

Tabla A.4-41: Niveles de emisión obtenibles con quemadores de bajo nivel de NOx en hornos de recocido discontinuos.

	Concentración [mg/m ³]	Emisión [kg/t producto]	Reducción ¹ [%]	Método de análisis
Polvo	10 – 20	0,16 – 0,32		EPA
SO₂	50 – 100	0,08 – 1,6		Infrarrojos, Fluorescencia UV
NO₂ ²	400 – 650	0,14 – 0,22	60	Quimioluminiscencia (NBN T94-303)
CO	50 – 120	0,08 – 0,2	87	Umweltbundesamt-EM-K1, Espectrometría de I.R.
CO₂	180000 – 250000	62,5 – 86,8	0	Espectrometría de absorción de I.R.
Notas: Fuente de datos [EUROFER CR]. Volumen basado en condiciones estándar; (gas residual 350 – 400 m ³ /t) ¹ Índice de reducción basado en el flujo de masa del componente ² referencia 3 % O ₂ , mg/m ³ seco				

Tabla A.4-42: Niveles de emisión obtenibles con quemadores de bajo nivel de NOx en hornos de recocido continuos.

Economía:

Se indicaron costes de inversión de 100.000 ECU (para un horno de recocido continuo, capacidad: 540000 t/a) [CITEPA].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.11 Precalentamiento del material de alimentación

Descripción:

Precalentamiento del material en la línea de recocido continuo con gas residual:

Esto puede hacerse por contacto directo entre la banda y los gases de combustión, o puede transferirse el calor a la banda mediante el gas protector calentado por el gas residual en intercambiadores de calor. El contacto directo es sólo posible en circunstancias controladas (según la temperatura del gas y de la banda el potencial de oxidación del gas, la humedad, la contaminación del gas con partícula. El resultado es una reducción del consumo de energía.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.4.12 Utilización del calor para el calentamiento del baño de desengrase

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.5 Revenido

A.4.2.5.1 Optimización del sistema de emulsión

Descripción:

a) Uso de pulverizadores de baja presión para la emulsión

La atomización de la emulsión de la laminación de revenido debe minimizarse mediante el uso del tipo apropiado de boquillas de pulverización a la presión adecuada.

b) Adaptación del uso de chorros de emulsión al ancho de la banda

Dado que la emulsión de laminación de revenido no se recicla, la optimización de los patrones de pulverización reduce el consumo de emulsión.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de aceite.
- Reducción del consumo de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.5.2 Cambio al proceso de revenido seco

Descripción:

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- No hay consumo de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Genera emisiones a la atmósfera.
- Requiere un sistema de extracción y genera residuos (polvo de filtros).

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.5.3 Limpieza de la emulsión del laminador de revenido

Descripción:

La emulsión de laminador de revenido consumida debe limpiarse antes de su desecho. Esta emulsión se trata generalmente junto con la emulsión del laminador tándem y demás residuos aceitosos, en el sistema de tratamiento.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Consumo de energía y de materias primas.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.5.4 Reducción de la niebla de aceite y del polvo

Descripción:

La niebla de aceite y el polvo se extraen a través del sistema de extracción, equipado con filtros húmedos o secos. Asimismo pueden aplicarse eliminadores de niebla de aceite (mecánicos) y ciclones.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:
Plantas de referencia:
Datos operativos:

	Concentración [mg/Nm ³]	Emisión Específica [g/t producto]	Índice de reducción ¹ [%]	Volumen Específico [m ³ /t]	Método de análisis
Ejemplo: Separador de gotitas de tejido de acero					
Hidrocarburos	5 – 15	0,273	> 90	90 - 110	Umwelt-BA EM-K1
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CR]					

Tabla A.4-43: Niveles de emisiones obtenibles para separadores de gotitas de tejido

Emisiones de niebla de aceite facilitadas por [CITEPA]: ~ 10 mg/m³

Economía:

Eliminador de niebla de aceite: costes de inversión: 375.000 ECU (125 para la precipitación del aceite, 250 para polvo, costes operativos 6000 ECU/a, electricidad: 70 kWh [CITEPA].

Ciclón: Costes de inversión: 25000 ECU, costes operativos: 2500 ECU/a, electricidad 45 kWh [CITEPA].

Razón principal para su puesta en práctica:
Referencias bibliográficas:

A.4.2.6 Acabado

A.4.2.6.1 Captura y precipitación de las nieblas de aceite de la operación de engrase

Descripción:

Las emisiones de aceite derivadas de la pulverización de niebla de aceite sobre las bandas a efectos de conservación, pueden reducirse con campanas extractoras, seguidas de un eliminador de aceite (tipo tabique) y un precipitador electrostático. El aceite capturado en el eliminador de niebla puede reciclarse al proceso de engrase.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas de niebla de aceite.
- Reducción del consumo de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Stahlwerke Bremen.

Datos operativos:
Ejemplo:

Mediante la medida descrita es posible capturar casi por completo la niebla derivada del engrase (apreciación visual: todas las emisiones visibles son capturadas). La eficacia indicada del eliminador de niebla era del 72%. Las mediciones del gas residual mostraron concentraciones de gotitas de agua tras el eliminador de niebla, pero antes del PE, de hasta 296 mg/m³ (promedio 104 mg/m³). La máxima

concentración medida tras el PE era de 6,3 mg/m³ con una emisión media de 3,0 mg/m³. La eficacia del PE era del orden del 97 - 98%. El contenido en carbono del gas residual sin precipitar arrojó valores medidos de 17,5 a 21,3 mg/m³; después del PE, alrededor de 10,6 a 11,9 mg/m³ [UBA-Kloeckner-82].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.6.2 Engrase electrostático

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.6.3 Optimización de la pulverización de aceite

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.6.4 Reducción del polvo del aplanado y la soldadura

Descripción:

Las emisiones de partículas de la soldadura y el aplanado son capturadas por campanas y precipitadas con filtros de tejido [CITEPA].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al aire, especialmente polvo fugitivo.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Aumento del consumo de energía.
- Generación de residuos (polvo de filtros).

Plantas de referencia:

Datos operativos y Economía:

En [CITEPA] se reportaron emisiones de polvo de 5 – 30 mg/m³ para una instalación utilizada el 5% del tiempo para reducir las emisiones de la soldadura (discontinuas) y continuamente para la reducción del polvo del aplanado. La demanda horaria de electricidad era de 110 kWh (0,64 kWh/t) [CITEPA].

Se señalaron costes de inversión de 625000 ECU (para dispositivos de recogida, conductos, filtros, ventiladores, equipo eléctrico, campanas extractoras) y costes operativos de 10000 ECU [CITEPA].

Otras fuentes [Vanroosb 3.4] indicaron para una instalación que filtra los gases de escape del aplanador por tensionado, la máquina de soldadura y la desbobinadora, valores de emisión de polvo de: 16 - 7 - 39 - 22 - (cambio de bolss) - 24 - 29 - 35 - 39 mg/Nm³.

Cada valor de emisión es el resultado de 6 muestras tomadas isocinéticamente en 6 puntos distintos en la sección transversal de la chimenea. Hay por consiguiente 2 puntos de muestreo a 90° uno del otro. Cada campaña de muestreo tarda unas 6 horas. La frecuencia de muestreo es de unas 6 veces al año.

Datos de la instalación:

Area de filtros 687 m³
 Número de bolsas filtrantes 441
 Dimensiones de las bolsas filtrantes Diam. 120 mm x longitud 4030 mm
 Tipo de bolsas filtrantes PE/PE - peso 550 g/m³ - espesor 1,9 mm - densidad 0.29 g/cm³ - permeabilidad al aire 150 l/dm³; mín a 196 Pa (columna de agua 20 mm)
 Número de ventiladores de extracción 3 x 55 kW - 1470 rev/min
 Caudal de gas (diseño) 90000 m³/h
 Caída de presión (diseño) 120 daPa
 Ciclo de limpieza 50 mseg a una presión de 4 - 6 bar [Vanroosb 3.4].

Las bolsas se cambian cuando se observa que presentan grietas. Este cambio emplea unas 50 horas de personal y requiere una parada de la línea de decapado de al menos 2 turnos. El coste es de unos 400000 BEF (10000 EUR) [Vanroosb 3.4].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.6.5 Optimización del acabado

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la chatarra

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.2.7 Taller de rodillos

A.4.2.7.1 Limpieza y reutilización de la emulsión de desbaste

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.7.2 Sistema de extracción (PRETEX/SBT)

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

A.4.2.7.3 Reducción y reciclaje de la chatarra

- No se ha facilitado descripción ni información técnica.

Descripción:

Opciones de reciclaje interno de la chatarra (del recorte, acabado, etc.).

Un buen control de proceso ayuda a reducir las pérdidas de material [Com D].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3 LAMINADOR DE ALAMBRE

A.4.3.1 Almacenamiento y manipulación de las materias primas y auxiliares

Descripción:

Todos los depósitos de almacenamiento de ácido fresco y consumido deben estar equipados con un compartimento secundario hermético y eficaz, y si es necesario también con pantallas protectoras. Este compartimento secundario debe estar totalmente protegido con un recubrimiento resistente al ácido que debe controlarse regularmente por si presenta posibles daños o grietas.

Además, la zona de carga y descarga de los ácidos debe estar diseñada de tal modo que cualquier fuga potencial se descargue directamente a la planta de tratamiento de agua residual o pueda recogerse por separado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.2 Descascarillado mecánico

A.4.3.2.1 Reciclaje externo de la cascarilla

Descripción:

La mayor parte del descascarillado en la industria del alambre se realiza mediante flexión inversa, lo que produce una cascarilla consistente principalmente en óxidos metálicos y libre de aceite y agua. Debido a la flexión y torsión del alambre, la cascarilla se rompe y cae en recipientes de recogida. Todas las empresas de producción de alambre pueden conservar la cascarilla separada de otros residuos para permitir la recuperación del contenido de hierro mediante su reciclaje a la industria primaria de hierro y acero. Si se hace o no este reciclaje depende en gran medida de los intereses de la industria local del acero, que no tiene mucho a ganar reciclando esta pequeña cantidad de materia prima secundaria de difícil manipulación [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos [CET-BAT].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- Técnicamente posible para toda la cascarilla procedente del descascarillado mecánico de alambre o alambrón.
- Limitación del reciclaje no por factores técnicos, sino por su aceptación por la posible empresa recicladora [CET-BAT].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3 Descascarillado químico / decapado de alambIÓN

A.4.3.3.1 Rango operativo óptimo de los baños de decapado con HCl

Descripción: véase Capítulo D.5.1

Dado que el decapado químico del alambIÓN se realiza principalmente de forma discontinua, ya que el decapado se realiza en los trabajos de galvanización, en principio pueden aplicarse las mismas prácticas de buen funcionamiento y de reducción.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones ácidas a la atmósfera

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

La concentración de ácido escogida de acuerdo con las directrices VDI es inferior a la utilizada normalmente para decapado de alambIÓN (véase A.3.3.2.2. para las condiciones de proceso típicas). Esto tiene como resultado:

- Una menor conversión del ácido de HCl a FeCl_2 , lo que implica un mayor consumo de HCl fresco [Com2 BG].
- La reutilización del ácido consumido como materia prima secundaria se hace muy difícil; para reutilización en la producción de FeCl_3 , se requiere una concentración mínima de un 10% de Fe; esta elevada concentración de Fe sólo puede conseguirse con una elevada conversión de HCl y una elevada concentración inicial de HCl [Com2 BG].
- Aumento del tiempo de decapado, lo que implica la inversión en tanques de decapado más numerosos y/o más grandes.
- El aumento de la superficie de los baños produce una mayor evaporación de HCl [Com2 BG].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: debido al mayor tiempo de decapado, puede ser necesaria la inversión en tanques de decapado más numerosos y/o grandes [Com2 BG].

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.2 Control de los vapores del tanque de decapado

Descripción: véase Capítulo D.5.2

Los vapores y aerosoles procedentes de los tanques de decapado pueden controlarse mediante una serie de diseños de sistemas de recogida, como extractores laterales o campanas y cubiertas instaladas encima o alrededor de un solo baño de decapado o de un grupo de tanques de decapado. El aire situado sobre los baños se extrae y envía a una columna. En caso de decapado en continuo en línea, pueden aplicarse las mismas medidas que para el decapado en plantas de laminación en frío.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas del decapado (vapores y aerosoles ácidos).

Aplicabilidad:

Campanas:

- Líneas de decapado nuevas o modernización general de plantas existentes .
- Retroinstalación de baños abiertos existentes añadiendo una cubierta o campana sobre un baño de decapado o grupo de baños de decapado, sólo es posible con costes extremadamente elevados. Requiere un sistema de transporte interno completamente nuevo, requiere cambiar la forma en que se controla el proceso de decapado (dado que el operario ya no tiene control visual, se impone el cambio a un sistema automatizado), y generalmente requiere algunos cambios en las naves e infraestructuras.

Extracción Lateral:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- La extracción (grandes volúmenes) puede causar más emisiones, dado que, debido a la presión de vapor, el vapor extraído sobre el baño es sustituido para recuperar el equilibrio.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Mejora del entorno de trabajo, protección de la instalación y de los equipos.

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3 Tratamiento del aire extraído del control de vapores del tanque de decapado

Descripción:

El tipo de tratamiento y su necesidad dependen en gran medida del tipo de ácido (HCl, H₂SO₄, otros,...) y de la forma en que se utiliza el baño de decapado (caliente o no, uso de inhibidores o surfactantes, grado de agitación). Las técnicas de precipitación disponibles son los lavadores rellenos o de platos y los separadores en suspensión (antinieblas).

Para baños de H₂SO₄ o H₃PO₄, incluso cuando se calientan, la presión de vapor del ácido es muy baja, por lo que el tratamiento del aire extraído no es necesario a menos que se emitan gotitas. En tal caso, las gotitas de ácido en suspensión pueden ser eliminadas del gas de escape por filtros de vapores secos. El ácido eliminado puede ser devuelto al tanque de decapado. Sólo se necesita poco agua para, ocasionalmente, lavar el medio filtrante [CET-BAT].

Para baños de decapado con HCl, según la concentración del HCl, la temperatura del baño, el número de bobinas de alambón tratadas por unidad de tiempo o la presencia de aditivos, se utilizan lavadores húmedos para reducir la presencia de vapores y aerosoles de HCl. Los lavadores de platos pueden trabajar con pequeñas cantidades de agua de lavado en comparación con los lavadores rellenos, lo que produce un volumen pequeño de efluente ácido bastante fuerte. Este efluente puede ser recirculado al tanque de decapado [CET-BAT], [N.Stone 2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de vapores, gotitas y aerosoles ácidos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con extracción de vapores del tanque de decapado.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

La mayoría de las instalaciones para el decapado de alambón construidas en los últimos +/- 10 años tienen lavadores en la extracción de gases de los baños de HCl [CET-BAT].

Datos operativos:

Los límites de emisión típicos son < 20 a < 30 mg/Nm³. Estos valores pueden alcanzarse sin muchos problemas con un dispositivo antiniebla (para H₂SO₄) o un lavador (para HCl) [CET-BAT].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.4 Decapado en cascada

Descripción:

El decapado en cascada se realiza en dos o más baños en serie. El ácido fluye (de forma continua o discontinua) a contracorriente de un baño al siguiente. Esto permite un uso muy eficaz del ácido al tiempo que se consigue una buena calidad de decapado [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del ácido consumido (residuo).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- En las plantas existentes, el espacio disponible puede ser un factor limitante.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Entre los costes se incluyen:

- Nave de mayor tamaño, incluida una mayor superficie de suelo a prueba de ácidos y un mayor compartimento secundario.
- Tanques adicionales, bombas adicionales, posiblemente extractores adicionales.
- Mayor complejidad de software de control de proceso para el control de la composición y el nivel del baño de decapado.
- Muchas veces, distintos tipos de alambón requieren distintos tiempos de contacto. En tal caso, también un software de control de procesos específicos para la programación y control de los movimientos de los distintos rodillos.

Estimación: 0,2 – 0,4 M Euro según la capacidad.

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.5 Minimización del arrastre del decapado

Descripción:

La minimización del arrastre requiere suficiente tiempo para que el ácido se escurra de las bobinas de alambón. Esto puede hacerse levantando lentamente la bobina de alambón del último baño de ácido de la cascada y luego dejando pasar varios segundos de tiempo de goteo sobre el baño de ácido antes de mover la bobina de alambón al primer baño de la cascada de enjuague. El escurrido puede potenciarse mediante la vibración de la bobina de alambón.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del arrastre de ácido, reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del ácido consumido (residuo).
- Reducción de las pérdidas por decapado.

Aplicabilidad:

Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.6 Separación y reutilización de la fracción de ácido libre

Descripción: véase también Capítulo D.5.9.

Se hallan disponibles varios métodos para separar el ácido libre del ácido combinado. La corriente de salida de ácido libre se reutiliza en el proceso de decapado. Esta técnica no tiene valor añadido cuando se aplica el decapado en cascada de alambrón, ya que el decapado en cascada permite convertir casi todo el ácido en sales metálicas (no hay ácido libre o hay muy poco). En otras palabras, la separación y reutilización de la fracción de ácido libre es una alternativa al decapado en cascada (véase A.4.3.2.2).

Para el H_2SO_4 , la cristalización del $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y la reutilización de la fase líquida (que contiene H_2SO_4) es una técnica común que es viable económicamente si el $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ puede comercializarse como subproducto.

Para el HCl, la evaporación del HCl es una posibilidad técnicamente disponible pero que raramente se utiliza debido a los importantes costes de inversión y energía que comporta.

Otros métodos descritos en la bibliografía, como la retardación del ácido o los procesos con membrana, no son factible por lo general (vida corta de las membranas en presencia de los aditivos del ácido e impurezas en los ácidos técnicos, así como bloqueo de los poros de la membrana por FeCl_2).

La extracción con disolventes no se considera como método de separación, debido al uso de compuestos químicos peligrosos en el proceso de extracción. Cualquier funcionamiento incorrecto de la unidad de recuperación envía disolvente a donde se supone que no debe estar, lo que produce residuos peligrosos o vertidos en el agua residual que no pueden eliminarse en una estación típica de tratamiento de aguas [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del ácido consumido (residuo).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.7 Regeneración del ácido consumido

Descripción: véase también D.5.10.

Tostación del ácido clorhídrico: El calentamiento del ácido consumido en presencia de oxígeno; proceso en fase vapor a temperatura elevada. Todo el ácido se convierte en ácido libre; los metales se convierten en óxidos metálicos. La cámara de oxidación y la unidad de recuperación de ácido deben estar hechas con materiales extremadamente resistentes a la oxidación. El HCl puede elevarse a una calidad adecuada para el decapado químico; los óxidos metálicos se desechan o se utilizan como materia prima secundaria [CET-BAT].

Una planta de tostación viable debe tener una capacidad de un orden de magnitud mayor que la producción de ácido consumido de una planta normal de alambre [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos ácidos.

Aplicabilidad:

- Las plantas de regeneración requieren una capacidad mínima, una cantidad mínima de ácido consumido a tratar que está bastante por encima del ácido consumido generado por una sola planta de producción de alambre.

- La industria del alambre depende de contratistas externos para el reciclaje del ácido consumido.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.8 Reutilización del ácido consumido como materia prima secundaria

Descripción:

La industria química utiliza el ácido consumido como materia prima secundaria para la producción de FeCl_3 y, en menor medida, para pigmentos. La posibilidad de reciclar el ácido consumido para la producción de agentes químicos valiosos se halla disponible en muchas regiones de Europa. Algunos contratistas imponen o tienen que imponer límites estrictos para algunas impurezas en el ácido consumido. Unos pocos contratistas han desarrollado y patentado recientemente procesos especiales para eliminar por ejemplo el Zn o el Pb de algunos tipos de ácido consumido [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos ácidos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.3.9 Minimización del consumo de agua de enjuague mediante enjuague en cascada

Descripción: véase Capítulo D.8.

La bobina de alambón se enjuaga varias veces en tanques separados, cada vez en agua más limpia. Sólo se suministra agua de enjuague fresca al último baño. Cada baño fluye sobre el anterior.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua (en un orden de magnitud menor que un solo paso de enjuague) [CET-BAT].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.4 Descascarillado por granallado: separación de la cascarilla y del medio de granallado

Descripción:

El granallado puede realizarse como proceso en línea o en bruto. Comporta la propulsión hacia la superficie del material de miles de partículas de granalla de acero por segundo. Esto hace que la cascarilla se rompa y se desprenda del metal base. El sistema de granallado o de limpieza por granallado se compone de:

1. Una cabina que alberga la operación de granallado.
2. Una serie de ruedas de soplado de distintas potencias según las velocidades y las producciones requeridas, etc.
3. Un sistema de recuperación para devolver la granalla o el medio usado a un sistema de reciclaje.
4. Un sistema de reciclaje en el que se limpia el medio y se eliminan las pequeñas partículas de polvo y cascarilla.
5. Una zona de almacenamiento dentro del sistema en el que se almacena la granalla antes de ser distribuida de nuevo a las ruedas de soplado.
6. Un sistema de recogida de polvo.

La cabina de granallado es un recinto cerrado en el que se realiza la operación de descascarillado por granallado. En la cabina se montan una serie de ruedas de soplado que impulsan el medio, normalmente granalla de acero, mediante fuerza centrífuga, hacia el alambre.

El sistema de recuperación proporciona un medio de recuperar la granalla usada y el polvo de la operación de descascarillado, llevándolos al sistema de reciclaje.

El reciclaje del medio de granallado comporta la separación del medio reutilizable de los contaminantes y el polvo mezclados. Pasando el medio recogido a través de un separador de lavado con aire, el polvo fino y los contaminantes de pequeño tamaño son extraídos del sistema por un efecto de vacío, dejando las partículas de granalla limpias para ser devueltas al un sistema de almacenamiento. Desde este sistema de almacenamiento, el medio se distribuirá a través de una serie de controles y válvulas, regresando a las ruedas de soplado. Sincronizando todo el sistema, se dirige un flujo continuo de medio hacia el trabajo para conseguir los resultados deseados del modo más rápido y expeditivo.

Descascarillado por corriente

Este método comporta el predescascarillado del alambón mediante flexión y torsión y fluidización de la cascarilla obtenida en este proceso. En una cámara especial, la cascarilla fluidizada es luego soplada sobre la superficie del alambón mediante eyectores y aire comprimido. El alambón es descascarillado hasta su superficie metálica. La cascarilla es transportada a un sistema de recogida de polvo (ciclón, filtro de tejido) por el aire comprimido. La cascarilla gruesa es devuelta a los eyectores y reutilizada. La cascarilla fina se utiliza como componente en la producción de pinturas.

Este método ha sido señalado como aplicable a alambres de aceros de bajo y alto contenido en carbono. Los costes de inversión iniciales y los requisitos de espacio son muy bajos, Otra ventaja es que no se requieren otros medios como granalla o grava.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- La cascarilla se recoge por separado y puede reutilizarse.
- El consumo de medio de granallado se reduce.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

Plantas de referencia:

Descascarillado por corriente: Fábrica de alambre en Gliwice, Polonia, alambre de bajo contenido en carbono, costes de producción reducidos (¿previstos o reales?).

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

Descascarillado por corriente:

'A new Method of mechanical Descaling of Carbon Steel Wire Rods', Conference Proceedings – Wire association International Incorporated, 65 th Annual Convention Atlanta, 1995.

A.4.3.5 Trefilado seco

A.4.3.5.1 Control de las emisiones de aire de las trefiladoras / tratamiento del aire extraído

Descripción:

Se instala una campana o cubierta sobre las partes de la trefiladora que están en contacto con el alambre. La cubierta debe estar diseñada de modo que pueda extraerse fácilmente para tareas frecuentes, como enhebrar el alambre en la máquina, arreglar un alambre roto, ajustar o cambiar una trefila o añadir jabón. El aire del interior de la cubierta se extrae.

El aire extraído puede tratarse con un filtro o dispositivo similar para capturar el polvo de jabón

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, especialmente el polvo de jabón fugitivo [CET-BAT].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Cabe esperar problemas técnicos en las plantas existentes por motivos de diseño.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Todas las trefiladoras en seco modernas están encerradas en su mayor parte [CET-BAT].

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

El objetivo es limitar la difusión del polvo de lubricante por la zona alrededor de la trefiladora. La eliminación del 100% del polvo de jabón es imposible (por ejemplo, hay polvo de jabón que sale de la trefiladora en el alambre estirado). Esto se hace principalmente para mejorar el entorno de trabajo [CET-BAT].

Referencias bibliográficas:

A.4.3.5.2 Circuito cerrado para el agua de refrigeración

Descripción:

La operación de trefilado calienta tanto el alambre como la trefila por fricción. Por consiguiente, tanto las trefilas como el alambre (indirectamente mediante la refrigeración de los cabrestantes en contacto con el alambre) se refrigeran con agua. Para reutilizar el agua de refrigeración, el circuito de agua está equipado con una torre de refrigeración húmeda, un refrigerador por aire o dispositivo similar [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.6 Trefilado húmedo

A.4.3.6.1 Circuito cerrado para el agua de refrigeración

Descripción:

La operación de trefilado calienta tanto el alambre como la trefila por fricción. Este calor es absorbido por el lubricante. El lubricante es refrigerado a su vez, lo cual se realiza a menudo de forma indirecta mediante agua de refrigeración [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.6.2 Limpieza del lubricante de trefilado / refrigerante

Descripción: Véase también Capítulo D.3.1.

Los lubricantes de trefilado de alambre, emulsiones de aceites miscibles en agua o aceites directos, acumulan finos metálicos durante el funcionamiento. A medida que aumenta el contenido de finos, se producen problemas operativos, como roturas del alambre, desgaste de los cabrestantes y mala calidad del alambre, lo que hace necesaria la sustitución del lubricante. Se utilizan filtros y/o centrifugas para limpiar el lubricante y prolongar su vida útil [El-Hindi].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos de lubricante de estirado [El-Hindi].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Generación de residuos de los medios de filtración [El-Hindi].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

La limpieza del lubricante de estirado puede mejorar el comportamiento operativo, ya que reduce los roturas del alambre y mejora su calidad (reduciendo asimismo los problemas operativos posteriores) [El-Hindi].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas: [El-Hindi].

A.4.3.6.3 Tratamiento de los residuos de aceite de trefilado: aceite y emulsiones de aceite

Descripción: Véase Capítulo D.3.2.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del volumen de residuos.
- En caso de incineración, utilización térmica del residuo.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

- Reducción de los costes de desecho de residuos.

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.6.4 Tratamiento y desecho de residuos de lubricante de trefilado: emulsiones jabonosas

Descripción:

Para las emulsiones jabonosas a base de un jabón alcalino de ácido graso, el tratamiento depende de la cantidad de residuo de lubricante. En caso de que las cantidades sean pequeñas comparadas con otras aguas residuales de la planta, el lubricante consumido se mezcla con otras aguas residuales. Los jabones quedan retenidos en el aglomerado de filtración durante casi todos los métodos de tratamiento de aguas residuales ácidas. Si se utiliza un tratamiento biológico, los jabones de ácidos grasos son biodegradables [CET-BAT].

Si las cantidades son comparativamente grandes, los lubricantes consumidos se tratan separadamente mediante coagulación y precipitación, coagulación y flotación, filtración por membrana, evaporación y otros métodos apropiados [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios

- Producción de lodos y aglomerado de filtración del tratamiento de aguas.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.7 Recocido discontinuo de alambre

A.4.3.7.1 Purga por combustión del gas protector

Descripción:

Con el fin de mantener una sobrepresión en los “crisoles” o “campanas”, una fracción del gas protector se purga de forma continua.

Esta corriente de gas contiene – aparte de los componentes del gas protector – productos de descomposición del lubricante. Estos están formados por pirólisis / cracking (piroescisión) de las moléculas de lubricante; los productos de descomposición típicos son olefinas y alcanos de bajo peso molecular.

Estos compuestos orgánicos volátiles y los componentes combustibles de algunos tipos de gases (CO , H_2) deben convertirse en productos inocuos. Dado que la purga es un caudal muy pequeño de gas combustible, esto se hace simplemente en una llama abierta [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al aire.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.8 Recocido continuo (en línea) de alambre de bajo contenido en carbono

A.4.3.8.1 Baño de plomo: buen mantenimiento

Descripción:

Los métodos más importantes de mantenimiento son:

- Mantener una capa (partículas de material) o cubierta protectora sobre el baño de plomo para minimizar las pérdidas de plomo por oxidación y reducir drásticamente las pérdidas de energía del baño de plomo.
- Evitar la formación de polvo al tiempo que se eliminan las impurezas del baño de plomo.
- Mantener los recipientes con residuos contaminados por plomo en una zona separada, protegiendo estos residuos de cualquier contacto con el viento o la lluvia.
- Minimizar el arrastre de plomo con el alambre manteniendo un adecuado estado superficial del producto semiacabado (lo cual es atractivo desde el punto de vista tanto económico como medioambiental).
- Minimizar el arrastre de plomo con el alambre utilizando un dispositivo de limpieza con grava de antracita inmediatamente después el baño de plomo.
- Aplicar un método que minimice/elimine la diseminación del polvo de plomo que pueda ser arrastrado por el alambre. En muchas líneas de producción, esto se hace acoplando el tratamiento térmico en línea con el decapado en línea. Otros métodos son: recubrir el alambre con un producto adecuado o adaptar el envoltorio del alambre [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones del baño de plomo (Pb del baño en sí, CO y COT de la combustión incompleta de los residuos existentes en el alambre [CET-BAT].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Con buenos métodos de mantenimiento, es perfectamente posible operar un baño de plomo con emisiones muy bajas, por debajo de 5 mg Pb/Nm^3 , 100 mg CO /Nm^3 and 50 mg COT/Nm^3 [CET-BAT].

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.8.2 Reciclaje de los residuos con contenido de Pb

Descripción:

Algunos residuos que contienen Pb se originan en el baño de Pb (material residual de la cubierta baño, óxidos de plomo). Estos residuos deben almacenarse separadamente y protegerse del viento y la lluvia. La industria del alambre depende de los subcontratistas para el desecho final o el reciclaje de estos residuos. Normalmente los residuos que contienen Pb son reciclados por la industria no férrea (fundiciones de Pb) [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del desecho de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.8.3 Operación del baño de enfriamiento por inmersión y tratamiento del agua residual en baños de enfriamiento del recocido en línea

Descripción:

Dado que los requisitos de calidad de este baño son generalmente bajos, se aconseja utilizar agua recuperada para este fin u operar el baño de enfriamiento en circuito cerrado [CET-BAT].

El agua residual de un baño de enfriamiento por inmersión debe tratarse de tal modo que la contaminación (normalmente por $\text{Pb}(\text{OH})_2$ y PbCO_3 insolubles) sea eliminada de forma satisfactoria antes de su evacuación [CET-BAT].

Nota:

1) Cada centro de producción debe determinar su propia instalación de tratamiento de aguas residuales de modo que pueda tratar la mezcla de aguas residuales que se originan en dicho centro. Esta mezcla es distinta para cada centro, y depende en gran medida de la gama de productos fabricados (el uso o no de ácido, la disponibilidad o no de servicios de reciclaje del ácido consumido, el uso o no de emulsiones de trefilado húmedo, el uso o no de baños de electrorecubrimiento + el tipo de baños de electrorecubrimiento) y de los requisitos medioambientales locales.

2) Si se utiliza un tratamiento sin atmósfera protectora (ej: un tratamiento térmico que comporte el uso de un baño de Pb fundido), y se utiliza asimismo decapado con ácido, al menos el agua de enjuague consumida que contiene ácido debe ser tratada. En este caso, la mayoría de plantas de alambre utilizan un tratamiento de aguas residuales fisicoquímico tradicional, es decir, neutralización con lechada de cal seguida de precipitación de Fe y Pb + otros metales pesados, seguida de decantación y prensado filtrante del aglomerado [Com BG2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Generación de residuos / lodos del tratamiento de aguas residuales.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.9 Recocido continuo (en línea) de alambre de acero inoxidable

A.4.3.9.1 Purga por combustión del gas protector

Véase A.4.3.5.1

A.4.3.10 Temple patenting

A.4.3.10.1 Funcionamiento optimizado del horno

Descripción:

En los quemadores se utiliza una mezcla ligeramente subestequiométrica. De este modo, se excluye todo el O₂ de la atmósfera del horno, con el fin de minimizar la formación de óxidos de hierro en la superficie del alambre.

La formación excesiva de óxido de hierro produce grandes pérdidas de material del alambre y un exceso de consumo de ácido de decapado, y produce un excesivo arrastre de plomo [CET-BAT].

El exceso de CO debe convertirse en CO₂ añadiendo aire de forma controlada al escape caliente del horno. El contenido en CO de la atmósfera del horno y del gas de escape debe controlarse regularmente, por ejemplo después de cualquier cambio importante de la mezcla del producto, o al menos mensualmente [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo en los posteriores pasos del proceso (ej: de ácido) .
- Reducción del contenido de CO.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.10.2 Baño de plomo: buen mantenimiento

Véase A4.3.6.1

A.4.3.10.3 Reciclaje de residuos con contenido de Pb

Véase A.4.3.6.2

A.4.3.10.4 Operación del baño de enfriamiento y tratamiento del agua residual de los baños de enfriamiento por inmersión de la línea de temple patenting

Véase A.4.3.6.3

A.4.3.11 Temple en aceite

A.4.3.11.1 Purga por combustión del gas protector

Véase A.4.3.5.1

A.4.3.11.2 Extracción de nieblas de aceite de los baños de enfriamiento por inmersión y precipitación

Descripción:

Evacuación de la niebla de aceite y eliminación de la misma del aire extraído.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas a la atmósfera, especialmente emisiones de aceite.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

A.4.3.12 Tratamiento térmico del alambre (distintos procesos)

A.4.3.12.1 Calentamiento inductivo del alambre

Descripción:

El alambre a calentar se guía a través de una inductancia; en esta inductancia se genera un campo magnético. Normalmente, las frecuencias aplicadas son 5 - 50 kHz (calentamiento a frecuencias medias). Excepcionalmente se utiliza un calentamiento de alta frecuencia (muy por encima de 50 Hz). Este campo magnético induce una corriente eléctrica en el alambre; el alambre se calienta por el efecto Joule de la corriente inducida. La corriente inducida se localiza principalmente en una pequeña capa hacia el exterior de la sección del alambre; este fenómeno se denomina “efecto superficial”.

La aplicabilidad del calentamiento inductivo depende en gran medida del material del alambre, de su diámetro y del aumento de temperatura requerido:

- El material debe ser preferiblemente magnético.
El acero y ciertas aleaciones del acero son magnéticas. La mayoría de tipos de aceros inoxidables son no magnéticos.
- El diámetro del alambre debe ser preferiblemente grande, ej. de más de 2 – 3 mm.
Cuanto menor es el diámetro, mayor debe ser la frecuencia para mantener un efecto superficial suficiente.

- Por encima de la “temperatura de Curie”, un material magnético pierde sus propiedades magnéticas. El acero pierde sus propiedades magnéticas a unos 760 °C.

Existen aplicaciones fuera de este rango. Sin embargo, deben usarse equipos caros de alta frecuencia y la eficacia energética es menor en promedio.

La gran mayoría de las aplicaciones del calentamiento inductivo se encuentran en líneas de un solo alambre. En el contexto de una línea simple, el calentamiento por inducción puede usarse para austenitizado y revenido. El austenitizado es el primer paso de varias operaciones de tratamiento térmico: temple patenting (véase A.2.3.4.4), temple en aceite (véase A.2.3.4.5) y revenido (descrito en A.2.3.4.5 y A.2.3.4.6).

Un control exacto de la temperatura es una necesidad para estos tratamientos térmicos. En el contexto de una línea de múltiples alambres, el calentamiento por inducción puede utilizarse para el precalentamiento de los alambres (ej: a la temperatura de Curie). Otra aplicación es la difusión de recubrimientos de Cu y Zn sobre un alambre de acero para obtener alambre recubierto de latón.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Se evitan las emisiones atmosféricas de la combustión.

Aplicabilidad:

La aplicabilidad del calentamiento inductivo en un contexto de línea simple es bastante amplia e incluye aplicaciones en las que se requiere un control exacto de la temperatura.

El uso del calentamiento inductivo en un contexto de línea de múltiples alambres se limita a aplicaciones en las que el control exacto de la temperatura no es crucial, como el precalentamiento.

La aplicabilidad depende de las propiedades del alambre.

Efectos sobre otros medios:

Consumo de combustible (normalmente GN o GBP) es sustituido por el consumo de electricidad. Si se tiene en cuenta el consumo de combustible de la producción de electricidad, este efecto sobre otro medio es despreciable.

Las eficacias típicas de la energía eléctrica en el calentamiento inductivo son del orden de 60 - 85%.

La eficiencia energética normal de un método de calentamiento a base de gas natural (GN) para aplicaciones similares es del 25 - 45%. Teniendo en cuenta la eficacia de la producción de electricidad con GN, que por ejemplo en el caso de un STAG se sitúa en torno a 50 – 55 %, puede concluirse que apenas hay diferencia en el consumo de combustible primario.

Se requiere agua de refrigeración para enfriar la inductancia.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Razón principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

¿no es bastante información para tomar una decisión sobre mejor técnica disponible?

A.4.3.13 Decapado en línea

Véase Parte B.

A.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

Para la comprensión de este capítulo y de su contenido, se llama la atención del lector al prefacio de este documento, y en particular a su sección quinta: “Cómo entender y usar este documento”. Las técnicas y niveles de emisiones y consumos asociados, o los rangos de niveles, han sido evaluados a través de un proceso iterativo que comporta los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves en la conformación en caliente y en frío. La diversidad de las fases del proceso en esta parte del sector de proceso de metales férreos significa que se ven afectados todos los medios. Entre los aspectos más importantes están las emisiones a la atmósfera (especialmente NOx) de los hornos; el consumo de energía de los hornos, los efluentes que contienen aceite y sólidos, los residuos ácidos y el agua residual; las emisiones ácidas y con aceite a la atmósfera y los residuos que contienen aceite.
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estos aspectos clave.
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, sobre la base de los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo.
- Examen de las condiciones en las que se consiguen estos niveles de comportamiento, como costes, efectos sobre otros medios o razones principales de la puesta en práctica de estas técnicas.
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en un sentido general, todo ello de acuerdo con el Artículo 2(11) y el Anexo IV de la Directiva.

La evaluación experta por parte de la Oficina Europea de IPPC y el Grupo Técnico de Trabajo ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y el modo en que aquí se presenta la información.

Sobre la base de estas técnicas de evaluación, y en la medida de lo posible, en este capítulo se presentan niveles de emisiones y consumos, asociados con el uso de las mejores técnicas disponibles, que se consideran apropiados para el sector en su conjunto y en muchos casos reflejan el funcionamiento real de algunas instalaciones del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumos “asociados con las mejores técnicas disponibles”, debe entenderse que ello significa que tales niveles representan el comportamiento medioambiental que podría preverse como resultado de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el equilibrio de costes y ventajas inherente a la definición de las MTD. No obstante, no son valores límite de consumo o emisión ni deben entenderse como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible conseguir mejores niveles de emisiones o consumos, pero debido a los costes involucrados o por la consideración de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como mejor técnica disponible para el sector en su conjunto. No obstante, tales niveles pueden ser considerados justificados en casos más específicos en los que existan motivos especiales de puesta en práctica.

Los niveles de emisiones y consumos asociados con el uso de las mejores técnicas disponibles deben ser contemplados en el contexto de con las condiciones de referencia que se especifiquen (ej: periodos de promedio).

El concepto de “niveles asociados con las MTD” arriba descrito debe distinguirse del término “nivel obtenible” utilizado en otros lugares de este documento. Cuando un nivel se describe como “obtenible” usando una técnica particular o una combinación de técnicas, debe entenderse que significa que se puede esperar conseguir el nivel a lo largo de un periodo de tiempo sustancial en una instalación o proceso bien mantenido y gestionado mediante tales técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se facilitan datos relativos a costes junto con las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Estos dan una indicación aproximada de la magnitud de los costes involucrados. No obstante, el coste real de la aplicación de una técnica dependerá mucho de la situación específica relativa, por ejemplo, a los impuestos, tasas y características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible

evaluar con detalle estos factores específicos de cada centro de producción. En ausencia de datos relativos a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen a partir de observaciones de las instalaciones existentes.

La intención es que las mejores técnicas disponibles generales de este capítulo sean un punto de referencia en relación al cual se juzgue el comportamiento presente de una instalación o se estudie una propuesta de una nueva instalación. De este modo servirán de ayuda en la determinación de las condiciones apropiadas “basadas en las mejores técnicas disponibles” para la instalación, o en el establecimiento de reglamentos de aplicación general conforme al Artículo 9(8). Esta previsto que las nuevas instalaciones puedan diseñarse para tener un comportamiento igual o incluso mejor que los niveles generales para las mejores técnicas disponibles aquí presentados. También se considera que las instalaciones existentes podrían moverse hacia los niveles generales para las mejores técnicas disponibles o incluso mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no establecen normas de cumplimiento legal, tienen por finalidad facilitar información que sirva de referencia a la industria, los Estados Miembros y el público acerca de los niveles obtenibles de emisiones y consumos al utilizar las técnicas especificadas. Los valores límite apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en cuenta los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

Este capítulo discute las mejores técnicas disponibles para reducir el impacto medioambiental de la conformación en caliente y en frío. Cuando es posible, la estructura sigue la lógica de la línea de producción e identifica las MTD para las fases de proceso individuales. No obstante, algunas medidas, especialmente las medidas primarias o preventivas, no pueden ser asignadas a un solo paso de proceso y deben asignarse a la planta en su conjunto. En la medida de lo posible y cuando lo permiten los datos disponibles, se facilitan niveles de emisiones, eficacias o índices de recirculación como indicación de la mejora que cabe esperar con la aplicación de las técnicas. Para una serie de técnicas, el efecto positivo obvio no puede describirse mediante una cifra exacta, pero algunas de dichas técnicas se consideran no obstante como MTD.

A menos que se indique lo contrario, la cifras de emisiones presentadas en los siguientes capítulos sobre mejores técnicas disponibles son valores diarios medios. Para las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273°K, 101.3 kPa y gas seco.

Las evacuaciones al agua se indican como valor diario medio de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo de 24 horas, o de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo del tiempo de funcionamiento real (para las plantas que no trabajan en tres turnos).

A.5.1 Taller de laminación en caliente

Para el **almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares**, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Recogida de vertidos y fugas mediante medidas apropiadas, como pozos de seguridad y desagües.
- Separación del aceite del agua de desagüe contaminada y reutilización del aceite recuperado.
- Tratamiento del agua separada en la planta de tratamiento de agua.

En general, el mejor modo de reducir el impacto medioambiental de la **rectificación superficial y acondicionamiento del material de entrada** es evitar la necesidad de rectificar. La mejora de la calidad de la superficie de los productos moldeados para reducir la necesidad de rectificación superficial se considera por lo tanto como mejor técnica disponible. Además, las siguientes medidas han sido determinadas como MTD para la rectificación superficial y el acondicionamiento del material de entrada:

Para **descostrado mecánico**:

- Recinto para el descostrado mecánico y captura del polvo con filtros de tejido.
Hubo acuerdo en que esta técnica es una MTD, pero se registraron distintas opiniones sobre el nivel de emisiones asociado, y el grupo de trabajo registró una discrepancia. Una planta reportó niveles de emisión de polvo alcanzados de 5 - 10 mg/m³. Algunos Estados Miembros alegaron (sin datos de apoyo para este tipo de instalación) que los filtros de tejido en general pueden alcanzar niveles por

debajo de 5 mg/Nm^3 y que este es el nivel que debería asociarse con la MTD. Otros señalaron que 20 mg/Nm^3 es el nivel apropiado.

- El uso de un precipitador electrostático cuando no puedan utilizarse filtros de tejido debido a humos muy húmedos. No hubo datos de emisiones disponibles para plantas individuales, pero los niveles de emisiones actuales indicados iban desde $< 20 \text{ mg/Nm}^3$ hasta $20 - 115 \text{ mg/m}^3$. Sobre la base de la información aportada por miembros del grupo de trabajo sobre los niveles de emisiones generalmente alcanzables para precipitadores electrostáticos³ en la aplicación de eliminación de óxidos y polvo en el sector siderúrgico, el EIPPCB propuso un nivel de polvo asociado de $15 - 20 \text{ mg/Nm}^3$. Hubo intervenciones de una ONG industrial de que el nivel asociado con las mejores técnicas disponibles era de $20 - 50 \text{ mg/m}^3$, mientras que los Estados Miembros alegaron que los niveles generalmente obtenibles con precipitadores electrostáticos son $< 10 \text{ mg/Nm}^3$ y que éste debe ser el nivel de emisión asociado con las MTD. El grupo de trabajo fue incapaz de alcanzar un acuerdo sobre el nivel asociado con las mejores técnicas disponibles, y se registró una discrepancia.
- Recogida separada de la escoria/cascarilla del descostrado. La cascarilla sin aceite debe mantenerse separada de la cascarilla con aceite para una reutilización más fácil en procesos metalúrgicos.

Para desbaste:

- Recintos para desbaste mecánico y cabinas especiales, equipadas con campanas de recogida, para desbaste manual, y captura del polvo precipitado con filtros de tejido. Hubo consenso entre los miembros del grupo de trabajo de que esta técnicas constituyen las mejores técnicas disponibles, pero no hubo acuerdo acerca de cuál es el nivel de emisión asociado. Los datos de emisiones tomados de diversas fuentes sugieren un rango actual de de emisión de polvo para desbaste de $1 - 100 \text{ mg/m}^3$. La industria indicó datos para la aplicación de filtros de tejido con niveles resultantes de $< 30 \text{ mg/Nm}^3$ y $20 - 100 \text{ mg/Nm}^3$ (para distintos tipos de filtros). Teniendo en cuenta el mejor rango de los niveles de emisión señalados y la información aportada por los miembros del grupo de trabajo sobre los niveles de polvo generalmente alcanzables para filtros de tejido⁴ en la aplicación de eliminación de óxidos y polvo en el sector siderúrgico, se propuso un nivel asociado con las mejores técnicas disponibles de $< 20 \text{ mg/Nm}^3$. Algunos Estados Miembros se opusieron, alegando (sobre la base de datos muy limitados) que los filtros de tejido en general pueden alcanzar niveles por debajo de 5 mg/Nm^3 y que este debería ser el nivel asociado con las MTD.

Adicionalmente, para todos los procesos de rectificación superficial:

- Tratamiento y reutilización del agua de todos los procesos de rectificación superficial (separación de sólidos).
- Reciclaje interno o venta para reciclaje de la cascarilla, escoria y polvo.

Las emisiones a la atmósfera de los **hornos de recalentar y de tratamiento térmico** se componen básicamente de NO_x , SO_2 y polvo. Para el polvo, no se aplican medidas de precipitación específicas. Generalmente, las emisiones de polvo son del orden de $4 - 20 \text{ mg/m}^3$, pero se han proporcionado cifras bajas de hasta $2,2 \text{ mg/Nm}^3$.

Para reducir las emisiones a la atmósfera, especialmente de NO_x de los hornos de recalentar y de tratamiento térmico, así como para reducir el consumo energético, deben tenerse en cuenta las medidas generales descritas en el Capítulo A.4.1.3.1 en la fase de diseño. Debe prestarse especial atención a la eficiencia energética y a la recuperación del calor residual, por ejemplo mediante el aislamiento adecuado del horno, el aislamiento de las guías, o una zona adecuada de recuperación de material, etc, y a la reducción de las emisiones a la atmósfera, por ejemplo mediante la selección o la colocación de los quemadores.

Adicionalmente, las siguientes medidas, que también pueden aplicarse a los hornos existentes, se consideran mejores técnicas disponibles para hornos de recalentar y de tratamiento térmico.

- Evitar el exceso de aire y la pérdida de energía durante la carga con medidas operativas (es necesaria la apertura mínima de las puertas para la carga) o medios estructurales (instalación de puertas multisegmentadas para un cierre más hermético).

³ Eficacia de reducción del 95 – 99%, tamaño de grano $> 0,1 \mu\text{m}$ y contenido de polvo de entrada de hasta 100 mg/m^3 , niveles de salida de polvo para PE $15 - 20 \text{ mg/Nm}^3$, referencia [EUROFER HR].

⁴ Eficacia de reducción del 95 – 99%, tamaño de grano ($> 0,1 \mu\text{m}$) $> 0,5 \mu\text{m}$ y contenido de polvo de entrada de hasta 500 mg/m^3 , niveles de salida de polvo para FT $1 - 20 \text{ mg/Nm}^3$, [EUROFER HR].

- Elección cuidadosa del combustible (en algunos casos, como el gas de horno de coque, puede ser necesaria una desulfurización) y la aplicación de un sistema de automatización y control del horno para optimizar las condiciones de combustión en el horno. Según el combustible utilizado, se asocian los siguientes niveles de SO_2 con las MTD:
 - Para gas natural: $< 100 \text{ mg/Nm}^3$
 - Para todos los demás gases y mezclas de gases $< 400 \text{ mg/Nm}^3$
 - para fuel oil ($< 1 \% \text{ S}$) hasta 1700 mg/Nm^3

Hubo una discrepancia en el grupo de trabajo sobre si la limitación del contenido en azufre en el fuel oil a $< 1\%$ puede considerarse como MTD. Algunos expertos consideran que este límite es suficiente para ser MTD, mientras otros fueron de la opinión de que las emisiones resultantes de hasta $1700 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ no pueden considerarse como tal. Consideraron que un mayor contenido de S o la aplicación de medidas adicionales de reducción del SO_2 eran la MTD.

- Recuperación del calor en el gas residual
 - mediante el precalentamiento del material de alimentación
 - mediante sistemas de quemadores regenerativos o recuperativos
 - mediante una caldera de calor perdido o refrigeración de las guías por evaporación (donde se requiere vapor)

Pueden conseguirse ahorros de energía del 40 - 50% mediante quemadores regenerativos, con potenciales de reducción de NO_x indicados de hasta un 50%. Los ahorros de energía asociados con recuperadores o quemadores recuperativos son de alrededor del 25%, con reducciones de NO_x obtenibles proporcionadas de alrededor del 30% (50% en combinación con quemadores de bajo nivel de NO_x).

- Los quemadores de bajo nivel de NO_x de segunda generación con niveles asociados de emisión de NO_x de $250 - 400 \text{ mg/Nm}^3$ ($3 \% \text{ O}_2$) sin precalentamiento del aire y con un potencial de reducción de NO_x indicado de alrededor del 65% en comparación con los quemadores convencionales. Nótese que al evaluar la eficacia de las medidas de reducción de NO_x , es importante prestar también atención a los niveles de emisión específicos, y no sólo a la concentración alcanzada. En algunos casos, las concentraciones de NO_x pueden ser mayores, pero la masa de NO_x puede ser igual o incluso menor. Por desgracia, las cifras disponibles en la actualidad para concentraciones de NO_x y emisiones específicas de NO_x son muy limitadas.

Los hornos de recalentar no funcionan en condiciones estables durante el arranque y el apagado: en estas fases, los niveles de emisiones pueden aumentar.

- Limitación de la temperatura de precalentamiento del aire.
Pueden producirse concentraciones de NO_x en caso de hornos de recalentar que funcionen con precalentamiento del aire de combustión. Sólo se han facilitado datos muy limitados sobre concentraciones de NO_x en conexión con el precalentamiento del aire. Los siguientes datos, tomados de un informe disponible en el Reino Unido⁵, dan una indicación de los niveles de emisiones de NO_x que cabe esperar al aumentar la temperatura de precalentamiento del aire (Véase también la Parte D.2.2):

Temperatura de precalentamiento del aire [$^{\circ}\text{C}$]	$\text{NO}_x [\text{mg/Nm}^3]$ ⁶
100 - 200	< 400
300	hasta 450
400	hasta 600
500	hasta 800
700	hasta 1500
800	hasta 2300
900	hasta 3500
1000	hasta 5300

Al aumentar la temperatura de precalentamiento del aire, es inevitable un aumento significativo de las concentraciones de NO_x . Así, la limitación de la temperatura de precalentamiento puede verse como una reducción de NO_x . No obstante, las ventajas de una reducción del consumo de energía y

⁵ Véase también la Parte D.3.2, para información mas detallada véase referencias [HMIP-95-003] [ETSU-GIR-45].

⁶ Estimación tomada del diagrama, 3% de oxígeno, gas seco, condiciones normales.

de la reducción de SO₂ deben ponderarse frente a la desventaja de un posible aumento de las emisiones de SO₂.

Por lo que respecta a ulteriores medidas de reducción de NO_x, la información sobre la aplicación actual de la RCS y la RNCS en los hornos de recalentar se recibió en una fase muy tardía del trabajo. Se confirmó que una planta aplica RCS en sus hornos de balancín, consiguiendo niveles por debajo de 320 mg/Nm³ con un índice de reducción de un 80%, y que otra planta ha instalado RNCS tras sus hornos de balancín obteniendo niveles de NO_x de 205 mg/Nm³ (índice de reducción de ~ 70 %) y 172 mg/Nm³ (índice de reducción de ~30 %) con un desprendimiento de amoníaco de 5 mg/Nm³.

Basándose en esta información, algunos miembros del grupo de trabajo afirmaron que esta técnicas son la MTD para el sector en su conjunto, mientras otros miembros opinaron que la información disponible sobre detalles técnicos y sobre aspectos económicos no era suficiente para permitir una decisión final sobre si la RCS y la RNCS son MTD o no, por lo que se registró una discrepancia.

Además, las siguientes medidas para minimizar los requisitos energéticos se consideran MTD:

- Reducción de las pérdidas de calor en los productos intermedios; minimizando el tiempo de almacenamiento aislando los planchones/tochos (caja de conservación de calor o cubiertas térmicas) según el esquema de producción.
- Cambio de la logística y del almacenamiento intermedio para permitir el máximo índice de carga en caliente, carga directa o laminación directa (el índice máximo depende de los esquemas de producción y de la calidad del producto).

Para las plantas nuevas, el moldeo de precisión y el moldeo de láminas se consideran MTD, hasta el punto de que el producto a laminar puede producirse mediante esta técnica. Una gran variedad de calidades se producen ya mediante estas técnicas y se están produciendo nuevos desarrollos con gran rapidez. La lista facilitada en el Capítulo A.4.1.3.16 no debe por tanto considerarse definitiva.

En la reducción del consumo de agua y energía, el control de la posición del material se considera MTD para **descascarillado**.

Las grandes cantidades de calor contenidas en productos de colada continua o en productos intermedios se pierden durante la manipulación y el almacenamiento. Para reducir las pérdidas de energía indeseadas durante el **transporte del material laminado** desde el tren de desbaste hasta el tren de acabado, las cajas de bobinas o los hornos de recuperación de bobinas y las pantallas térmicas para las barras de transferencia se consideran como las MTD, aunque se reportó un riesgo potencialmente mayor de defectos superficiales (cascarilla laminada) y posibles daños causados por barras de transferencia torcidas para las pantallas de retención de calor. Las cajas de bobinas también producen un aumento de los defectos superficiales.

Durante la laminación en el **tren de acabado** se producen emisiones fugitivas de polvo. Dos técnicas han sido identificadas como MTD para la reducción de estas emisiones:

- Pulverizadores de agua seguidos de tratamiento del agua residual en el que se los sólidos (óxidos de hierro) se separan y recogen para la reutilización de su contenido en hierro.
- Sistemas de extracción con tratamiento del aire extraído mediante filtros de tejido y el reciclaje del polvo recogido. El nivel actual señalado de emisión de polvo era de 2 – 50 mg/Nm³. Teniendo en cuenta el mejor rango de los niveles de emisiones facilitados y la información presentada por los miembros del grupo de trabajo sobre los niveles de polvo generalmente alcanzables para filtros de tejido⁷ en la aplicación de la eliminación de óxidos y polvo en el sector siderúrgico, se propuso un nivel asociado con la MTD de < 20 mg/Nm³. Algunos Estados Miembros se opusieron, afirmando (sin datos de apoyo) que los filtros de tejido pueden conseguir niveles por debajo de 5 mg/Nm³ y que éste debería ser el nivel asociado con la MTD. El grupo de trabajo fue incapaz de alcanzar un acuerdo sobre el nivel asociado con la MTD y se registró una discrepancia.

⁷ Eficacia de reducción 95 – 99 %, tamaño de grano (> 0.1 µm) > 0.5 µm y contenido de polvo de entrada de hasta 500 mg/Nm³; niveles de polvo de salida para FF 1: 20 mg/Nm³ [EUROFER HR].

Para laminadores de tubos, las campanas de recogida y los filtros de tejido para emisiones fugitivas de los trenes de laminación no se consideran MTD, debido a las bajas velocidades de laminación y las menores emisiones resultantes.

Para reducir la emisiones fugitivas de polvo de **aplanado y soldadura**, las campanas de aspiración y captura subsiguiente mediante filtros de tejido se identificaron como MTD. No hubo datos de emisiones disponibles para aplanado y soldadura pero, siguiendo el enfoque general sobre lo que puede conseguirse con filtros de tejido (véase arriba), se propuso un nivel de polvo asociado con la MTD de $< 20 \text{ mg/Nm}^3$. Algunos Estados Miembros expresaron la idea (sin datos de apoyo) que los filtros de tejido pueden conseguir niveles por debajo de 5 mg/Nm^3 y que éste debería ser el nivel asociado con la MTD. El grupo de trabajo fue incapaz de alcanzar un acuerdo sobre el nivel asociado con la MTD y se registró una discrepancia.

Las mejores técnicas operativas y de mantenimiento disponibles para los **talleres de rodillos** son:

- Siempre que sea técnicamente aceptable para el grado de limpieza requerido, deben aplicarse desengrasantes con base acuosa.
- Si se utilizan disolventes orgánicos, debe darse preferencia a disolventes no clorados.
- La grasa extraída de los muñones de los rodillos debe recogerse y desecharse adecuadamente (ej: mediante incineración).
- Los lodos de desbaste deben tratarse mediante separación magnética para la recuperación de las partículas de metal, que se reciclan al proceso de fabricación de acero.
- Desecho por incineración de los residuos que contienen aceite y grasa de las muelas de desbaste [Com D].
- Los residuos minerales de las muelas de desbaste deben depositarse en vertederos.
- Los líquidos de enfriamiento y/o emulsiones de corte deben tratarse para la separación del aceite y el agua. Los residuos de aceite deben desecharse adecuadamente (ej: mediante incineración).
- Los efluentes de aguas residuales de enfriamiento y desengrase, así como de la separación de emulsiones, deben ser recuperados por la planta de tratamiento de aguas de laminación en caliente.
- Las virutas de acero y hierro se reciclan al proceso de fabricación de acero.
- Los rodillos gastados que no puedan ser reacondicionados deben reciclarse al proceso de fabricación de acero o devolverse al fabricante.

Para la **refrigeración** (máquinas, etc.), los sistemas de refrigeración independientes funcionando en circuito cerrado se consideran la MTD.

La laminación en caliente produce gran cantidad de **agua de proceso con cascarilla y aceite**. La minimización del consumo y de la evacuación utilizando circuitos cerrados con tasas de recirculación de $> 95\%$ se consideran MTD.

El tratamiento de este agua de proceso y la reducción de la contaminación en el efluente de estos sistemas como se describe por los ejemplos en el Capítulo A.4.1.12.2 o por otras combinaciones de las unidades de tratamiento individuales (como en D.10.1) se consideran MTD. Los siguientes niveles de emisiones del tratamiento de aguas residuales se asocian con las MTD.

SS:	$< 20 \text{ mg/l}$
Aceite:	$< 5 \text{ mg/l}$ (aceite basado en mediciones aleatorias)
Fe:	$< 10 \text{ mg/l}$
Cr _{tot} :	$< 0,2 \text{ mg/l}$ (para acero inoxidable $< 0.5 \text{ mg/l}$)
Ni:	$< 0,2 \text{ mg/l}$ (para acero inoxidable $< 0.5 \text{ mg/l}$)
Zn:	$< 2 \text{ mg/l}$

Dado que el volumen y la contaminación de las aguas residuales de los laminadores de tubos son bastante similares a otras operaciones de laminación en caliente, se señaló que las mismas técnicas y los mismos niveles asociados con las MTD son aplicables a los laminadores de tubos.

La recirculación al proceso metalúrgico de la cascarilla de laminación recogida en el tratamiento de agua es MTD. Las técnicas se describen en el Capítulo A.4.1.13.2. Según el contenido de aceite puede

requerirse tratamiento adicional. Un residuo/lodo aceitoso recogido debe ser deshidratado para permitir su utilización térmica o su desecho seguro.

A lo largo de la planta, las siguientes técnicas para la **prevención de la contaminación por hidrocarburos** del agua han sido identificadas o se consideran como MTD:

- Controles periódicos preventivos y mantenimiento preventivo de los cierres, juntas, bombas y tuberías.
- Uso de cojinetes y juntas de cojinetes de diseño moderno para los rodillos de trabajo y cilindros de apoyo, así como la instalación de indicadores de fugas en las líneas de lubricante (ej en los cojinetes hidrostáticos). Esto reduce el consumo de aceite en un 50 – 70%.
- Recogida y tratamiento del agua de desagüe contaminada en los distintos puntos de consumo (agregados hidráulicos), separación y uso de la fracción de aceite, por ejemplo térmicamente mediante inyección en alto horno. El proceso posterior del agua separada, en la planta de tratamiento de aguas o en plantas de limpieza mediante ultrafiltración o evaporador de vacío.

A.5.2 Taller de laminación en frío

En el lado de entrada de las líneas de decapado, el **desbobinado** de la banda laminada en caliente produce emisiones fugitivas de polvo. Para la reducción de estas emisiones se han identificado dos técnicas como MTD:

- Cortinas de agua seguidas de tratamiento del agua residual en el que se separan y recogen los sólidos para la reutilización del contenido de hierro.
- Sistemas de extracción con tratamiento del aire extraído mediante filtros de tejido y reciclaje del polvo recogido.

No se dispone de datos de emisiones para el desbobinado pero, siguiendo el enfoque general sobre lo que puede conseguirse con filtros de tejido (véase arriba), se propuso un nivel de polvo asociado con la MTD de $< 20 \text{ mg/Nm}^3$. Algunos Estados Miembros expresaron la idea (sin datos de apoyo) que los filtros de tejido pueden conseguir niveles por debajo de 5 mg/Nm^3 y que éste debería ser el nivel asociado con la MTD. El grupo de trabajo fue incapaz de alcanzar un acuerdo sobre el nivel asociado con la MTD y se registró una discrepancia.

Para reducir el impacto medioambiental del **decapado**, deberían aplicarse en la medida de lo posible las medidas generales para reducir el consumo de ácido y la generación de residuos ácidos descritas en el Capítulo A.4.2.2.1., y preferiblemente considerarlas ya en la fase de diseño, especialmente las siguientes técnicas, que se consideran como MTD:

- Prevención de la corrosión del acero mediante su adecuado almacenamiento y manipulación, enfriamiento, etc.
- Predescascarillado mecánico para reducir la carga sobre la fase de decapado. Si se aplica descascarillado mecánico, la MTD es una unidad cerrada, equipada con sistema de extracción y filtros de tejido.
Para el granallado, se han alcanzado niveles de emisión de polvo de $< 1 \text{ mg/Nm}^3$, 2.6 mg/Nm^3 y 4.5 mg/Nm^3 , [FIN 28.3].
- Uso de predecapado electrolítico.
- Uso de instalaciones de decapado modernas y optimizadas (decapado por proyección o con agitación lugar de decapado por inmersión).
- Filtración mecánica y recirculación para prolongar la vida útil de los baños de decapado.
- Intercambio iónico con corriente lateral o electrodialisis (para mezcla de ácidos) u otros métodos para la recuperación del ácido libre (descritos en el capítulo D.6.9) para la regeneración del baño.

Para **decapado con HCl**, la MTD se considera:

- La reutilización del HCl consumido.

o bien

- La regeneración del ácido por tostación por atomización o lecho fluidizado (o proceso equivalente) con recirculación del ácido regenerado al proceso de decapado. Según las circunstancias del lugar de producción, el elevado nivel de consumo de ácido y de residuos ácidos generados, así como el ahorro

generalmente obtenido de la regeneración, pueden justificar la inversión en una planta de regeneración. La planta de regeneración de ácido debe estar equipada con un sistema de lavado de aire según se describe en el Capítulo 4, para reducir las emisiones, especialmente las ácidas. Se han indicado eficacias de reducción alcanzables de > 98%. Algunas fuentes señalan las concentraciones de HCl alcanzadas aplicando un lavado cáustico de < 2 mg/Nm³. El grupo de trabajo acordó que los siguientes niveles de emisión están asociados con la regeneración del ácido (tratamiento del gas residual mediante lavadores o torres de absorción):

Polvo	20 -50	mg/Nm ³
HCl	2 – 30	mg/Nm ³
SO ₂	50 - 100	mg/Nm ³
CO	150	mg/Nm ³
CO ₂	180000	mg/Nm ³
NO ₂	300 - 370	mg/Nm ³

El subproducto sólido recuperado, F₂O₃, es un producto comercializable y se reutiliza externamente.

Para procesos de **decapado con H₂SO₄**, la recuperación del ácido libre mediante cristalización se considera como MTD. La planta de recuperación necesita estar equipada con dispositivo de lavado de aire; los niveles de emisiones asociados con este proceso son:

H ₂ SO ₄	5 - 10 mg/Nm ³
SO ₂	8 - 20 mg/Nm ³ .

Para **decapado con mezcla de ácidos**, la recuperación del ácido libre (ej: mediante intercambio iónico con corriente lateral o diálisis) o la regeneración del ácido (ej: mediante tostación por atomización o proceso de evaporación) se considera como MTD. Si bien la recuperación del ácido libre es aplicable prácticamente a todas las plantas, la aplicabilidad de los procesos de regeneración puede estar limitada por motivos específicos del centro de producción. Las emisiones asociadas con las MTD son:

	Tostación por Atomización	Proceso de Evaporación	Recuperación Acido Libre
Polvo	< 10 mg/Nm ³	nada	
HF	<2 mg/Nm ³	<2 mg/Nm ³	nada
NO₂	< 200 mg/Nm ³	< 100 mg/Nm ³	
Agua residual	0,003 – 0,01 m ³ /t	no disponible	0.05 – 0.02 m ³ /t (solución diluida de ácido libre con metales)
Otros materiales de salida	mezcla de ácidos	aglomerado de sulfatos metálicos	

Los tres procesos se consideran MTD por igual. Pese a la desventaja de las mayores emisiones a la atmósfera y del aumento del consumo energético, la tostación por atomización se seleccionó debido a su elevado índice de recuperación de ácido y bajo consumo de ácido fresco. Además, el agua residual es sólo una fracción de la producida por los procesos de recuperación. Los metales están básicamente fijados en un subproducto sólido. Esta mezcla de óxido de hierro-cromo-níquel puede reutilizarse en la producción de metales.

El proceso de evaporación también ofrece un índice de recuperación muy elevado y por consiguiente un bajo consumo de ácido fresco, pero con un consumo de energía mucho menor que la tostación por atomización. No obstante, el aglomerado de sulfatos metálicos de filtrado debe ser desechado.

Para la reducción de las **emisiones a la atmósfera de los tanques de decapado**, el uso de equipos totalmente cerrados o equipados con campanas extractoras se considera como MTD con los siguientes niveles de emisiones asociados:

Decapado con HCl:	Polvo	10 - 20 mg/Nm ³
	HC	12 – 30 mg/Nm ³ (eficacia de reducción > 98 %)
Decapado con H₂SO₄:	H ₂ SO ₄	1- 2 mg/Nm ³

SO₂ 8 - 20 mg/Nm³ (eficacia de reducción > 95 %)

Para **decapado con mezcla de ácidos** de acero inoxidable, además de equipos cerrados/campanas extractoras y lavado, se precisan medidas adicionales de reducción de NOx. Las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Lavado con H₂O₂, urea etc.;
- o bien
- Supresión de NOx agregando H₂O₂ o urea al baño de decapado;
- o bien
- RCS

Estas técnicas llevan asociados niveles de emisiones de 200 - 650 mg/Nm³ para NOx (reducción 75 - 85 %) y de 2 - 7 mg/Nm³ para HF (reducción 70 - 80 %). Algunas fuentes informaron de niveles de emisión alcanzables para HF de < 2 mg/Nm³, pero dado que hubo un cierto reconocimiento de las dificultades para medir del HF, especialmente a niveles bajos, se concluyó que el nivel asociado con la MTD es el rango arriba indicado.

Como alternativa, la aplicación de decapado sin ácido nítrico (ej: a base de H₂O₂) con equipo cerrado o equipado con campanas y lavado se considera como MTD. No obstante, esta técnica no es aplicable a todas las aplicaciones.

Para el **calentamiento de ácidos**, la inyección directa de vapor no se considera como MTD, ya que produce una dilución innecesaria del ácido. La MTD es el calentamiento indirecto mediante intercambiadores de calor o, si tiene que producirse vapor para los intercambiadores de calor, mediante combustión sumergida.

Las siguientes medidas han sido consideradas como MTD para la minimización del agua residual ácida:

- Sistemas de enjuague en cascada con reutilización interna del rebose (ej: en baños de decapado o lavado).
- Ajuste y mantenimiento cuidadoso del sistema de 'decapado-regeneración de ácido-enjuague'. Algunas fuentes señalan un posible funcionamiento sin aguas residuales.
- En cualquier caso en que no pueda evitarse la evacuación de agua ácida del sistema, se requerirá el tratamiento del agua residual (neutralización, floculación, etc.). Los niveles de emisiones asociados del tratamiento de aguas residuales son:

SS:	< 20 mg/l
Aceite:	< 5 mg/l (aceite basado en mediciones aleatorias)
Fe:	< 10 mg/l
Cr _{tot} :	< 0,2 mg/l (para acero inoxidable < 0,5 mg/l)
Ni:	< 0,2 mg/l (para acero inoxidable < 0,5 mg/l)
Zn:	< 2 mg/l

Hubo acuerdo en el grupo de trabajo de que existen casos excepcionales para acero inoxidable en los que los niveles de Cr_{tot} y Ni pueden mantenerse por debajo de 0,5 mg/l.

Para **sistemas de emulsión**, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Prevención de la contaminación mediante el control regular de las juntas, tuberías, etc. y control de fugas.
- Control continuo de la calidad de la emulsión.
- Funcionamiento de los circuitos de emulsión con limpieza y reutilización de la emulsión para prolongar su vida útil.
- Tratamiento de la emulsión consumida para reducir el contenido de aceite, por ejemplo mediante ultrafiltración o separación electrolítica.

Durante la **laminación y el revenido** se producen emisiones fugitivas de vapores de la emulsión. Para capturar y reducir estas emisiones, la mejor técnica disponible es la instalación de un sistema de extracción con tratamiento del aire extraído mediante eliminadores de niebla (separador de gotitas). Las eficacias de reducción conseguidas son $> 90\%$, y los niveles de hidrocarburos asociados de 5 - 15 mg/Nm³.

Para instalaciones que trabajen con una etapa de **desengrase**, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Aplicación de un circuito de desengrase con limpieza y reutilización de la solución desengrasante. Medidas apropiadas para su limpieza son los métodos mecánicos y la filtración por membrana según se describe en el Capítulo A.4.
- Tratamiento de la solución desengrasante consumida mediante separación electrolítica de la emulsión o ultrafiltración para reducir el contenido de aceite. La fracción de aceite separada debe reutilizarse, por ejemplo térmicamente; la fracción acuosa separada requiere tratamiento (neutralización, etc.) antes de su evacuación.
- Sistemas de extracción para capturar los vapores del desengrase y lavado del aire extraído.

Los principales aspectos medioambientales para los **hornos de recocido** son las emisiones a la atmósfera de los procesos de combustión y el uso eficiente de la energía. Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones en los hornos de recocido continuos son quemadores de bajo nivel de NOx con índices de reducción del 60% para NOx (y del 87% para CO) y con un nivel de emisión asociado de 250 – 400 mg/Nm³ (sin precalentamiento del aire, 3 % O₂). El nivel de emisión de NOx para hornos de recocido discontinuos son la aplicación de quemadores de bajo nivel de NOx y sin precalentamiento del aire es del orden de 150 – 380 mg/Nm³ (sin precalentamiento del aire, 3 % O₂). Generalmente, los niveles de emisiones que cabe esperar de los hornos de recocido son:

	Hornos Discontinuos	Hornos Continuos	
Polvo	5 - 10	10 - 20	mg/Nm ³ .
SO₂	60 - 100	50 - 100	mg/Nm ³ .
NOx	150 - 380	250 - 400	mg/Nm ³ .
CO	40 - 100	50 - 120	mg/Nm ³ .
CO₂	200000 - 220000	180000 - 250000	mg/Nm ³ .
Nivel de referencia de oxígeno 3 %			

Las mejores medidas disponibles para aumentar la eficiencia energética son:

- **Precalentamiento** del aire de combustión mediante quemadores regenerativos o recuperativos. Pueden producirse mayores concentraciones de NOx en el caso de hornos de recocido que trabajen con precalentamiento del aire de combustión. No se facilitaron datos relativos a las concentraciones de NOx en conexión con el precalentamiento del aire, pero las cifras dadas para los hornos de recalentar pueden servir como indicación. La limitación de a temperatura de precalentamiento puede verse como una medida de reducción de NOx. No obstante, las ventajas de un consumo reducido de energía y de las reducciones de SO₂, CO₂ y CO deben ponderarse frente a la desventaja de un posible aumento en las emisiones de NOx.

o bien

- Precalentamiento del material con el gas residual.

Para el **acabado**, puede aplicarse aceite a la banda de acero para su protección; esto puede producir emisiones de niebla de aceite. Las mejores técnicas para reducir estas emisiones son:

- Campanas extractoras seguidas por eliminadores de niebla y/o precipitadores electrostáticos. Los datos presentados para una planta mostraban que se había alcanzado un promedio de concentración de gotitas de aceite de 3.0 mg/Nm³, mediante la aplicación de un eliminador de niebla y un precipitador electrostático.

o bien

- Engrase electrostático.

- Las ulteriores operaciones de acabado, **aplanado y soldadura**, generan emisiones fugitivas de polvo. La MTD para reducir estas emisiones son las campanas extractoras con captura del polvo mediante filtros de tejido. Los datos de emisiones disponibles de una fábrica son del orden de 7 – 39 mg/Nm³; los datos de otra planta (funcionamiento a tiempo parcial) son de 5 – 30 mg/Nm³. Teniendo en cuenta los mejores resultados de los niveles de emisiones facilitados y la información presentada por miembros del grupo de trabajo sobre los niveles de polvo generalmente alcanzables para filtros de tejido⁸ en la aplicación de eliminación de óxidos y polvo en el sector siderúrgico, se propuso un nivel asociado con las MTD de < 20 mg/Nm³. Algunos Estados Miembros se opusieron, alegando (sin datos de apoyo) que los filtros de tejido pueden conseguir niveles por debajo de 5 mg/Nm³ y que éste debería ser el nivel asociado con la MTD. El grupo de trabajo fue incapaz de alcanzar un acuerdo sobre el nivel asociado con la MTD y se registró una discrepancia.

Para la **refrigeración** (máquinas, etc.), los sistemas de agua de refrigeración independientes y que funcionan en circuito cerrado se consideran como MTD.

Para los **talleres de rodillos** de las plantas de laminación en frío son aplicables los mismos principios que para los talleres de rodillos en plantas de laminación en caliente.

Los **subproductos metálicos**, como chatarra de corte, cabezas y colas, se recogen en distintas etapas en el taller de laminación. Su recogida y recirculación al proceso metalúrgico se considera como MTD.

A.5.3 Planta de producción de alambre

Las operaciones de **decapado**, especialmente si se utiliza ácido concentrado o calentado, producen emisiones de vapores ácidos. Las técnicas para reducir las emisiones dependen del ácido usado y de la forma en que se realiza el decapado (en discontinuo o continuo). El decapado en discontinuo, utilizado para la preparación de alambres, se describe a continuación. El decapado en continuo de alambre se utiliza normalmente en combinación con otras operaciones como el recubrimiento del alambre por inmersión en caliente. Véase B.5.4.

Para el decapado en discontinuo, las siguientes operaciones se consideran como MTD:

- Decapado con HCl: control estricto de los parámetros del baño, como temperatura y concentración, y trabajar dentro de los límites indicados en la Parte D/ Capítulo D.6.1 ‘Operación de Baños de Decapado Abiertos’. Si no es posible una operación cumpliendo las condiciones descritas en D.6.1, la extracción y el lavado de los vapores se considera como MTD.
- En caso de baños de decapado con elevadas emisiones de vapores, ej. baño de HCl caliente o concentrado, instalación de extracción lateral y a ser posible tratamiento del aire extraído, para instalaciones nuevas y existentes. El nivel asociado con la MTD para emisión de HCl es de 2 – 30 mg/Nm³.

Para reducir el consumo de ácido, las cantidades de residuos ácidos y aguas residuales, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Decapado en cascada (para instalaciones de capacidad superior a 15.000 toneladas de alambre al año. Para aplicaciones a pequeña escala, la inversión en un segundo tanque, tuberías y control de proceso no está justificada).

o bien

- Recuperación de la fracción de ácido libre y reutilización en la planta de decapado.
- Regeneración externa del ácido consumido (la regeneración *in situ* del ácido consumido, que se describe como MTD para laminación en caliente/frío (véase Sección A.5.2) no es viable para las plantas de decapado de alambre. Estas plantas de regeneración requieren una cierta cantidad mínima

⁸ Eficacia de reducción 95 – 99 %, tamaño de grano (> 0.1 µm) > 0.5 µm y contenido de polvo de entrada de hasta 500 mg/Nm³; niveles de polvo de salida para FF 1: 20 mg/Nm³ [EUROFER HR].

de ácido para poder funcionar de forma económica. Los volúmenes de ácido disponibles en una planta de producción de alambre están bastante por debajo de este umbral de funcionamiento económico).

- Reciclaje del ácido consumido como materia prima secundaria.
- Descascarillado sin ácido, como por ejemplo por granallado, si los requisitos de calidad lo permiten.
- Enjuague en cascada a contracorriente [CET-BAT].

Para reducir las emisiones fugitivas de jabón del **trefilado en seco**, el aislamiento en recinto cerrado de la trefiladora (y la conexión a un filtro o dispositivo similar si es necesario) se considera como MTD para todas las máquinas nuevas con velocidades de trefilado ≥ 4 m/s.

En algunos tipos de trefiladoras en las que la velocidad de estirado es limitada (< 4 m/s), la difusión del polvo de lubricante es limitada, incluso sin cubierta. En estos casos, el valor medioambiental añadido de una campana o una cubierta es muy limitado. Ejemplos de trefiladoras de este tipo son las monobloque (máquinas con 1 sola trefila) y las máquinas de multitrefilado de alambre conectadas a otra operación.

Equipar las trefiladoras existentes con una cubierta con suficiente eficacia de captura de polvo que permita un funcionamiento y mantenimiento eficiente de la máquina es técnicamente imposible por motivo de diseño.

Para los lubricantes de **trefilado húmedo**, las siguientes medidas se consideran como MTD:

- Limpieza y reutilización del lubricante de trefilado.
- Tratamiento del lubricante consumido para reducir el contenido de aceite en el desagüe y/o para reducir el volumen de residuos, por ejemplo mediante disociación química, separación electrolítica de emulsiones o ultrafiltración.
- Tratamiento de la fracción acuosa evacuada.

La no utilización de sistemas de refrigeración de agua sin recirculación se considera como MTD. Las mejores técnicas disponibles para reducir el consumo de agua en el **trefilado en seco y húmedo** son los circuitos cerrados de refrigeración por agua.

La combustión de la purga de gas protector se considera como MTD para todos los **hornos de recocido discontinuos, hornos de recocido continuos para acero inoxidable y hornos utilizados para temple en aceite**.

Para el **recocido continuo de alambre de bajo contenido en carbono y temple patenting**, las siguientes medidas se consideran como MTD:

- Un buen mantenimiento, como se describe en el capítulo A.4.3.7, del baño de plomo, con niveles de emisiones asociados de $Pb < 5$ mg/Nm³, $CO < 100$ mg/Nm³ y $COT < 50$ mg/Nm³.
- Almacenamiento separado de los residuos que contienen Pb, a resguardo del viento y la lluvia.
- Reciclaje de los residuos que contienen Pb en la industria de metales no ferreos.
- Funcionamiento en circuito cerrado del baño de enfriamiento por inmersión.

Para los baños de enfriamiento por inmersión en las **líneas de temple en aceite**, la evacuación de la niebla de aceite y la eliminación de las nieblas de aceite se consideran como MTD.

A.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

A.6.1 Planta de laminación en caliente

A.6.1.1 Descostrado y desbaste

Acero Inoxidable

- Mayor potencia para las máquinas de desbaste (aceleración del proceso y consiguiente reducción de las emisiones por tonelada de metal procesado).
- Instalaciones en línea con la planta de colada para reducir el consumo de energía mediante el desbaste en carga en caliente [HR].

A.6.1.2 Horno de recalentar

A.6.1.2.1 Quemador sin llama

El “quemador sin llama” o de “llama difusa” es el avance más reciente. En este tipo de quemador, el quemador sólo proporciona el aporte de aire. El gas se suministra a través de entradas separadas en el horno. Con ello se consigue la máxima recirculación de los gases de combustión.

Puede obtenerse un nivel de emisión de NO_x de unos 100 mg/Nm³. Hasta ahora no se ha realizado ninguna aplicación industrial del quemador sin llama en un horno de recalentar. El control de la combustión puede ser un problema [HR].

A.6.1.2.2 Quemador ultrabajo en NO_x

En los quemadores ultrabajos en NO_x se consigue un elevado caudal de gas. La mezcla completa del combustible y del aire de combustión (y de los gases de combustión) se produce en el horno, lo que produce el efecto de que la llama no está fijada al quemador. Debido a ello, este tipo de quemadores sólo pueden usarse a temperaturas del horno que superen la temperatura de ignición espontánea de la mezcla de combustible/aire. Pueden conseguirse niveles de NO_x de 100 - 200 mg/Nm³. Los niveles de NO_x dependen menos de la temperatura de precalentamiento del aire [HR].

A.6.1.2.3 Inyección de agua

El objetivo de la adición de diluyentes como medio de control de NO_x es asegurar que las temperaturas se reuzcan significativamente en las regiones donde se forman contaminantes, con objeto de limitar su formación por mecanismo térmico. En principio, pueden emplearse varias especies como diluyentes, según su disponibilidad. En la práctica, la inyección de agua es el diluyente más viable para los hornos de recalentar y de tratamiento térmico. La calidad del agua requerida para el uso en hornos de recalentar es mucho menor que la del agua requerida para reducción de NO_x en turbinas de gas. En algunos centros puede haber disponible vapor o nitrógeno, pero lo más probable es que sean más caros que el agua en términos de costes adicionales y menos eficaces en términos de la relación de masas requerida entre diluyente y combustible.

El método más efectivo de inyección de agua es normalmente uno en el que el agua se mezcla con el combustible inmediatamente antes de la combustión; es más fácil de poner en práctica desde el punto de vista técnico y permite lograr más fácilmente la obtención de temperaturas de llama uniforme que los métodos que consisten en diluir el aporte de aire.

Un sistema que limita la formación del NO_x utilizando inyección de agua para limitar las temperaturas máximas de la llama en quemadores regenerativos ha sido descrito por Wills y Volgt (1993). En este esquema, el agua y el aire se suministran a través del centro del conducto de entrada del combustible gas, que es concéntrico con el suministro de aire de combustión caliente del regenerador. Un atomizador de 'dos líquidos' pulveriza finas gotitas de agua en el gas antes del final del tubo de suministro, y poco después de la combustión se inicia la combustión de gas/niebla de agua/aire caliente, que luego se estabiliza.

Al menos un fabricante de quemadores (Stordy Combustion Engineering, 1994) ofrece la inyección de agua como técnica de control de temperatura, y es posible que existan otros proveedores.

Los datos sobre el comportamiento de los sistemas de inyección de agua en bancos de ensayo en laboratorio para gas natural y gas de alto horno/gas de horno de coque muestran reducciones del hasta el 60 – 80 %.

En principio, la inyección de diluyentes podría tener amplia aplicación como método retroactivo siempre que sea posible la mezcla íntima del diluyente con el combustible o el aire de combustión. En la actualidad, la información disponible sobre inyección de diluyentes parece limitada a experimentos de corta duración en bancos de ensayo.

Es posible que la estabilidad de la llama se reduzca, al igual que su impulso. El aumento del contenido de vapor de los productos de combustión podría producir el decapado del acero que se calienta.

Habría costes de inversión adicionales bastante por encima de los del quemador básico. Entre ellos se incluirían los conductos, bombas, inyectores y un sistema de control de inyección de agua. Según la fuente de agua, puede haber necesidad de una planta de tratamiento y almacenamiento de agua. Para otros diluyentes habrá requisitos similares en cuanto a conductos y controles.

A.6.1.2.4 Proceso shell de eliminación de NO_x

Descripción: RCS con catalización a bajas temperaturas, 120 °C [Com NL].

A.6.1.2.5 Proceso regenerativo con carbón activo

No se ha facilitado información.

A.6.1.2.6 Proceso degussa con H₂O₂

No se ha facilitado información.

A.6.1.2.7 Proceso bio-de-NO_x

No se ha facilitado información.

A.6.1.3 Descascarillado

A.6.1.3.1 Descascarillado con rotor

En lugar de cabezales de descascarillado (anillos) equipados con boquillas, se utilizan cabezales giratorios equipados con 1 o 2 boquillas. Debido al giro del cabezal, en combinación con el movimiento de avance del material de laminación, se obtiene un buen efecto de limpieza con volúmenes de agua bajos. No obstante, hasta la fecha este método sólo está disponible como instalación en banco de ensayo y no ha sido probado realmente en la práctica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua.
- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- Laminadores de desbaste, de acabado y de chapas.
- Plantas de laminación en caliente de productos planos nuevas y existentes.

Instalaciones:

Boehler Edelstahl (97?)

Huta Bailden, Polen (98?)

A.6.1.4 Laminación en caliente y tratamiento de agua

A.6.1.4.1 Laminación sin fin

La producción de bandas laminadas en caliente de calibres ≤ 1.0 mm mediante un laminador de concepción convencional sería difícil. Las velocidades finales de laminación que son necesarias para asegurar que la temperatura de laminación final aumente por la disminución del espesor final de la banda y por la disminución de la velocidad de transporte admisible en la mesa de salida.

Un procedimiento para superar este problema es lo que se denomina “laminación sin fin”, en la que las barras de transferencia se sueldan entre sí antes de entrar en el tren de acabado con el fin de formar una banda sin fin que se divide en bobinas del peso específico deseado tras el tren de acabado [HR].

Este proceso ha sido aplicado en una planta en Japón. Tiene el potencial de aumentar la productividad global de la planta, reducir las pérdidas de rendimiento y mejorar la calidad del acero, produciendo una reducción global del uso específico de energía. La aplicación de la laminación sin fin requiere un cuidado particular con el fin de unir las barras de la forma apropiada de forma económica. Asimismo los sistemas de control deben adaptarse a nuevas tareas, puesto que ya no se dispone de tiempos muertos para preajuste del tren de laminación. La Figura A.6-1 muestra una vista esquemática del proceso de laminación sin fin en Kawasaki Steel Chiba Works [DFIU-99].

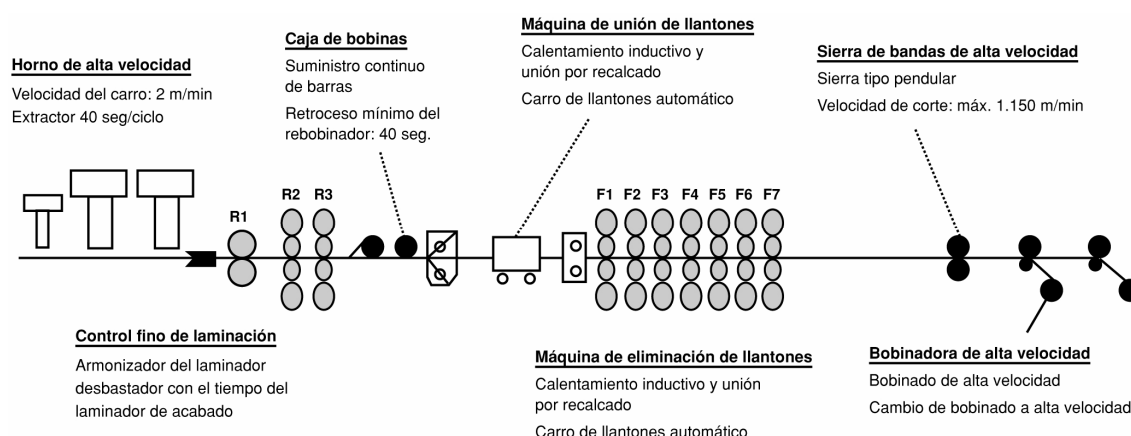


Figura A.6-1: Esquema del proceso de laminación sin fin en caliente de bandas

Las ventajas indicadas en la mencionada planta han sido un aumento en la calidad de las bandas (ligero cambio de espesor a lo largo de toda la banda, un ligero cambio de anchura a lo largo de toda la banda: $\pm 3 - 6$ mm, escasa fluctuación de la temperatura de bobinado a lo largo de toda la banda: desviación de $\pm 15 - 30$ °C), aumento de la productividad (aumento del 20%, reducción del tiempo de cambio imprevisto de rodillos del 90%) y aumento del rendimiento (disminución de los defectos de superficie debidos a marcas de prensión del 90%) [DFIU-99].

A.6.1.4.2 Procedimiento de moldeo de bandas

Durante los últimos años, varias empresas han estado trabajando en el desarrollo de tecnologías para el moldeo de bandas. Mientras que el moldeo de láminas y las tecnologías de laminación directamente conectadas son básicamente una mejora de la tecnología de laminación convencional, el moldeo directo de bandas es una nueva tecnología. Mediante el moldeo directo de la banda, que puede laminarse en frío posteriormente, la cadena de proceso desde el acero líquido al producto final puede acortarse sustancialmente. La Tabla A.6-1 muestra una comparación de los parámetros característicos para el modelo de planchones, el moldeo de láminas y el moldeo de bandas.

Tecnología	Colada continua	Moldeo de láminas	Moldeo de bandas
Espesor del producto	150 - 300mm	20 - 60mm	2 - 4mm
Tiempo de solidificación	>600s	unos 60s	<1s
Velocidad de moldeo	1 - 2.5m/min	4 - 6m/min	30 - 90m/min
Flujo de calor medio en el molde	1 - 3MW/m ²	2 - 3MW/m ²	8 - 10MW/m ²
Longitud metalúrgica	>10m	>5m	<0.5m
Peso fundido en el moldeador	>5000kg	unos 800kg	<400kg

Tabla A.6-1: Comparación de los parámetros seleccionados de distintas tecnologías de moldeo [DFIU-99].

Se ha realizado y se sigue realizando gran cantidad de investigación con el fin de desarrollar plantas de moldeo de bandas a escala industrial. Las Figuras A.6-2 y A.6-3 muestran los principios de dos técnicas (plantas piloto) que han sido desarrolladas gracias a la colaboración de varias firmas.

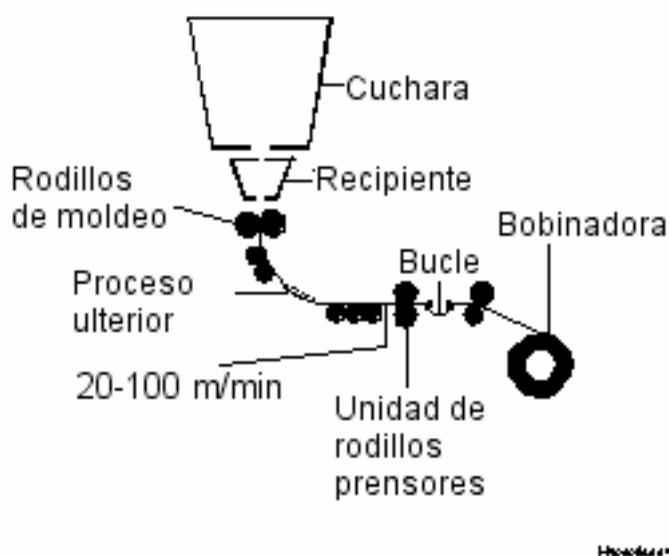


Figura A.6-2: Planta piloto de doble rodillo [DFIU-99].

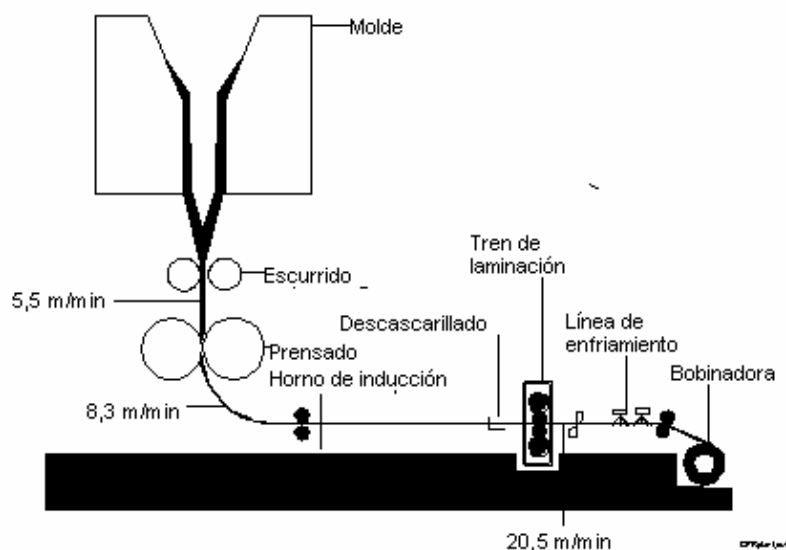


Figura A.6-3: Planta piloto de Laminación de Moldeo, Prensado y Laminación (MPL)
[DFIU-99].

	Tipo ¹	Estado ²	Espesor [mm]	Anchura [mm]	Año de inicio	Notas
BHP , Mulgrave, Aus	R/B	HM	1 – 2	160	1995	
IHL , Port Kembla, Aus	2-R	Piloto	2	1900		
Vöest Alpine , Linz,	A 11/2-R	HM	1,15	330	1986	Oblicuo y vertical
CRNC-IMI , Boucherville, CAN	2-2	HM	3	100	1990	Alimentación horizontal
CRNC-Projet Bessemer , Boucherville, CAN	2-R	HM	2-5	200	(acero) 1992	Alimentación vertical
Shanghai Metal Research Inst. Shanghai, CHN	2-R	HM				
Clecim , Le Creusol, F	11/2-R	HM	12	200	1968-1974	Parada
IRSID , Maizières, F	2-R	HM	2-5	200		
IRSID , Maizières, F	1-R	HM	0.2	200		
Myosotis , Isbergues, F			2.5			
			2-6	865		
ZFW , Dresden, A	2-R	HM	0,15-2	30-110		Parada
Thyssen , Oberhausen, A	1-R	HM	0,10-0,30	270		
RWTH/Thyssen , Aachen, A	2-R	HM	0,3-2,5	150		
Max Planck , Düsseldorf, A	2-R	HM	13	110		
Krupp Stahl , Siegen, A	11/2-R	HM				Parada
Krupp Stahl , Unna, A	11/2-R	Piloto Ind.	1,5-4,5	700-1050		Parada
Clausthal Uni. Clausthal, A	B	HM	5-10	150-300	1989-1995	
CSM , Roma, I	2-R	HM	3-25	150		
CSM , Terni, I	2-R	Pilot	2-5	400		
				750-800		

Tabla A.6-2: Proyectos en desarrollo en moldeo de bandas
[Jahrbuch Stahl 1996].

	Tipo ¹	Estado ²	Espesor [mm]	Anchura [mm]	Año de inicio	Notas
NSC/MHI, Kawasaki, JAP	2-R	HM	0,5-3	100		
NSC/MHI, Hikari, JAP	2-R	Piloto Ind. HM	1,5-6	1330		Parada
Kawasaki, Chiba, JAP	2-R	Piloto	0,2/0,8	250-500		
Kawasaki, Chiba, JAP	2-R	HM	1-3	100		Parada
Kobe, Kakogawa, JAP	2-R	HM	1,5/5	300		Parada
Nippon Metal, Sagamihara, JAP	11/2-R		1-4	650		Parada
Nippon, Naoetsu, JAP	1-R	HM				
Stainless Nippon Yakin, Kawasaki, JAP	2-R	Piloto	1-2,5	600		
Nisshin + Hitachi, Yamaguchi, JAP	2-R	HM	0,8/5	300		
Nisshin + Hitachi, Hitachi, JAP	2-R	HM	2,1	600		
Nisshin + Hitachi, Hitachi, JAP	2-R	HM	2,3	80		
Nisshin + Hitachi, Hitachi, JAP	2-R			200		
Pacific Metals, Hachinoe, JAP	2-R	Piloto	2-7	1050		
Pacific Metals, Hachinoe, JAP	2-R	HM				
Waseda Uni., Tokyo, JAP						
POSCO RIST Davy, Pohang, KOR	2-R	HM	2-6	350		
POSCO RIST, Davy, Pohang, KOR	2-R	Piloto	3	1050-1300	1994	
Inst. of Ind. Sc. & Techn. Pohang, KOR	2-R	HM	1-5	250-350		Estado desconocido
VNIIMETMACH, Moscú, RUS	2-R		0,1-0,35	150		
MEFOS, Lulea, S	6	Piloto	5-10	450	1991	
ASEA-Royal Institute, Estocolmo, S	2-R	HM		(900)		
British Steel, Teesside, GB	2 R	HM	1-3	76	1986	
BS-Avesta, Sheffield, Teesside, GB	2 R	Piloto	2,3-5,5	400	1990	
British Steel, Teesside, GB	2 R	Piloto Indust.	2-7	1550	En estudio	
Consortium 3), Bethelhem, USA	2-R	HM	0,5-2	300	1982	Parada
	1-R	HM	0,5-0,8	75	<1988	Parada
ARMCO-Westinghouse, Middletown, USA	1-R	HM	1,25-1,75	(25 µm)-1.75		Parada
National-Batelle, Columbus, USA	1-R	Piloto	1-3	660-1220		1220 mm no se ha probado aún
Allegheny/VA, Breckenridge, Lockport, USA						

Tabla A.6-2: Proyectos en desarrollo en moldeo de bandas [Jahrbuch Stahl 1996].

A.6.1.4.3 Reciclaje de subproductos

Tecnologías de Reciclaje sin Eliminación del Aceite

Inyección en Alto Horno

Pasos del proceso:

Deshidratación (secado) de los lodos y la cascarilla a baja temperatura, para que los hidrocarburos permanezcan en el material seco.

Adición de granuladores para convertir la mezcla en un estado desmenuzable.

Inyección en el alto horno mediante equipo especialmente diseñado. También pueden inyectarse lodos aceitosos en forma líquida.

Técnicas de Eliminación de Aceite

Proceso Thermocon (Proceso Termofísico para eliminación del aceite*):

Los lodos con aceite se procesan de forma discontinua (40 - 45 t/carga).

Los materiales se cargan en un recipiente especial y se calientan hasta unos 130°C.

El efecto físicoquímico utilizado en realidad es la destilación de vapor.

El vapor con agua e hidrocarburos aspirado del recipiente se calienta a unos 500°C y luego se quema a unos 100 °C.

Proceso CED (Chemnitzer Entsorgungsdienst) (*):

El proceso se basa en el principio de eliminación térmica del aceite.

Contrariamente al proceso Thermocon, el CED es un proceso en continuo.

La cascarilla se transporta a través de conductos calientes mediante husillos.

La humedad, que contiene aceite, es destilada y luego condensada.

Proceso DCR (Dispersion by Chemical Reaction o Dispersión por Reacción Química) (*):

La cascarilla con aditivo químico y el reactivo DCR (ej: cal viva) son homogeneizados dentro de un aparato de mezcla. Los hidrocarburos quedan fijados por el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ producido. El aceite pulverizado se separa del material férreo mediante un dispositivo combinado de cribado y clasificación.

Proceso TRF (Tubular-Rotor Filter o Filtro Tubular-Giratorio) (*):

Se trata de la limpieza de la cascarilla aceitosa con una emulsión tensoacuosa.

El agua de lavado residual se elimina de la mezcla tensoaceitosa utilizando el Filtro Tubular Giratorio.

El aceite fraccionado se utiliza térmicamente.

Proceso HD (Método a alta presión) (*):

La cascarilla se separa del aceite disparando una mezcla de cascarilla y agua a alta presión (aprox. 150 - 180 bares) y desde una distancia corta (200 - 400 mm) sobre un tabique de reparto.

A.6.2 Planta de laminación en frío

A.6.2.1 Decapado

A.6.2.1.1 Predescascarillado hidroabrasivo (Limpieza con ishikawaita)

Los lodos con hierro se mezclan con un chorro de agua circulante a alta presión y se pulveriza sobre la superficie de la banda para eliminar la cascarilla.

A.6.2.1.2 Predescascarillado con abrasivo ferromagnético

El material ferromagnético abrasivo en astillas es alineado por un campo magnético y se prensa mecánicamente contra la superficie de la banda.

A.6.3 Planta de producción de alambre

Algunos procesos de regeneración de ácidos basados en tecnologías como la de electrodiálisis con membranas bipolares están en fase de desarrollo o de ensayo. Esta tecnología, que convierte todo el ácido de nuevo en ácido libre y los metales en hidróxidos es demasiado reciente, no ha sido probada o es demasiado cara.

De forma análoga a los procesos más tradicionales con membranas, se espera que la vida de la membrana sea corta.

A.7 OBSERVACIONES FINALES

Esta sección de conclusiones y recomendaciones se divide en varios epígrafes: cronología de los trabajos, fuentes de información, disponibilidad y calidad de los datos, consenso entre los expertos del Grupo de Trabajo Técnico y recomendaciones para futuros trabajos.

Cronología de los trabajos

Se ha tardado dos años y medio en redactar el presente documento técnico de referencia, habiéndose cumplido las siguientes etapas principales:

- Primera reunión del grupo de trabajo (reunión de partida): 11-12.12.97
- Presentación de informes por el grupo de trabajo:
 - Capítulo 2: febrero-octubre de 1998
 - Capítulo 3: abril-octubre de 1998
 - Capítulo 4: julio-octubre de 1998
- Primer borrador: diciembre de 1998
- Primera ronda de consultas: 16.12.98-12.2.99
- Evaluación de los comentarios y nueva redacción: mayo-julio de 1999
(respuesta a los comentarios, aclaraciones y peticiones de información adicional)
- Presentación de informes complementarios: septiembre-noviembre de 1999
- Segundo borrador: diciembre de 1999
- Segunda ronda de consultas: 17.12.99-17.02.00
- Segunda reunión del grupo de trabajo: 22-24.03.00
- Presentación de informes sobre cuestiones controvertidas surgidas durante la segunda reunión del grupo de trabajo: 28.03.00 19.07.00
- Consultas sobre los “nuevos” capítulos: 21.07.00-18.08.00
- (revisión de los capítulos 5, capítulo 7 sobre Conclusiones y Recomendaciones, Resumen General, capítulo 4 sobre técnicas de RCS y RNCS)
- Borrador definitivo.

Fuentes de información

Se han presentado 65 informes sobre los diversos aspectos del sector de transformación de metales ferrosos. Estos informes contienen informaciones de muy diferente naturaleza (datos estadísticos, descripciones de tecnologías de producción, información sobre medidas de carácter medioambiental, incluidos estudios de casos prácticos y datos de emisiones y consumos). Se han preparado desde distintos puntos de vista y casi todos ellos se centran en aspectos medioambientales concretos. Sólo algunos tienen carácter general.

Durante el periodo de elaboración del documento de referencia sobre las MTD para este sector, ciertos grupos industriales de laminación en frío, laminación en caliente y galvanización en continuo, así como la Asociación Europea de Galvanización General (EGGA), facilitaron informes y documentos relativos tanto a las técnicas de producción que se aplican en sus ámbitos de actividad como a determinadas medidas medioambientales. Alemania presentó un informe titulado “MTD en la Industria Alemana de Transformación de Metales Féreos”.

Estos informes son esenciales para la calidad del presente documento, pero su utilidad puede quedar comprometida si no se reciben al principio del proceso. El retraso en la presentación de información crucial, especialmente sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, ha causado retrasos en la elaboración de los borradores de este documento.

Mejores técnicas disponibles

Se han establecido las MTD para los tres subsectores de la industria de transformación de metales ferrosos y para cada una de sus fases de producción. Los tres capítulos 5 contienen descripciones detalladas con información de contexto y, en su caso, la justificación para su elección como MTD y para los niveles de emisión asociados. El resumen general comprende todas las conclusiones al respecto.

Grado de consenso

La parte A de este documento de referencia señala ciertas discrepancias en las opiniones. El grupo de trabajo técnico no ha podido llegar a un acuerdo en tres aspectos:

- Niveles de polvo asociados con las MTD para la aplicación de filtros de tejido o precipitadores electrostáticos,
- Técnicas de RCS y RNCS para la reducción de NO_x en los hornos de recalentamiento,
- Contenido de azufre en el fuel-oil.

Con respecto a las emisiones de polvo, el grupo de trabajo acordó que la captura y los filtros textiles son MTD, pero con dos puntos de vista diferentes en cuanto a lo que se puede conseguir con los filtros de tejido. Los representantes del sector proponían, de acuerdo con su experiencia y conocimientos de los niveles de polvo emitidos, un nivel de 20 mg/Nm³. Algunos Estados Miembros y ONG ecologistas creían que el nivel adecuado era de 5 mg/Nm³, pero las cifras disponibles eran muy escasas y no se presentaron datos que apoyasen esta opinión para la mayoría de las aplicaciones (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

La información sobre las técnicas RCS y RNCS en los hornos de recalentamiento se recibió en una de las últimas fases del trabajo, durante y después de la segunda reunión del grupo de trabajo técnico. Algunos miembros del grupo de trabajo creían que estas técnicas eran MTD, mientras otros consideraban que la información disponible sobre sus detalles técnicos y económicos no era suficiente para poder tomar una decisión final al respecto. Como esta controversia surgió prácticamente al final del proceso, no hubo tiempo para resolver las cuestiones pendientes (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

Otro punto de desacuerdo fue la limitación del contenido de azufre en el fuel-oil. Aunque una concentración inferior al 1% puede producir emisiones de hasta 1.700 mg de SO₂ /Nm³, algunos miembros del grupo de trabajo creían que debía considerarse MTD. Otros pensaban que era necesario aplicar un límite de azufre inferior o medidas adicionales de reducción del SO₂.

Las partes B y C de este documento disfrutaron de un alto grado de consenso. No se registraron discrepancias. Todos los participantes en el proceso de intercambio de información consideran que el resultado es aceptable.

Recomendaciones para futuros trabajos

Una de las carencias que tiene este documento es la falta de información sobre los resultados obtenidos con las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, especialmente niveles de emisión y consumo y datos económicos. En futuras revisiones, todos los miembros del grupo de trabajo y partes interesadas deben recopilar y proporcionar estos datos cuanto antes.

En bastantes casos, no se dispone de información alguna o tan sólo de una descripción de la técnica. No hay apenas información sobre instalaciones de referencia ni datos reales de aplicación. De cara a la revisión de este documento, deberán resolverse estas carencias. A continuación se enumeran algunas de las técnicas en cuestión:

Parte A:

- Bombas de agua optimizadas para flujos laminares.
- Instalación de cascadas para baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Aprovechamiento del calor para calentar el baño de desengrase.
- Engrase electrostático.
- Optimización de la pulverización de aceite.

- Optimización de la operación de acabado.
- Limpieza y reutilización de la emulsión de desbaste
- Sistema de extracción (PRETEX/SBT).
- Aprovechamiento externo de la solución de decapado ácido consumida.

Parte C:

- Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.
- Captura y tratamiento de las emisiones procedentes de las operaciones de acabado de tubos.

Parte D:

- Instalación de cascadas para baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Adsorción de surfactantes y aceites (precipitación y filtración).
- Decapado electrolítico.
- Tratamiento de las aguas de lavado por intercambio iónico, eliminación electrolítica del hierro, ósmosis inversa, eliminación del hierro por oxidación.

En los capítulos 6 se presentan varias técnicas nuevas. Deberá valorarse la posibilidad de trasladar estas técnicas al capítulo 4 sobre técnicas a considerar en la determinación de las MTD o al capítulo 5 sobre mejores técnicas disponibles, en función de su evolución e idoneidad para su aplicación en el sector de transformación de metales ferreos.

Se ha criticado que algunas técnicas se hayan presentado de forma excesivamente positiva, debido a que la información disponible procede sobre todo de los proveedores, y que sólo se han destacado sus ventajas. Esta crítica afecta principalmente a los procesos de recuperación y regeneración de los baños de tratamiento consumidos, por ejemplo, las soluciones de decapado consumidas o los baños de mordentado o de desengrase consumidos. En estos casos se solicita al sector que facilite información sobre los resultados de determinadas técnicas, junto con explicaciones de los problemas que hayan podido experimentar.

Hace falta disponer de más datos de emisiones y consumos con carácter general, pero en particular de las emisiones de NOx (concentraciones y emisiones específicas) que generan los hornos que utilizan aire de precalentamiento y los que no. Con este tipo de datos sería posible evaluar la eficiencia de las medidas de reducción de forma más minuciosa y comparar las ventajas y desventajas del ahorro de energía frente a las emisiones de NOx.

Es necesario obtener más información sobre los niveles de emisión de polvo que se registran en las diversas fases de producción de laminación en frío y en caliente (parte A), caso en el que hubo que consignar una discrepancia en el documento de referencia. En especial, las partes que defienden el nivel de 5 mg/Nm³ deben intentar obtener datos que apoyen su punto de vista.

Se ha apuntado la probabilidad de que aumente el número de instalaciones que aplican la técnica de RCS (hornos de empuje). A la hora de revisar el presente documento, deberá disponerse de más información sobre el rendimiento y aplicabilidad de las técnicas de RCS y RNCS en los hornos de recalentar. Las instalaciones que ya aplican estas técnicas dispondrán de un largo historial de servicio, lo cual permitirá responder a la crítica de que se ha trabajado con información correspondiente a un período de explotación demasiado corto. Es posible que el desacuerdo sobre si estas técnicas son MTD pueda resolverse entonces.

Durante la segunda reunión del grupo de trabajo, se planteó la cuestión de que el calentamiento inductivo era la MTD para varias aplicaciones en los hornos. En este documento de referencia, se ha incluido como técnica a considerar, pero se ha señalado que la información disponible no es suficiente para decidir al respecto. Será necesario recopilar más información para poder tomar esta decisión.

Otra cuestión fue el contenido de dioxinas en el polvo generado por el proceso de galvanización discontinua y el posible riesgo de acumulación de las primeras durante el reciclaje de este último. Será necesario seguir trabajando para recopilar datos reales en condiciones de funcionamiento normal de la instalación. Los datos disponibles deberán facilitarse a la Oficina de IPPC y al Grupo de Trabajo Técnico para que puedan opinar al respecto y evaluar los riesgos.

Se recomienda realizar una revisión del presente documento de referencia para el año 2005.

PARTE B

Líneas de Recubrimiento en Continuo por Inmersión en Caliente

Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesos de Metales Férreos

B.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO POR INMERSION EN CALIENTE.....	241
B.2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.....	243
B.2.1 Visión general del proceso de recubrimiento por inmersión en caliente.....	243
B.2.2 Galvanización de chapa (recubrimiento con zinc y aleación de zinc).....	244
B.2.2.1 Decapado.....	244
B.2.2.2 Desengrase.....	244
B.2.2.3 Tratamiento térmico.....	246
B.2.2.4 Galvanización en caliente.....	247
B.2.2.5 Galvano-recocido.....	247
B.2.2.6 Postratamientos.....	248
B.2.2.7 Acabado.....	249
B.2.2.8 Circuitos de agua de refrigeración.....	250
B.2.2.9 Circuitos de agua / gestión del agua.....	252
B.2.3 Recubrimiento de láminas con aluminio.....	253
B.2.4 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño.....	254
B.2.5 Recubrimiento por inmersión en caliente de alambre.....	256
B.2.5.1 Decapado continuo de alambre.....	256
B.2.5.2 Mordentado.....	257
B.2.5.3 Recubrimiento en caliente (galvanización).....	257
B.2.5.4 Acabado.....	257
B.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMOS Y EMISIONES PARA LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO EN CALIENTE.....	259
B.3.1 Visión general de la circulación de masas en el proceso de recubrimiento en caliente.....	259
B.3.2 Galvanización de acero.....	261
B.3.2.1 Decapado de lámina de acero.....	261
B.3.2.2 Desengrase.....	261
B.3.2.3 Tratamiento térmico.....	262
B.3.2.4 Recubrimiento en caliente (galvanización).....	262
B.3.2.5 Galvano-recocido.....	263
B.3.2.6 Postratamientos.....	263
B.3.2.7 Acabado.....	263
B.3.2.8 Tratamiento de aguas residuales.....	264
B.3.3 Aluminización de lámina.....	264
B.3.4 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño.....	265
B.3.5 Recubrimiento en caliente de alambre (galvanización).....	266
B.3.5.1 Decapado en continuo de alambre.....	266
B.3.5.2 Mordentado.....	267
B.3.5.3 Recubrimiento en caliente (galvanización).....	267
B.3.5.4 El aspecto del ruido en una planta de producción de alambre.....	267
B.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO.....	269
B.4.1 Galvanización de lámina.....	269
B.4.1.1 Consejos generales para toda la planta.....	269
B.4.1.2 Decapado de lámina de acero.....	270
B.4.1.3 Desengrase.....	270
B.4.1.4 Tratamiento térmico.....	274
B.4.1.5 Recubrimiento por inmersión en caliente (galvanización).....	276
B.4.1.6 Galvano-recocido.....	277
B.4.1.7 Postratamientos.....	277

B.4.1.8 Acabado	280
B.4.1.9 Tratamiento de aguas residuales	280
B.4.1.10 Sistemas de refrigeración por agua	282
B.4.2 Aluminización y recubrimiento con plomo-estaño (terne)	284
B.4.2.1 Niquelado	284
B.4.2.2 Recubrimiento por inmersión en caliente.....	284
B.4.3 Recubrimiento en caliente de alambre (galvanización)	285
B.4.3.1 Decapado en continuo de alambre	285
B.4.3.2 Mordentado	287
B.4.3.3 Recubrimiento en caliente (galvanización).....	289
B.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO	293
B.5.1 Galvanización de lámina	294
B.5.2 Aluminización de láminas.....	296
B.5.3 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño	296
B.5.4 Recubrimiento de alambre	296
B.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO.....	299
B.6.1 Recubrimiento de chapa.....	299
B.6.1.1 Recubridores de rodillo	299
B.6.1.2 Deposición en fase vapor al vacío.....	299
B.6.1.3 Pasivación con productos sin Cr	299
B.6.1.4 Cuchillas de aire de perfil variable.....	300
B.6.1.5 Aplicación de la lógica difusa para el control de las cuchillas de aire.....	300
B.6.1.6 Eliminación del rodillo de crisol (catenaria).....	300
B.6.1.7 Crisol sin núcleo.....	300
B.6.1.8 Enfriamiento por micropulverización de agua en la torre de refrigeración	300
B.6.2 Recubrimiento de alambre	300
B.7 OBSERVACIONES FINALES	301

Lista de figuras

Figura B.1-1: Cuota de producción de los distintos recubrimientos por inmersión en caliente.....	241
Figura B.2-1: Esquemas de líneas de desengrase	244
Figura B.2-2: Esquema típico para una línea de recubrimiento en caliente con zinc	245
Figura B.2-3: Esquema de la sección de recubrimiento de una línea de galvano-recocido	248
Figura B.2-4: Configuración típica de un circuito cerrado de refrigeración con torres de refrigeración	251
Figura B.2-5: Sistema de refrigeración de agua con intercambiadores de calor	252
Figura B.2-6: Proceso de recubrimiento con aluminio	254
Figura B.2-7: Proceso Ternex	255
Figura B.3-1: Balance de Entrada/Salida para líneas de recubrimiento en continuo por inmersión en caliente (chapa).....	259
Figura B.4-1: Ejemplo de sistema de reciclaje de solución desengrasante	271
Figura B.4-2: Sección de pretratamiento químico para una línea de recubrimiento en caliente	273
Figura B.4-3: Esquema de un sistema de recuperación de zinc a partir de escoria.....	276

Lista de tablas

Tabla B.1-1. Número de líneas de recubrimiento en continuo en la UE 15.....	241
Tabla B.1-2: Empresas de galvanización en caliente y su producción.....	242
Tabla B.1-3: Principales sectores consumidores de productos galvanizados.....	242
Tabla B.2-1: Principales recubrimientos en caliente para lámina de acero.....	243
Tabla B.3-1: Niveles de emisiones y consumos para toda la línea de recubrimiento	260
Tabla B.3-2: Niveles de emisiones y consumos para el decapado	261
Tabla B.3-3: Niveles de emisiones y consumos para el desengrase.....	261
Tabla B.3-4: Niveles de emisiones y consumos para el tratamiento térmico.....	262
Tabla B.3-5: Niveles de emisiones y consumos para la galvanización	262
Tabla B.3-6: Niveles de emisiones y consumos para el galvano-recocido	263
Tabla B.3-7: Niveles de consumos y emisiones para el acabado	263
Tabla B.3-8: Niveles de emisiones y consumos para el tratamiento de aguas residuales	264
Tabla B.3-9: Niveles de emisiones y consumos para el recubrimiento con plomo-estaño	265
Tabla B.3-10: Niveles de emisiones y consumos para el decapado de alambre	266
Tabla B.3-11: Niveles de consumos y emisiones para la mordentado de alambre	267
Tabla B.3-12: Niveles de consumos y emisiones para el recubrimiento en caliente de alambre.....	267
Tabla B.4-1: Concentraciones de contaminantes en las evacuaciones de agua del tratamiento de aguas residuales de la galvanización	282

B.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

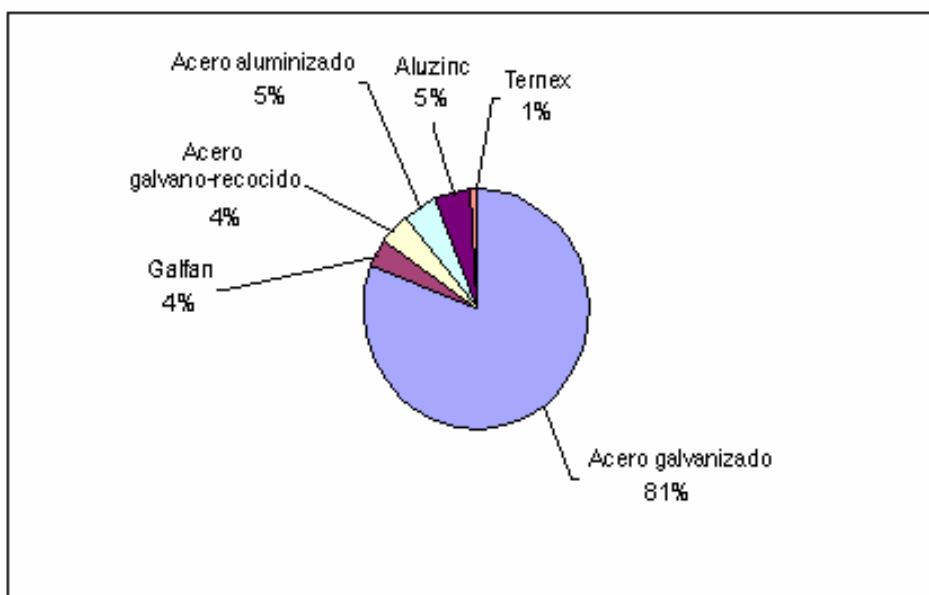
La producción de las líneas de recubrimiento en continuo en caliente en la UE fue de 15 Mt en 1997. El número de plantas continuas en los Estados Miembros de la UE – en funcionamiento, en construcción y en proyecto – se muestra en la Tabla B.1-1-

	Nº de Líneas de Recubrimiento en Continuo
Alemania	10
Austria	4
Bélgica	6
Dinamarca	–
España	4 (2 en construcción)
Finlandia	2 (+1 en construcción)
Francia	14
Grecia	1
Holanda	1 (+1 proyectada)
Irlanda	–
Italia	8
Luxemburgo	3
Portugal	1
Reino Unido	7
Suecia	2
Total	63

Nota: Fuente de los datos [EUROFER HR]

Tabla B.1-1. Número de líneas de recubrimiento en continuo en la UE 15

La mayoría de recubrimientos aplicados, como se muestra en la Figura B-1-1, son de zinc. Los recubrimientos de aluminio, y especialmente los de terne, desempeñan sólo un papel secundario.



Nota: Fuente de los datos [EUROFER HR].

Figura B.1-1: Cuota de producción de los distintos recubrimientos por inmersión en caliente.

La producción de galvanización en caliente para las empresas de Europa Occidental en 1997 se muestra en la Tabla B.1-2.

Empresa	Producción [1000 t]
Usinor	2124,7
Cockerill Sambre	1917,1
Thyssen	1661,2
British Steel S.P.	1568,0
Krupp-Hoesch	1310,0
Riva	1024,0
Aceralia	722,5
Arbed	680,8
Hoogovens Ijmuiden	375,0
Lucchini	600,0
Rautaruukki	572,5
Vöest-Alpine	520,0
Preussag	520,0
SSAB	505,0
Otras	595,5
TOTAL	14696,3
Nota: Fuente de los datos [EUROFER HR]	

Tabla B.1-2: Empresas de galvanización en caliente y su producción.

La Tabla B.1-3 muestra las cuotas de consumo de productos galvanizados de los sectores en la UE.

Sector	Consumo [1000 t]
Transporte	2570
Construcción	4759
Líneas Blancas	364
Otros	4547
Total	12231
Nota: Fuente de los datos [EUROFER HR]	

Tabla B.1-3: Principales sectores consumidores de productos galvanizados.

B.2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

B.2.1 Visión general del proceso de recubrimiento por inmersión en caliente

En el proceso de recubrimiento por inmersión en caliente, se hace pasar el acero continuamente a través de metal fundido. Se produce una reacción de aleación entre los dos metales, lo que produce una buena unión entre el recubrimiento y el sustrato.

Los metales adecuados para usar en recubrimiento por inmersión en caliente son aquellos que tienen un punto de fusión lo bastante bajo para evitar cualquier cambio térmico en el producto de acero, como por ejemplo aluminio, plomo, estaño y zinc.

Los principales recubrimientos en caliente para lámina de acero se muestran en la Tabla B.2-1. El acero se recubre en caliente con zinc (galvanización) o estaño. El recubrimiento con zinc se aplica principalmente como protección anticorrosión. El estaño da al alambre un aspecto brillante y también proporciona una capa adhesiva a la soldadura.

Base Recubrimiento	Baño	Recubrimiento	
		Tipo	Denominación
Base Zinc	Zn	Zn	Galvanizado
	Zn	Zn-Fe	Galvano-Recocido
	Zn	Sin plomo	
	Zn-Al	99 %Zn, 1 %Al	Sin Grietas
	Zn-Al	95 %Zn, 5 %Al	Galfan
Base Aluminio	Al-Zn	55 %Al, 43,5 %Zn, 1,5 % Si	Galvalume
	Al	Al	Tipo I
	Al-Si	Al 87 %, Si 13 %	Tipo II
Base Plomo	Pb-Sn	8.25 % Sn	Terne
		75 - 92 % Pb	
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CC], [Com-CC-2]			

Tabla B.2-1: Principales recubrimientos en caliente para lámina de acero.

En general, **las líneas de recubrimiento en continuo para chapa** se componen de los pasos siguientes:

- Limpieza de la superficie mediante tratamiento químico y/o térmico.
- Tratamiento térmico.
- Inmersión en un baño de metal fundido.
- Tratamiento de acabado.

Las líneas de galvanización de alambre se componen de los pasos siguientes:

- Decapado.
- Mordentado.
- Galvanización.
- Acabado.

B.2.2 Galvanización de chapa (recubrimiento con zinc y aleación de zinc)

En la galvanización en continuo en caliente, la banda de acero se recubre con una capa de zinc o de aleación de zinc como protección anticorrosión. La Figura B.2-2 muestra el esquema de una línea de galvanización en continuo (sin decapado). Los esquemas de las plantas pueden variar en cuanto al diseño de la sección de entrada (con/sin decapado o desengrase alcalino), en el diseño de los hornos de recocido (verticales u horizontales) o en el tratamiento posterior a la inmersión (galvano-recocido, etc.).

La galvanización en caliente de bandas laminadas en frío es más común que la de bandas laminadas en caliente. El proceso es similar, excepto en que para los productos laminados en caliente es necesario un descascarillado (decapado) adicional.

B.2.2.1 Decapado

La operación de decapado para eliminar la cascarilla sólo es necesaria para la galvanización de productos laminados en caliente. El decapado de las bobinas laminadas en frío sin recocido se realiza para su activación. Ambos procesos se realizan en ácido clorhídrico, seguido de enjuague. La tecnología es la misma que para el proceso de decapado descrito en la sección de laminación en frío de este BREF.

B.2.2.2 Desengrase

Es esencial que la superficie de la bobina de acero esté libre de impurezas como grasa, aceite o finos de hierro abrasivos, para asegurar que toda la superficie quede expuesta al producto de recubrimiento y que se consiga una fuerte adherencia. Aunque el desengrase no es necesario cuando la banda recibe tratamiento térmico posterior, muchas veces se aplica de todos modos. El proceso de limpieza comporta varios o todos los procesos siguientes:

- Desengrase alcalino por inmersión o por pulverización, posiblemente en combinación con un cepillado.
- Desengrase alcalino por un sistema electrolítico, posiblemente en combinación con un cepillado.
- Enjuague con agua con cepillado intermedio entre los tanques de enjuague.
- Secado.

La Figura B.2-1 muestra dos posibles esquemas para las líneas modernas de desengrase.

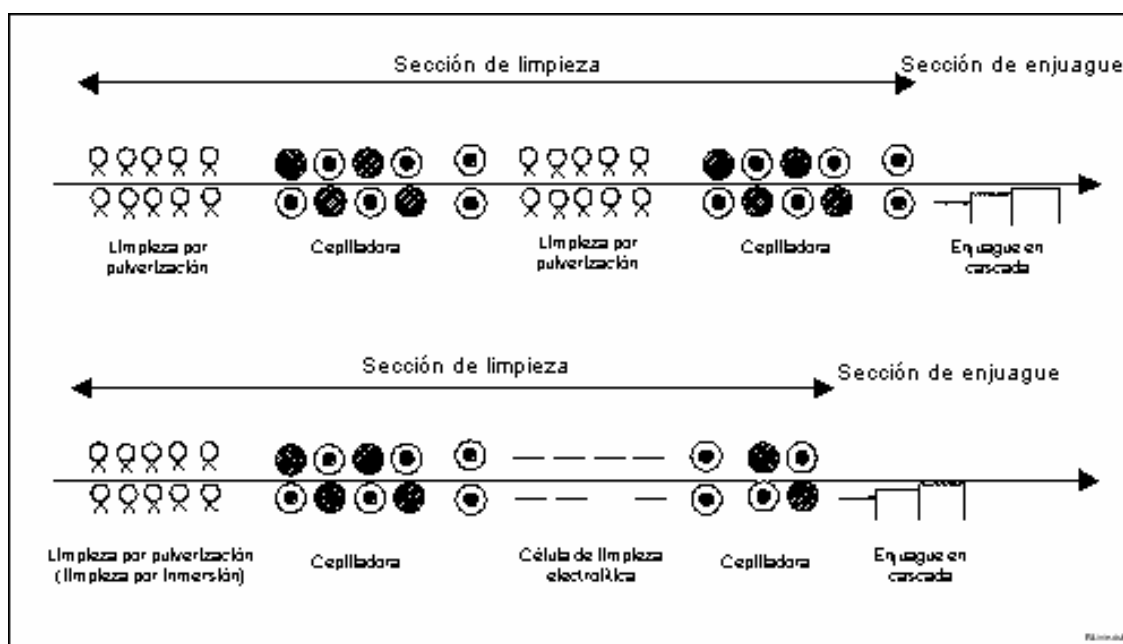


Figura B.2-1: Esquemas de líneas de desengrase [DFIU].

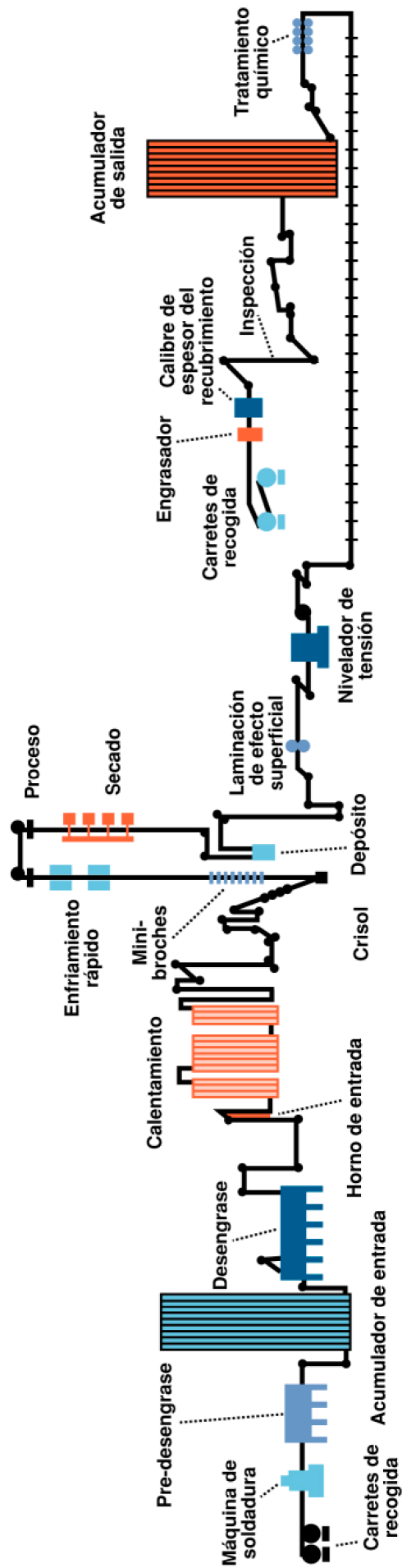


Figura B.2-2: Esquema típico para una línea de recubrimiento en caliente con zinc [Com-CC-2]

El agente desengrasante es normalmente una solución alcalina no silícea con una concentración de 25 g/l y una temperatura entre 70 y 95 °C. Los sistemas acuosos son ahora estándar y el desengrase con disolventes ha quedado obsoleto [ERM95], [Com-CC-2].

La misma solución acuosa que contiene principalmente hidróxidos sódicos, ortofosfatos y agentes surfactantes se utiliza en el desengrase por pulverización y en el desengrase electrolítico. Una vez la solución de la sección de desengrase electrolítico ha alcanzado un cierto nivel de aceite, se reutiliza en la sección de pulverización (uso en cascada). También es posible que la solución se trate en un centro de separación de emulsiones y luego sea tratada biológicamente [Com-CC-2]. Cuando la solución ha alcanzado el máximo contenido de aceite se regenera, por lo general externamente [EUROFER CC].

Los vapores generados en el desengrase y el cepillado se recogen y se lavan antes de su emisión, utilizando agua o solución de sosa cáustica, siendo conducidos a través de un eliminador de niebla para su limpieza [Com-CC-2]. El agente desengrasante consumido y el agua residual de las operaciones de desengrase y cepillado son enviados al tratamiento de aguas residuales antes de su evacuación [EUROFER CC].

B.2.2.3 Tratamiento térmico

Las bobinas de acero laminadas en caliente y en frío se pasan a través de un horno con atmósfera controlada antes de la galvanización, con el fin de desengrasar y secar la superficie, mejorar las propiedades adhesivas de la misma, obtener las propiedades mecánicas requeridas del acero y dejar que el acero alcance la temperatura requerida antes de su recubrimiento. Se utilizan los siguientes tipos de hornos:

Horno Sendzimir

Este tipo de horno ya no se usa en las líneas de recubrimiento modernas, pero algunas plantas todavía utilizan este horno continuo horizontal, que se compone de un horno de precalentamiento con calentamiento directo (zona de oxidación) y zonas de reducción y estabilización con calentamiento indirecto y atmósferas reductoras de H_2/N_2 , seguidas de zonas de enfriamiento. En la parte de precalentamiento del horno, la temperatura es de 450 - 550 °C. La banda se limpia quemando el aceite de los residuos de la emulsión de aceite. En la zona de reducción, a una temperatura de 980 °C y en una atmósfera inerte, los óxidos se reducen. La zona de estabilización facilita la recristalización y la normalización. La banda se enfría luego a una temperatura ligeramente por encima a la de fusión del metal (unos 500 °C) y se lleva al baño de zinc, en atmósfera protectora, mediante una boca de alimentación.

Horno de Llama Directa (HLD)

El horno de llama directa (de tipo no oxidante) puede dividirse en cuatro secciones distintas:

- Una sección de calentamiento en la que se precalienta la banda aprovechando el caudal de gas procedente del horno (la temperatura sube desde 20 °C a unos 250 °C).
- El horno en sí, donde la bobina se calienta directamente con llama desnuda, alcanzando una temperatura del orden de 560°- 750 °C.
- La zona de recocido, donde elementos eléctricos o radiantes calientan la banda hasta 830 °C y la mantienen a esta temperatura en atmósfera reductora (atmósfera de HN_x , 3-20% de hidrógeno).
- Dos zonas de enfriamiento, con distintas velocidades de enfriamiento, donde la temperatura del acero se reduce mediante enfriamiento por chorro hasta 450°- 480 °C.
- La zona de salida, en la que el acero va hacia el baño de galvanización.

Este tipo de horno limpia la superficie de la bobina y no precisa desengrase previo del metal, pero genera emisiones a la atmósfera, ya que el aceite que queda en la superficie se quema. Además salen del horno productos de combustión, H_2 y N_2 (que utiliza como combustible gas natural o gas de coque desulfurado) [EUROFER CC], [Com-CC-2].

Horno de Tubos Radiantes (H.T.R.)

El horno de tubos radiantes es una variación con calentamiento indirecto. Los gases de combustión circulan a través de tubos radiantes y no entran en contacto con la banda. La zona de resudado puede equiparse con tubos radiantes o calentamiento eléctrico. Se requiere desengrase alcalino y tubos radiantes o calentamiento eléctrico para estándares de calidad muy exigentes y para mejorar la adherencia del recubrimiento metálico posterior. Las zonas de enfriamiento rápido son similares a las de un HLD. El horno de recocido se combina con un equipo de desengrase alcalino [EUROFER CC], [Com-CC-2], [Com2 CC].

Los combustibles utilizados son gas de coque desulfurado y gas natural. La conservación de la energía es una consideración primordial en el diseño moderno de hornos. Siempre que es factible se añaden características recuperativas, como precalentadores de gas residual por infrarrojos, precalentamiento del aire de combustión en quemadores del horno de combustión directa y tubos radiantes, precalentamiento de la atmósfera del horno e instalación de calderas de calor perdido.

B.2.2.4 Galvanización en caliente

El baño de galvanización se compone de uno o más tanques, normalmente de material cerámico. Estos crisoles, que pueden ser fijos o móviles, contienen el metal fundido a una temperatura de 440 – 490 °C, a través del cual se pasa la banda. El baño contiene zinc y cualquier otro aditivo requerido (ej: antimonio, plomo o aluminio). El baño contiene una cantidad suficiente de zinc fundido para evitar las grandes fluctuaciones en la temperatura operativa que pueden aparecer en condiciones operativas de máximo uso. La mayoría de crisoles actuales se calientan con sistemas de inducción eléctrica. No obstante, el gas natural es una alternativa para el calentamiento de los crisoles si se considera el medio ambiente en su conjunto y se tienen en cuenta aspectos medioambientales de producción de energía [EUROFER CC], [Com-CC-2].

Al hacer pasar el acero por el baño de zinc fundido, su superficie se recubre en un cierto grado con capas de distintas aleaciones de hierro-zinc, pero debido a la alta velocidad de la banda de acero (máx. 180 m/mín) y al corto tiempo de exposición, el recubrimiento se compone principalmente de zinc.

El control de la temperatura del baño es esencial ya que una temperatura elevada aumenta la velocidad de oxidación en la superficie del baño fundido, produciendo una mayor cantidad de cenizas. Una temperatura baja del baño aumenta la viscosidad del metal fundido de recubrimiento, inhibiendo así la formación de una fina capa de recubrimiento. La temperatura del baño se optimiza por lo tanto para ajustarse a los requisitos de calidad individuales del producto final recubierto.

La banda sale del baño con una cierta cantidad de zinc líquido en su superficie. Para poder lograr el espesor exacto de recubrimiento deseado, la banda pasa a través de una serie de chorros situados sobre la superficie del baño. Soplando aire o nitrógeno, se elimina el exceso de zinc de acero. El sistema está controlado normalmente por un calibre automático, que mide el espesor del recubrimiento con un sistema de rayos-X o técnica similar.

También se aplican procesos de galvanización especiales para producir recubrimientos por una sola cara. Ejemplos de ello son el proceso Monogal, en el que, tras una galvanización normal, el recubrimiento de zinc es cepillado con cepillos metálicos giratorios, y procesos en los que el zinc es aplicado por rodillos portadores.

Al salir del baño, la banda es enfriada gradualmente por enfriadores de aire, seguido de un tanque de enfriamiento por inmersión en agua y un secador.

B.2.2.5 Galvano-recocido

El galvano-recocido es un tratamiento posterior especial que se aplica en algunas instalaciones en las que la banda, tras su galvanización, se calienta a una temperatura que permite la formación de una aleación de zinc-hierro (10% de hierro). El galvano-recocido confiere una apariencia especialmente pulida al producto.

El galvano-recocido es la aleación de la capa de zinc por difusión del hierro (Fe) desde el sustrato de acero. La difusión del hierro se obtiene manteniendo el acero a una temperatura de unos 500 °C para acero de bajo contenido en carbono, o a una temperatura de unos 540 °C para acero de alta resistencia de nueva generación. Los hornos se dividen en dos zonas: una zona de calentamiento y una zona de resudado. El espacio disponible para el horno es limitado. A igual superficie disponible, un calentamiento muy rápido desde la temperatura del baño de zinc (460°C) a la temperatura de resudado permite aplicar un tiempo de resudado más largo. Algunos hornos están equipados con sistema de calentamiento por inducción en la zona de calentamiento y elementos eléctricos o tubos radiantes en la zona de resudado. La técnica de calentamiento por inducción se caracteriza por un tiempo de calentamiento corto, un tiempo de reacción corto, una regulación precisa de la temperatura y ausencia de emisiones in situ. Permite mejorar la calidad de la aleación y de la superficie.

Otros hornos de galvano-recocido están equipados en la zona de calentamiento y en la zona de resudado con tubos radiantes caracterizados por un tiempo de calentamiento más largo. En tal caso, las emisiones in situ y el consumo de energía mejoran con el uso de quemadores de bajo nivel de NOx y sistemas de quemadores regenerativos o recuperativos [Com2 CC].

La Figura B.2-3 muestra el esquema de la sección de recubrimiento y del horno de galvano-recocido.

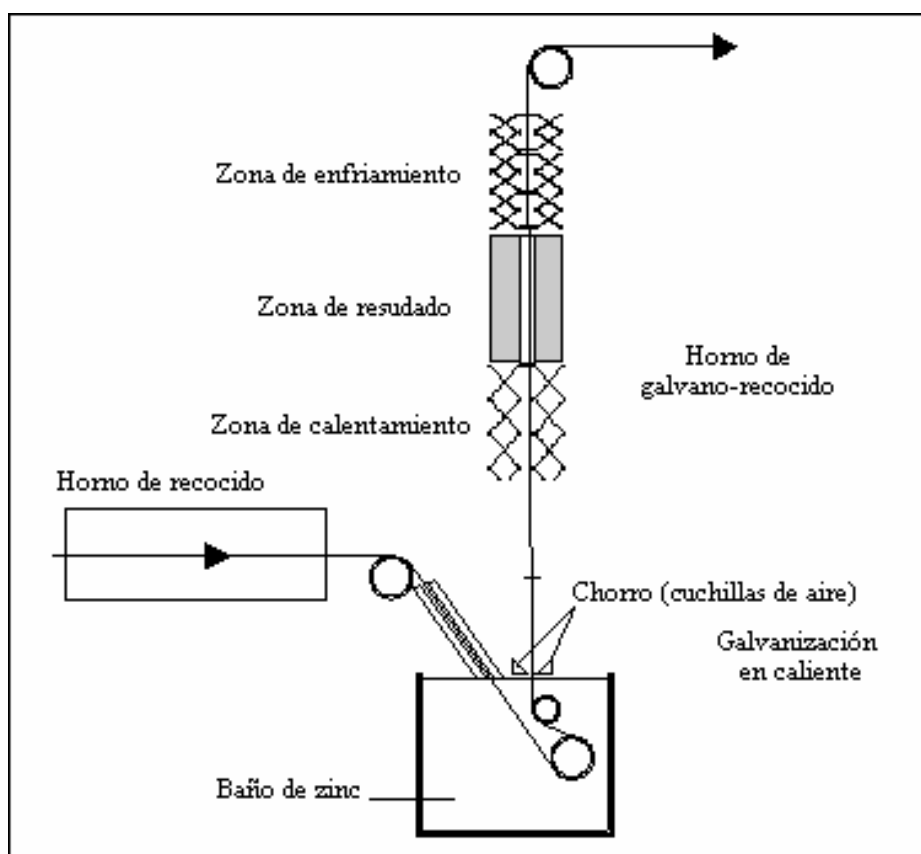


Figura B.2-3: Esquema de la sección de recubrimiento de una línea de galvano-recocido [DFIU 99].

B.2.2.6 Postratamientos

Tras su recubrimiento, las bandas de acero son sometidas normalmente a un postratamiento con el fin de prevenir los daños y defectos superficiales, como el óxido blanco causado por la condensación de agua en caso de una entrada de aire insuficiente. Los productos de corrosión voluminosos como los hidróxidos de zinc (óxido blanco) afectan al proceso ulterior, como por ejemplo el pintado. Por lo general, debe evitarse la formación de condensado durante el transporte y el almacenamiento [Com-CC-2].

La resistencia contra el óxido blanco aumenta considerablemente con la aplicación de un postratamiento, como engrase, pasivación, fosfatado, recubrimiento orgánico o una combinación de varios tratamientos. Además, las propiedades del proceso mejoran significativamente según la aplicación (ej: engrase; ayuda a la deformación; fosfatado; pintura directa asegurada, en combinación con engrase; ayuda a la deformación) [Com-CC-2].

Engrase

Para la aplicación de una capa húmeda en la superficie de la banda se utiliza un pulverizador de engrase, rodillos exprimidores o máquinas de engrase electrostático. La capa de aceite es de 0,25 - 3 g/m²/lado [Com-CC-2].

Pasivación

La pasivación es un tratamiento con disolventes que contienen ácidos crómicos, aplicados por pulverización o rodillos aplicadores. Para una banda con recubrimiento de metal por inmersión, se aplica una capa de 10 - 35 mg/m² por cara. El espesor de recubrimiento es por consiguiente extremadamente fino (sólo unos pocos nanómetros). Durante la pasivación, el Cr⁶⁺ se transforma principalmente en Cr³⁺. Casi todas las instalaciones disponen de un pequeño calentador después del tratamiento para asegurar que la temperatura esté por encima de 120 °C, lo que es necesario para una reacción química de Cr⁶⁺ en exceso con los aditivos de la solución pasivante para convertirse en Cr³⁺. La banda se trata con soluciones entre 0,5 - 2 % de Cr⁶⁺ y temperaturas de 70-120 °C [Com-CC-2], [Com2 D].

Fosfatación

En la fosfatación se aplica una capa de fosfato de aprox. 1 - 1,8 g/m². El procedimiento de fosfatación es más o menos una reacción de precipitación de cristales de fosfato de zinc en la superficie de recubrimiento metálico, causada por un aumento del valor del pH en la superficie del metal debido a una reacción de decapado. Puede usarse el proceso de fosfatación tricatónica (el cristal de hopeita Zn₃(PO₄)₂•4 H₂O incorpora aprox. 1 % de Ni y 5 % de Mn). Así, este proceso forma la misma estructura química de recubrimiento de fosfato que los procesos de fosfatación de alta calidad utilizados para automóviles y electrodomésticos [Com-CC-2].

B.2.2.7 Acabado

Para dar al acero un aspecto superficial especial, como pulido, etc., según los requisitos de los clientes, o para poder ajustarse a las tolerancias de anchura, pueden aplicarse las siguientes operaciones:

Tratamiento de mini-lentejuelas o sin lentejuelas

Si la velocidad de enfriamiento de la capa superior de zinc puro es suficientemente baja, se formarán cristales grandes, produciendo un aspecto con destellos o "lentejuelas". En ocasiones se solicitan lentejuelas más pequeñas o incluso que no haya efecto de lentejuelas. En tal caso, la banda se enfría más rápidamente o se aumenta el número de puntos de destello mediante pulverización de vapor sólo, de vapor con un aditivo químico (normalmente a base de fosfatos) o de vapor con zinc en polvo [ERM95].

Acabado mate

La banda es sometida a una laminación superficial para obtener una superficie con acabado mate. El tratamiento de laminación superficial puede hacer de tres modos distintos: seco, húmedo (sólo agua) o húmedo (con agua y detergente). La solución de 'laminación de revenido' generada en este último tratamiento debe recogerse y enviarse a una planta de tratamiento de agua cuando esté consumida.

Recorte de bordes

Para ciertas aplicaciones, debe realizarse un recorte de bordes con el fin de obtener la tolerancia de anchura requerida y para evitar pequeños defectos en forma de hueso. Hay dos lugares para llevar a cabo este proceso:

- En la línea de decapado antes del proceso de recubrimiento.
- En el proceso de recubrimiento en caliente.

Un programa de producción perfecto debe intentar reducir este proceso al mínimo para aumentar el rendimiento de las líneas [Com-CC-2].

B.2.2.8 Circuitos de agua de refrigeración

En las plantas de recubrimiento, se necesita agua para descargar el exceso de calor de los hornos. Parte de la energía calorífica se emite directamente al aire (con los gases residuales), a través de la banda recubierta o el aire del taller. El resto se transfiere al agua de refrigeración. Los principales puntos de consumo de agua de refrigeración son el horno (cojinetes de rodillos) y el enfriamiento final de la banda.

Una planta de recubrimiento recibe el suministro de agua de refrigeración de los sistemas centrales de agua de refrigeración. En estos sistemas, las bombas transportan el agua de refrigeración a los puntos de consumo; el agua caliente es devuelta y reenfriada de nuevo en intercambiadores de calor de platos con agua industrial (por ejemplo, de río).

Gracias al uso de circuitos de refrigeración de agua cerrados, el agua industrial, incluso en caso de fuga en un refrigerador, no entra en contacto con el equipo de los puntos de consumo; de este modo se evita la entrada de agentes químicos o aceite en el agua industrial y la contaminación del sistema de alcantarillado.

Existen diversas variantes del reenfriamiento, dos de las cuales son:

- Reenfriamiento con agua industrial en intercambiadores de calor, y
- Reenfriamiento por evaporación en torres de refrigeración.

En comparación con el reenfriamiento en torres, el reenfriamiento en intercambiadores de platos ofrece la ventaja de pueden ahorrarse considerables cantidades de agentes químicos para el tratamiento del agua de refrigeración (como inhibidores de corrosión, estabilizadores de dureza, dispersantes y biocidas), y éstos no se evacúan al sistema de alcantarillado. Otra ventaja es que no es necesario hacer evacuaciones parciales con elevado contenido salino causado por la evaporación, como ocurre en el caso de las torres de refrigeración [EUROFER CC].

Configuración típica de un circuito cerrado de refrigeración con torres de refrigeración

El escaso volumen de desagüe al sistema de alcantarillado necesario para mantener una baja concentración de sal en el agua se realiza continuamente. Se aplican dosis de alguicidas (para evitar la saturación de la zona de contacto entre el agua y el aire). La frecuencia es variable según la climatología (entre 1 y 3 veces por semana).

Pueden ser necesarios otros agentes químicos según la composición del agua utilizada en el circuito (dureza, etc.).

Configuración para reciclaje de agua con un intercambiador de calor de platos:

El agua de refrigeración se recircula en varios sistemas de refrigeración de circuito cerrado y se calienta por el calor expulsado por los procesos (refrigeración de maquinaria, enfriamiento de gases, etc.). El agua de refrigeración se reenfía con agua de río en intercambiadores de calor. El agua de río en el lado secundario del intercambiador de calor no está nunca en contacto con la banda o con medios nocivos, por lo que no contamina. El agua sólo recibe carga de calor y por consiguiente puede desaguarse de nuevo al río. Los principales puntos de consumo de agua de refrigeración son los hornos de precalentamiento y de recocido, los crisoles de zinc, las refrigeraciones de varios rodillos, los refrigeradores de agua sumergida, la sección de activación, el equipo eléctrico, el sistema hidráulico y el acondicionamiento de aire. Todo el calor que no es eliminado por el agua de refrigeración debe ser evacuado a través del gas residual o al aire ambiente.

Con este sistema, se evita la adición de alguicidas y de agentes anticascarilla. El agua de salida sólo tiene carga térmica. Esto puede ser una ventaja si el agua del sistema no tiene contacto con contaminación. Sólo hay evacuaciones en caso de desagüe del sistema.

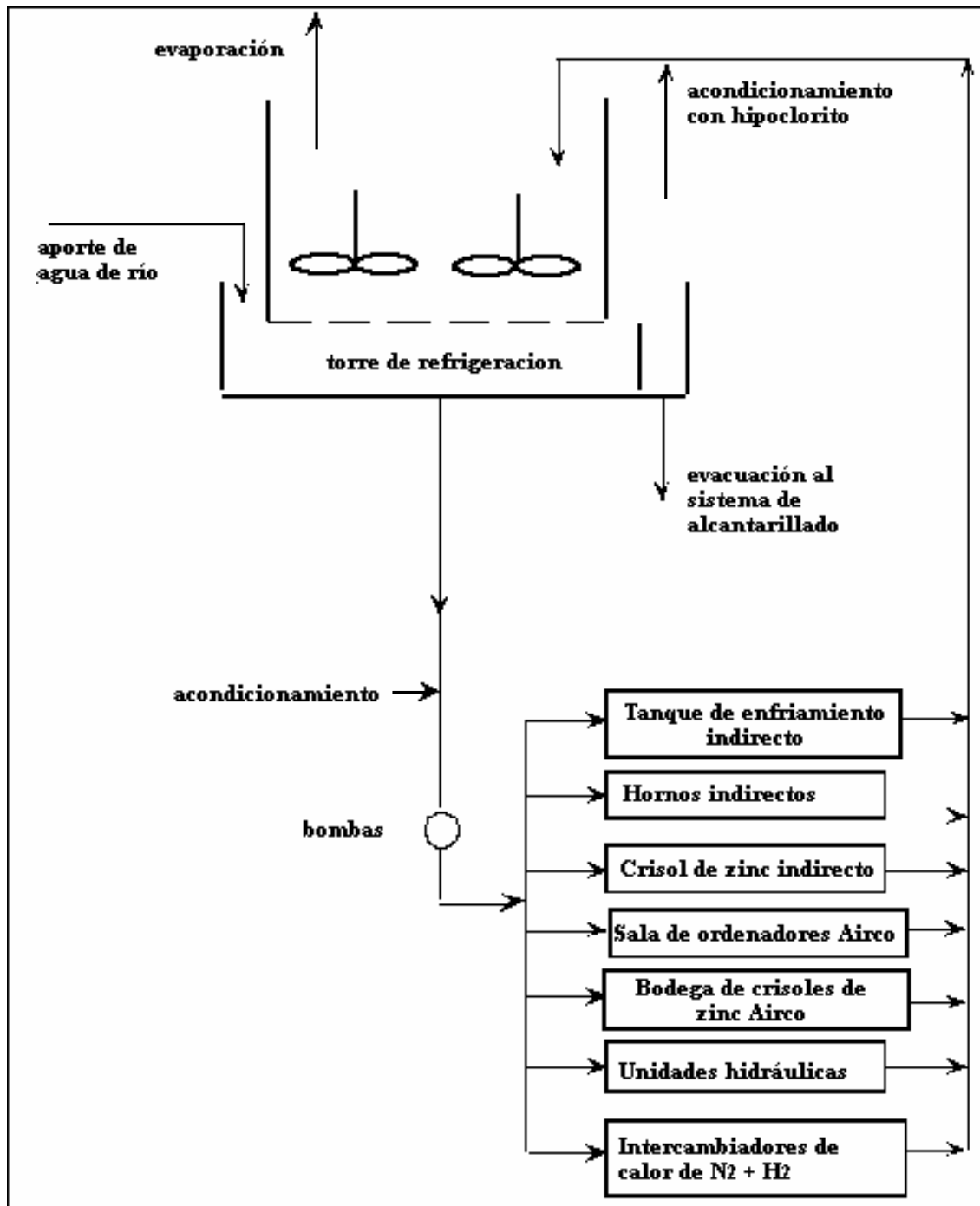


Figura B.2-4: Configuración típica de un circuito cerrado de refrigeración con torres de refrigeración [CC 11/99].

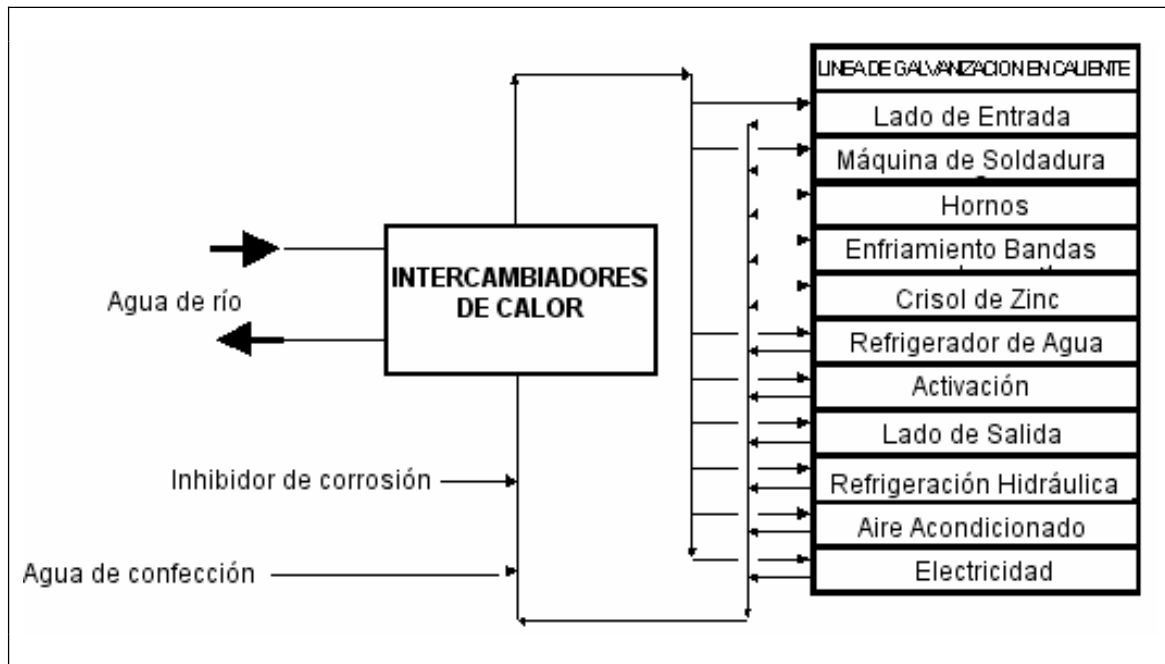


Figura B.2-5: Sistema de refrigeración de agua con intercambiadores de calor
[CC 11/99].

B.2.2.9 Circuitos de agua / gestión del agua

El agua de proceso es agua que se utiliza para la confección de las soluciones químicas que están en contacto directo con la banda (ej: agua de para enfriamiento directo de las bandas). Puede ser contaminada por el proceso y debe ser tratada como agua residual. En las líneas de galvanización se utilizan las siguientes aguas de proceso, que finalmente se evacuan como aguas residuales:

- Agua para preparación (normalmente agua desionizada) de los concentrados de las secciones de tratamiento químico de las bandas (pretratamiento, tratamiento electrolítico, postratamiento). Los distintos concentrados se pulverizan sobre las bandas, o éstas se hacen pasar por el baño de concentrado. Los concentrados son normalmente recirculados por bombas. Son clarificados o filtrados en plantas de reciclaje durante la recirculación. Sólo se evacua un pequeño caudal de agua residual muy concentrada que se envía a la planta de tratamiento de aguas.
- Agua de enjuague (normalmente agua desionizada) para las secciones de tratamiento químico (pretratamiento, tratamiento electrolítico, postratamiento). El agua de enjuague se utiliza para eliminar los restos de concentrado de las bandas. El agua es pulverizada sobre la banda en una cascada de secciones de enjuague, y el agua fluye a contracorriente contra la banda. Por último es evacuada como agua residual de baja concentración a la planta de tratamiento de aguas.
- Agua de circulación para el enfriamiento por agua. En enfriamiento por agua, las bandas se enfrían primero mediante pulverización de agua recirculada, y por último pasan a través de un baño de agua con un rodillo sumergido de giro inverso. El agua se contamina con polvo de abrasión y debe ser evacuada de vez en cuando a la planta de tratamiento de aguas del tren de laminación de efecto superficial.
- Agua de pulverización del tren de laminación de efecto superficial. El agua es utilizada para mantener limpios los rodillos de trabajo. Se pulveriza sobre los rodillos contaminados por polvo de abrasión con Zn y aceite de lubricación, y luego es evacuada a la planta de tratamiento de aguas del tren de laminación de efecto superficial.

B.2.3 Recubrimiento de láminas con aluminio

La mayoría de bobinas de acero recubiertas con aluminio se producen mediante alguna variación del proceso de galvanización en caliente. La Figura B.2-6 muestra el esquema de la línea de producción para la aplicación de recubrimientos de aluminio. La línea de producción incluye normalmente una sección de pasivación, que se realiza en línea o fuera de línea en una unidad de proceso independiente.

Debido a la afinidad del aluminio por el oxígeno, es extremadamente importante prevenir la formación de una capa de oxígeno que evitaría la difusión del aluminio en el sustrato de acero. El acero es en ocasiones pulverizado o decapado con cloro gas antes del recocido [ERM95]. La formación de una capa de óxido puede entonces evitarse usando una serie de métodos como:

- Paso del acero lavado y decapado a través de un horno con atmósfera de hidrógeno para eliminar el oxígeno (el hidrógeno absorbido protege más el sustrato al pasar por el baño de aluminio fundido).
- Inmersión del acero decapado en un baño de aluminio fundido que se mantiene saturado de hidrógeno inyectado por chorros sumergidos.

El baño de aluminio se mantiene normalmente a temperaturas de aproximadamente 690 °C. La bobina recubierta puede luego ser tratada térmicamente a 820 - 930 °C, lo que convierte completamente el recubrimiento de aluminio en una aleación de acero-aluminio si es necesario [ERM95].

A continuación de su recubrimiento, las bandas pueden someterse al postratamiento con el fin de evitar los daños y defectos superficiales, como el óxido blanco causado por condensación en caso de aporte de aire insuficiente.

Pasivación: tratamiento con disolventes que contienen ácidos crómicos. Para una banda con recubrimiento de metal por inmersión, se aplica una capa de 10 - 35 mg/m² por cara. El espesor de recubrimiento es por consiguiente extremadamente fino (sólo unos pocos nanómetros). Durante la pasivación, el Cr⁶⁺ se transforma principalmente en Cr³⁺. La banda se trata con soluciones entre 0,5 - 2 % de Cr⁶⁺ y temperaturas de 50-120 °C.

Antihuellas: tratamiento con rodillos exprimidores aplicando un recubrimiento polimérico en la superficie de la banda. Se aplica una capa con un peso (una vez seca) de < 1.5 g / m² por cara.

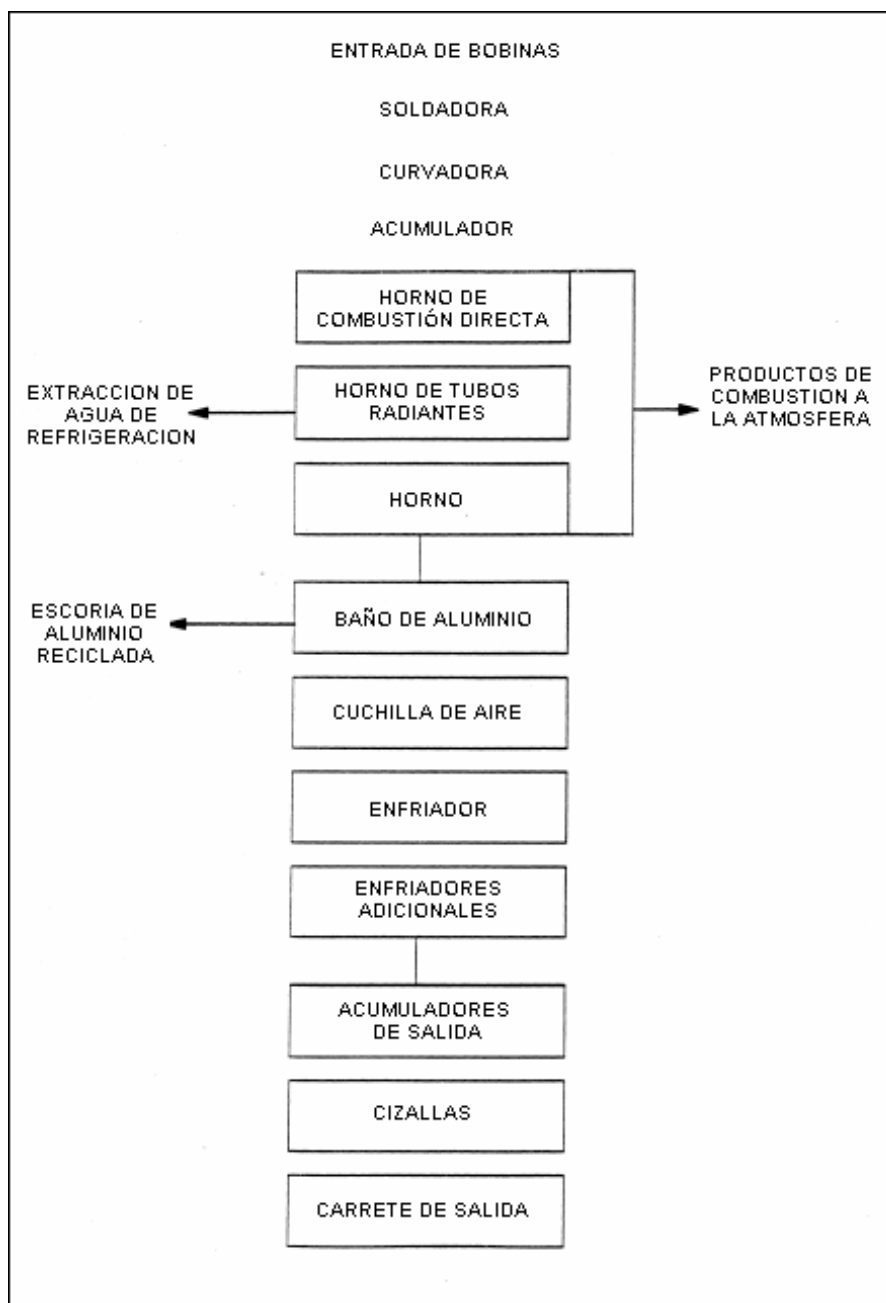


Figura B.2-6: Proceso de recubrimiento con aluminio
[EUROFER CC].

B.2.4 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño

El plomo puro nunca se utiliza como material de recubrimiento para el acero debido a que no es posible producir una aleación de plomo-acero y obtener un recubrimiento adhesivo. No obstante, se recubren bobinas de acero con una aleación de plomo-estaño que contiene un 8 - 25% de estaño, denominado metal 'terne'. El metal terne puede también contener hasta un 3% de antimonio. El estaño y el antimonio forman primero aleaciones con el sustrato de acero, que facilitan la adhesión del recubrimiento de plomo/estaño.

Los recubrimientos de terne proporcionan un alto grado de resistencia a la corrosión externa. El recubrimiento mantiene su integridad durante procesos profundos de trefilado y conformación, actuando asimismo como lubricante durante dichas operaciones. Los recubrimientos de terne tienen una excelente soldabilidad y normalmente se sueldan. Son ampliamente utilizados en el sector de automoción para la fabricación de depósitos de gasolina y para distintas aplicaciones como contadores de gas.

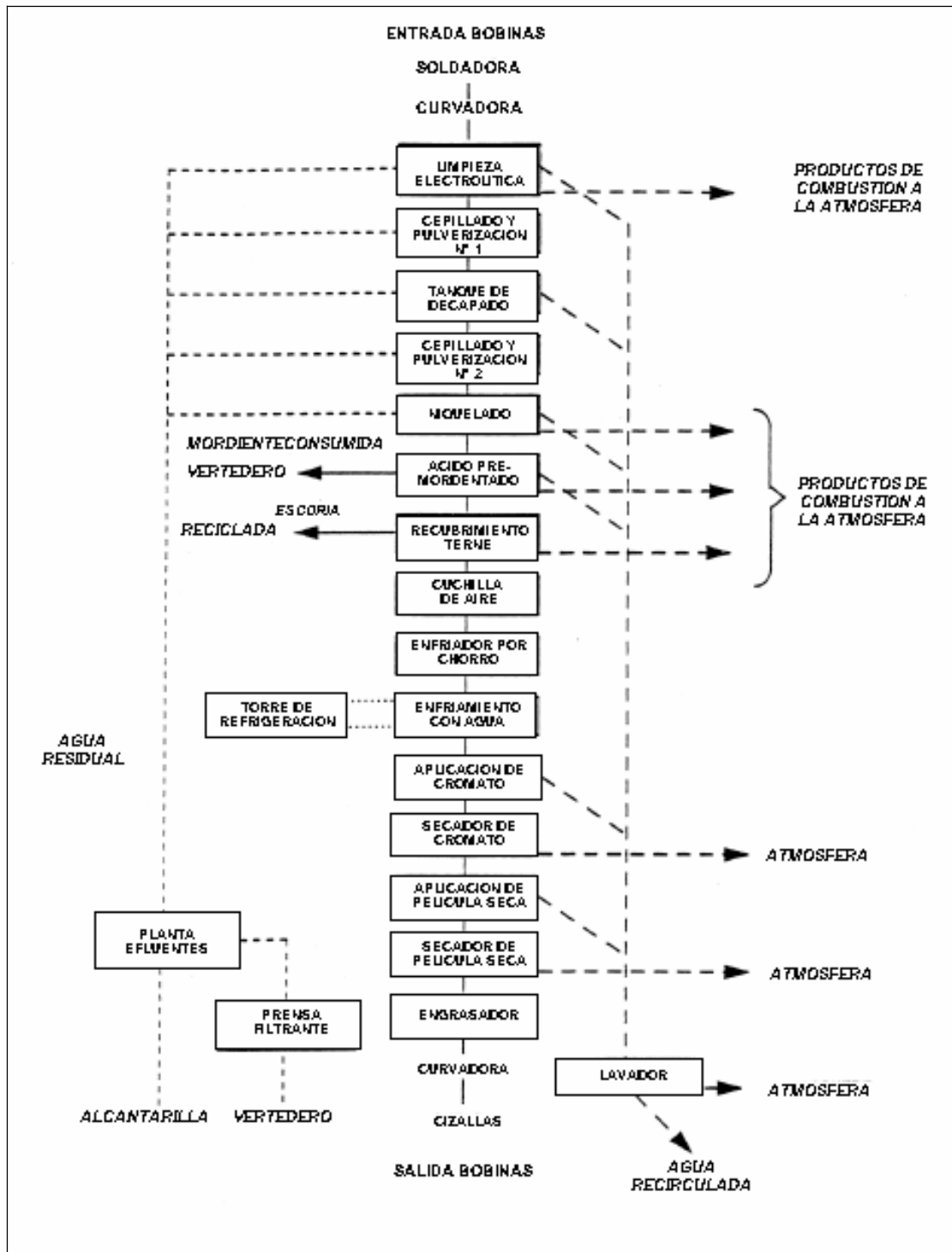


Figura B.2-7: Proceso Ternex
[EUROFER CC].

La Figura B.2-7 muestra un diagrama de flujo para recubrimiento con plomo-estaño (proceso Ternex). Primero, el sustrato reducido en frío se limpia mediante desengrase (electrolítico) y se decapa, normalmente en ácido clorhídrico o nítrico diluido y templado. Luego, si se desea un recubrimiento mixto instantáneo de níquel-terne, se aplica una capa de níquel electrolíticamente. Esto mejora la humidificación del sustrato por la aleación en la siguiente etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, dando recubrimientos continuos y uniformes [ERM95].

La película continua de níquel en ambas superficies de la banda de acero permite una aleación rápida con el estaño para formar la base de una capa de metal terne sin discontinuidades. La banda se hace pasar a

través de células de recubrimiento que contienen cestas de titanio llenas de granos de níquel. Un electrolito consistente en solución de Watts (sulfato/cloruro de níquel) se calienta y se recircula a través de la célula de recubrimiento, manteniéndose a 65 °C con un pH de 2,5 – 5,0 [Com-CC-2].

En el paso siguiente, el acero entra en el baño de terne fundido a una temperatura de 310 °C a través de un flujo de cloruro amónico. Para controlar el espesor de recubrimiento actualmente se utilizan cuchillas de aire, que proporcionan una acción de barrido para eliminar el exceso de plomo de la superficie de las bandas. Los baños de aceite, que han sido utilizados anteriormente en el control del espesor de recubrimiento, han sido sustituidos debido a su mal comportamiento medioambiental. Tras el enfriamiento, la bobina puede recibir el postratamiento de protección, mediante engrase o pasivación.

Pasivación

Para sellar la superficie de la banda y pasivar los poros o zonas expuestas de sustrato contra la oxidación, la banda se pasa a través de un tanque de inmersión con agente de pasivación, normalmente a base de ácido crómico. Un sistema de rodillos para escurrido a la salida del tanque elimina cualquier exceso arrastrado del tanque y controla el espesor de la película. Si es necesario, puede usarse un secador para elevar la temperatura de la banda y curar la película de cromato en la superficie de la misma.

Engrase

Para aplicar una película húmeda de aceite de los sistemas de recubrimiento de bandas, pueden usarse sistemas de pulverización o máquinas de engrase electrostáticas.

B.2.5 Recubrimiento por inmersión en caliente de alambre

El alambre se recubre por inmersión en caliente principalmente con zinc y aleaciones de zinc (ej: Galfan, 95% Zn, 5% Al); la función principal de este tipo de recubrimiento es la protección anticorrosiva. Otros recubrimientos que se aplican mediante inmersión en caliente son estaño y aluminio. El aluminio se utiliza para productos de uso comercial. El estaño confiere un acabado brillante y proporciona una capa adhesiva para soldadura. Los procesos de aplicación para estos recubrimientos de inmersión en caliente son básicamente idénticos.

Una línea de recubrimiento en continuo por inmersión en caliente se compone de los siguientes pasos de producción: el alambre se decapa, se enjuaga, se sumerge en un baño de mordentado, se seca, se pasa a través del baño de metal fundido y se enfría de nuevo. Eventualmente puede aplicarse un recubrimiento de protección de base acuosa (denominado cera) tras el paso de recubrimiento por inmersión en caliente [Com BG].

B.2.5.1 Decapado continuo de alambre

Tras el tratamiento térmico (ver también Capítulo A.2.3.5) o como paso inicial para el recubrimiento por inmersión en caliente, el alambre es decapado para eliminar la suciedad superficial y mejorar su aspecto o preparar la superficie para la aplicación de recubrimientos. Esto se hace normalmente en línea, sumergiendo el alambre en un baño de ácido o sometándolo a un tratamiento en una célula electrolítica bipolar con sal neutra.

En el decapado con ácido, el alambre se limpia pasándolo continuamente a través de uno o más baños de ácido clorhídrico; en ocasiones se utiliza H₂SO₄. Debido al corto tiempo de estancia, el HCl se utiliza a menudo en caliente (hasta 60 °C) o concentrado. El tipo de impurezas eliminadas en este baño dependen del paso de proceso anterior:

- Para alambre tratado térmicamente: óxidos metálicos, residuos de portador de jabón, posiblemente trazas de plomo.
- Para alambre estirado: residuos de jabón, aceite u otro lubricante y trazas de óxido. En ocasiones de agrega un agente desengrasante al baño de HCl para potenciar la eliminación de estas sustancias [Com BG].

Pueden obtenerse mayores velocidades de decapado y de paso de alambre aumentando la longitud del baño, incrementando la temperatura del HCl, aumentando la concentración del baño o aplicando

decapado asistido electrolíticamente. Los vapores de HCl de los baños de decapado se recogen y se eliminan por lavado.

Tras el decapado, el alambre se hace pasar a través de una cascada de enjuague [Com BG].

B.2.5.2 Mordentado

Para una buena adhesión del recubrimiento de zinc, el alambre se pasa a través de un baño de mordentado, compuesto por una solución acuosa de ZnCl_2 y NH_4Cl . El exceso de mordiente se elimina del alambre por barrido. Antes de recubrirlo, el alambre se seca; esto puede hacerse en un horno o con el calor interno del alambre. Con alambres de gran diámetro y/o escobillas eficaces, el calor interno del alambre (debido a su calentamiento en el baño de mordiente) es suficiente para asegurar que el alambre esté seco. El alambre debe estar seco antes de entrar en el baño de mordiente para evitar salpicaduras a la entrada del baño de zinc.

El mismo medio de mordentado se utiliza en galvanización en discontinuo; no obstante, la concentración es generalmente mucho menor. Para recubrimientos de zinc, normalmente se usa una mezcla de $\text{ZnCl}_2/\text{NH}_4\text{Cl}$ (para el recubrimiento con estaño se utiliza ZnCl_2 puro) [Com BG].

B.2.5.3 Recubrimiento en caliente (galvanización)

El alambre se pasa a través de un baño de zinc fundido (430 - 470 °C). En el baño de zinc se forma una capa de difusión de hierro-zinc, consistente en subcapas de varias aleaciones de Fe-Zn. Encima se forma una capa de zinc, en el momento en que el alambre sale del baño de zinc. La galvanización puede dividirse en galvanización gruesa (vertical, gran espesor de recubrimiento; el recubrimiento se compone principalmente del zinc arrastrado) y galvanización normal (horizontal, bajo espesor de recubrimiento; el recubrimiento es principalmente una capa de aleación hierro-zinc) [Com2 BG].

La mayoría de baños de zinc se calientan a través del fondo y las paredes laterales con gas natural u otro combustible. Excepcionalmente se utiliza calentamiento eléctrico y/o se realiza el calentamiento desde encima del baño de zinc.

Sobre el baño de zinc (o parte del mismo) puede aplicarse una capa protectora de material particulado o una cubierta, con objeto minimizar la formación de óxidos y las pérdidas de energía.

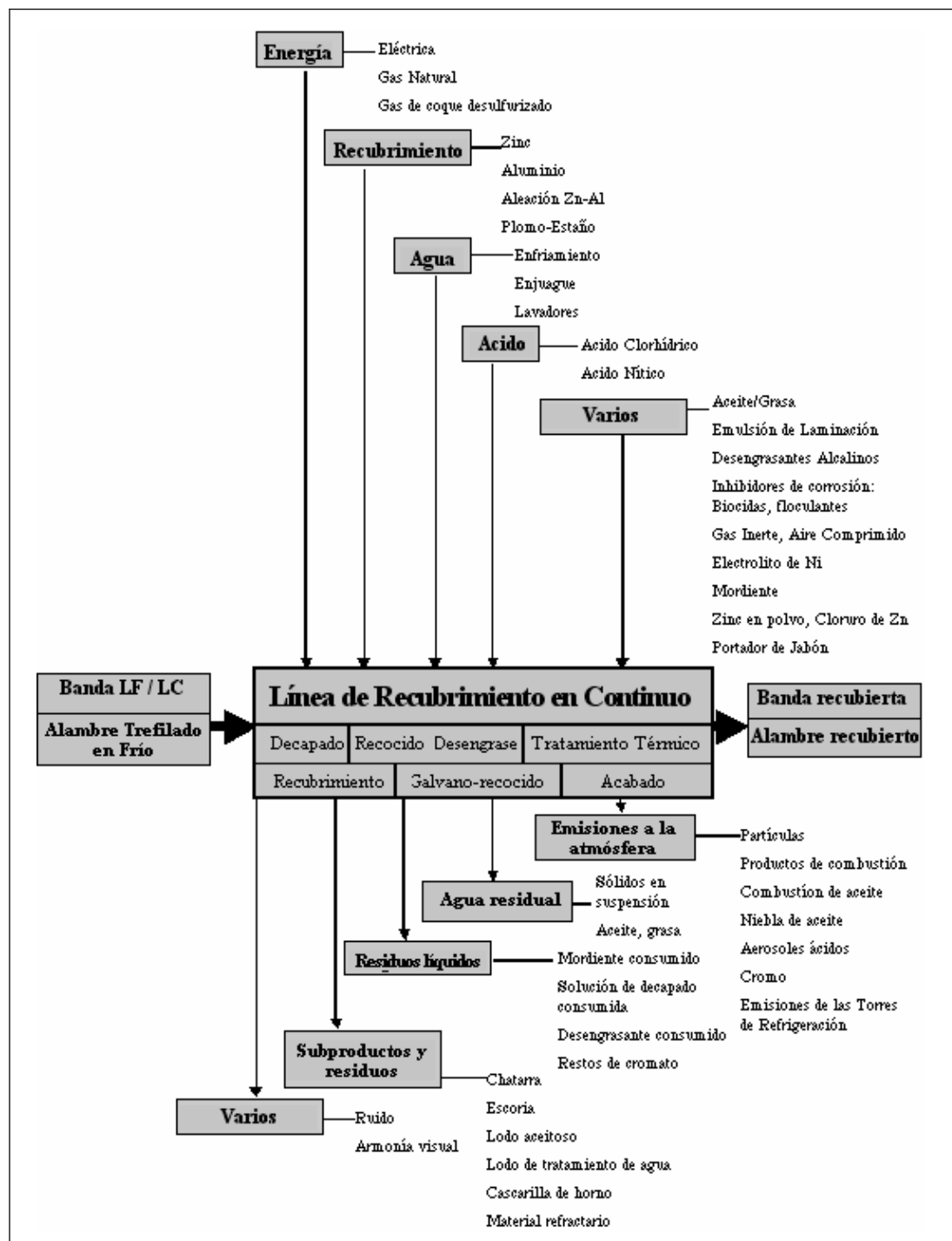
Después del baño de zinc, el alambre se enfría casi a temperatura ambiente mediante aire y agua de enfriamiento. El recubrimiento en caliente con otros metales se realiza del mismo modo [Com BG].

B.2.5.4 Acabado

Eventualmente se aplica una capa de cera para protección contra la formación del llamado óxido blanco (corrosión superficial de la capa de zinc).

B.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMOS Y EMISIONES PARA LINEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO EN CALIENTE

B.3.1 Visión general de la circulación de masas en el proceso de recubrimiento en caliente



Nota: Laminación sólo para bandas de LC y recubrimiento de alambre. Mordentado para recubrimiento de alambre.

Figura B.3-1: Balance de Entrada/Salida para líneas de recubrimiento en continuo por inmersión en caliente (chapa)

Entrada / Nivel de Consumo		
Zinc (metal de recubrimiento) ¹	25 – 48 kg/t	
Energía:		
gas natural	800 - 1300 MJ/t	
eléctrica	44 - 140 MJ/t	
agua caliente	20 - 44 MJ/t	
Hidrógeno	0,75 – 2,5 Nm ³ /t	
Nitrógeno	13 - 80 Nm ³ /t	
Agua ²		
sección de entrada:	8 -10 m ³ /h	
sección de recubrimiento:	0,5 – 10,5 m ³ /h	
sección de salida:	0.5 - 6 m ³ /h	
Agua total (agregada al sistema)	0,167 – 0,4 Nm ³ /t	
Salida / Nivel de emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Aire residual del calentamiento de combustión		
SO ₂ ⁴	0 – 100 g/t	0 – 80 mg/m ³
NOx ⁴	0 – 100 g/t	0,5 – 700 mg/m ³
Cromo ⁴ (de la zona de tratamiento químico)	0,001 – 0,360 g/t	< 0,08 – 1,7 mg/m ³
Aerosoles ácidos		
Agua residual ⁴	(~0.002) - (~5) m ³ /t	
Total Sólidos en Suspensión	0.04 – 11 g/t	0,2 – 25 mg/l ⁵
COD	5 - 150 g/t	23 – 750 mg/l
Residuos ³ :		
Lodos con aceite	0.004 –0,3 ⁶ kg/t	
Lodos del tratamiento de aguas residuales	0,1 – 1,5 kg/t	
Chatarra planchas ¹	1,5 - 36 kg/t	
Material con contenido de Zn ⁴ (espuma, matas, escorias, polvo)	0 – 4,5 kg/t	
Desechos		

¹ Fuente de los datos [Com-CC-2].

² Fuente [EUROFER CC].

³ Datos de una sola planta, [EUROFER CC].

⁴ Fuente [Estudio CE], incluyendo evacuación sin tratar, extremo más bajo del rango de dispersión de [Com-CC-2].

⁵ Cambio de unidades de mg/m³ a mg/l

⁶ Datos de 3 plantas, se incluyen vertidos de lubricantes e hidráulicos, para su desecho o reciclaje interno.

Tabla B.3-1: Niveles de emisiones y consumos para toda la línea de recubrimiento

B.3.2 Galvanización de acero

B.3.2.1 Decapado de lámina de acero

Los datos de decapado en plantas de laminación en frío también son aplicables para este sector.

Entrada / Nivel de Consumo		
HCl	kg/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas residual ¹ : HCl	0,12 g/t	
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CC].		
¹ Datos de una sola planta		

Tabla B.3-2: Niveles de emisiones y consumos para el decapado

B.3.2.2 Desengrase

Los vapores generados en el desengrase y cepillado se recogen y se lavan con agua o solución de sosa cáustica, o se envían a través de un eliminador de niebla sin lavado.

El agente de desengrase consumido y el agua residual de las operaciones de enjuague y cepillado son enviados al tratamiento de aguas residuales antes de su evacuación. La solución desengrasante se regenera por lo general y se recircula a los baños de desengrase. Los aceites se separan de los baños y se reajusta la composición de la solución alcalina.

En ocasiones, la solución se trata en un centro de separación de emulsiones y luego es tratada biológicamente [Com-CC-2].

El aceite separado de la solución alcalina se utiliza para la producción de calor.

Entrada / Nivel de Consumo		
Agua	0,063 – 0,25 m ³ /t	
Detergentes	< 0,45 kg/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Aire:		
NaOH, (PO ₄) ₂ -	0,05 g/t	
Aceite		
Agua:		
Lodos con aceite Fe ₂ O ₃ , Fe SO ₄	0,18 kg/t	
Nota: Fuente de los datos [Com-CC-2], datos de una sola planta		

Tabla B.3-3: Niveles de emisiones y consumos para el desengrase

B.3.2.3 Tratamiento térmico

Tipo no oxidante (D.F.F.):

Para la combustión se utiliza gas natural y gas de coque, en algunos casos previamente desulfurizado. La llama desnuda de este tipo de horno calienta directamente la superficie de la banda. No es necesario desengrasar la banda, ya que el aceite se quema en el horno. No obstante, se generan emisiones de aire adicionales, aparte de los productos de combustión del combustible, por la combustión del aceite. Los contaminantes emitidos son: CO₂, CO y NO_x. Dado que el horno funciona en condiciones reductoras mediante el uso de gases inertes, el gas contiene asimismo H₂ y N₂.

Si se utiliza gas de coque como combustible, también se generará SO₂, con una concentración que dependerá del contenido de azufre del combustible.

Tipo radiante (R.T.F.):

Dado que no hay contacto entre la llama y la superficie de la banda, las emisiones atmosféricas son sólo generadas por la combustión del gas, y consisten básicamente en CO₂/CO, NO_x y SO₂, si se utiliza gas de coque como combustible.

Entrada / Nivel de Consumo		
Hidrógeno	0,75 – 2,5 Nm³/t	
Nitrógeno	13 - 80 Nm³/t	
NH ₃ (disociado)	0,7 Nm³/t	
Energía		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas residual:		
Horno de tratamiento térmico (R.T.F.) ¹	1,21 – 23,3 g/t	
Monóxido de Carbono (CO)	55,4 - 105 g/t	
Oxidos de nitrógeno (NOx)		
Nota: Fuente de los datos [EUROFER CC], [Com-CC-2],		
¹ Datos de 3 plantas		

Tabla B.3-4: Niveles de emisiones y consumos para el tratamiento térmico

B.3.2.4 Recubrimiento en caliente (galvanización)

En las instalaciones modernas, el baño fundido se calienta mediante un sistema de inducción eléctrica. Las instalaciones antiguas que utilizan fuel oil o gas producen las emisiones típicas (comunes a todos los tipos de combustible): CO₂, CO, NO_x; si se quema fuel oil o gas de coque, también se emite SO₂. Los residuos generados por la galvanización son las salpicaduras del baño y la escoria que se forma en el baño.

Entrada / Nivel de Consumo		
Zinc (metal de recubrimiento) ^a	25 – 48 kg/t	
Energía		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas residual de calentar el baño de zinc: ¹		
CO	5 – 10 g/t	
NOx	20 –40 g/t	
SO ₂ ²	0,2 – 0,5 g/t	
Hidrocarburos	0,1 – 0,2 g/t	
Hollín	0,1 – 0,2 g/t	
Chatarra de las planchas ^a	1,5 – 36 kg/t	
Material con contenido de Zn ^a	0 – 4,5 kg/t	

Nota: Fuente de los datos [ERM95]; a: Fuente de los datos [Com-CC-2].

¹ No aplicable si el calentamiento es eléctrico.

² Cuando se utiliza fuel oil con un 0.3 % de azufre: 110 g NOx /t v 36 gSO₂/t [ERM95]

Tabla B.3-5: Niveles de emisiones y consumos para la galvanización

B.3.2.5 Galvano-recocido

En las instalaciones modernas, la banda se recalienta en un horno de inducción. Cuando el recalentamiento se realiza en hornos convencionales con combustión a gas, se genera un gas residual con una composición que depende del tipo de gas utilizado.

Entrada / Nivel de Consumo		
Energía		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas residual: ¹		
	Monóxido de Carbono (CO)	0,84 g/t
	Oxidos de nitrógeno (NOx)	0,93 g/t
Nota: Fuente de los datos [Com-CC-2].		
¹ Con combustión de aceite, datos de una sola planta		

Tabla B.3-6: Niveles de emisiones y consumos para el galvano-recocido

B.3.2.6 Postratamientos

Engrase

Actualmente, la protección de aceite se aplica principalmente con máquinas de engrase electrostáticas, que producen niveles de emisiones despreciables.

Pasivación

Los datos de emisión de Cr ya se indican en la tabla B.3-1 en la página 254.

Fosfatación

- No se ha facilitado información.

B.3.2.7 Acabado

El método de agua + detergente produce una emulsión de laminador de revenido que, una vez consumida, debe recogerse y enviarse a la planta de tratamiento de aguas. No todas las instalaciones usan emulsiones, algunas utilizan una solución o nada [Com-CC-2].

Entrada / Nivel de Consumo		
Emulsión		
Energía		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Efluentes de la laminación de efecto superficial¹: (previos al tratamiento)		
	SS (filtrables):	30 mg/l
	DQO	60 mg/l
	Suma de hidrocarburos (aceite + grasa)	8.0 mg/l
	Zn total	1 mg/l
Nota: Fuente de los datos [Com-CC-2].		
¹ Datos de una sola planta.		

Tabla B.3-7: Niveles de consumos y emisiones para el acabado

B.3.2.8 Tratamiento de aguas residuales

Se han señalado las siguientes concentraciones para diversos contaminantes de las aguas residuales tras el tratamiento:

Entrada / Nivel de Consumo		
Inhibidores de corrosión parcialmente a base de Zn		
Biocidas: hipoclorito sódico, bromuro sódico		
Agentes floculantes		
Sulfato de aluminio, polímeros		
Salida / Nivel de emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Evacuación de aguas residuales	0,43 ^c m ³ /t	
Agua residual ²		
Sólidos en suspensión ³	0,04 ^c – 2,91 ^b g/t	0.2 – 25 ^c mg/l
Hierro	0,09 – 0,54 ^b g/t	0.01 – 6 ^c mg/l
Níquel	0,04 – 0,004 ^b g/t	0,02 ^c mg/l
Zinc	0.05 - 0.005 ^b g/t	0.02 ^a – 1.23 ^c mg/l
Plomo	0,0084 ^a g/t	0,03 ^a mg/l
Cromo		<0,01–0,43 ^c mg/l
Cr ⁶⁺		0 – 0,02 ^c mg/l
DQO	5 – 150 ^c g/t	23 – 750 ^c mg/l
TOC	0,19 - 8.5 ^b g/t	
Hidrocarburos	0,074 ^a g/t	0,28 ^a – 5 ^c mg/l
Aceite y grasa	0,073 – 2,7 ^b g/t	
Fósforo	0,0008 – 0,07 ^b g/t	0,08 ^a – 10 ^c mg/l
Lodos del tratamiento de agua (material seco)	0,1 – 1,5 kg/t	
Lodos del tratamiento químico (soluciones acuosas y lodos del proceso de cromado, material seco)	0,12 ^c kg/t	Altas concentraciones de Cr y Cr ⁶⁺
Nota: Fuente de los datos a: [Com D], b: [Com-CC-2], c: [EC Study]. ¹ alguno datos son para una sola planta, la base de datos de los rangos incluye cifras de hasta 6 plantas. ² las cifras de emisiones específicas y concentraciones no se refieren necesariamente a la misma planta. ³ [Estudio CE] indica un valor de hasta 11 g/t TSS.		

Tabla B.3-8: Niveles de emisiones y consumos para el tratamiento de aguas residuales

B.3.3 Aluminización de lámina

El proceso de recubrimiento con aluminio produce emisiones a la atmósfera, en concreto productos de combustión de los combustibles de los hornos y subproductos, como escorias. El proceso es muy similar a la galvanización en caliente, con emisiones similares en los principales productos de combustión, aguas de refrigeración y subproductos como la escoria.

Las emisiones típicas del agua son: pH 6,0 – 8,5, Temperatura < 21 °C, caudal 500 m³/día

Consumo eléctrico:	Electricidad	67 kWh/t
	Gas	273 kWh/t
	Agua	0,11 m ³ /t [Com-CC-2].

B.3.4 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño

No se producen emisiones de plomo del baño de terne (temperatura de trabajo 380 - 450 °C), como se ha demostrado en amplios estudios sobre el ambiente en lugares de trabajo [EUROFER CC].

Del calentamiento del metal terne y quizás de los baños de tratamiento, se producen emisiones a la atmósfera (productos de combustión).

Las emisiones del baño de aceite y extractores a la salida del crisol de terne se extraen y se pasan a través de un oxidante catalítico. Este oxida una serie de hidrocarburos con pesos moleculares que van desde 50 a más de 250, y también elimina el olor del vapor. Los vapores de las secciones de limpieza, decapado, niquelado y mordentado pasan a través de un lavador antes de su emisión [ERM95].

Ha habido cierta información de que los baños de aceite (y también los oxidantes catalíticos) ya no se utilizan y que actualmente se utilizan cuchillas de aire para controlar el espesor del recubrimiento [Com-CC-2].

Otras salidas que cabe esperar del proceso son residuos sólidos y subproductos, como agente de mordentado consumido o escorias, así como aguas residuales [EUROFER CC].

Entrada / Nivel de Consumo		
Energía:	Electricidad	2.43 kWh/t
	Gas	1490 MJ/t
Agua		3,0 m ³ /t
Salida / Nivel de emisiones		
	Emisiones específicas	Concentraciones
Evacuación de agua residual: (tras el tratamiento de efluentes)		
Sólidos en suspensión ³	30,0 g/t	
DQO	90,0 g/t	
Cromo	0,028 g/t	
Cr ⁶⁺	n.d.	
Cobre	0,014 g/t	
Plomo	0,155 g/t	
Níquel	0,565 g/t	
Zinc	0,266 g/t	
Hierro	9,86 g/t	
Emisiones a la atmósfera:		
NO ₂	27,58 g/t	
HCl	10,38 g/t	
SOx	despreciable con combustión a gas	
Partículas	despreciable con combustión a gas	
CO ₂	42,0 kg/t	
Residuos:		
Aglomerado filtros (tratamiento efluentes)	7,52 kg/t	
Residuos cáusticos	1,47 kg/t	
Cloruro de zinc	1,96 kg/t	
Cromato	0,73 kgt	
Aceite	0,49 kg/t	
Lodos residuales	10,5 kg/t	

Nota: Fuente de los datos [Com-CC-2], datos de una sola planta.

Tabla B.3-9: Niveles de emisiones y consumos para el recubrimiento con plomo-estaño

Datos disponibles para una planta [UK-5/98]:

	Con cuchillas de aire / lavador húmedo (tras modernización)	Control de enfriamiento y calibre con aceite / oxidante catalítico ('Sistema antiguo')
Emisiones al aire: partículas	< 1 mg/m ³	150 mg/m ³
COV	< 1 mg/m ³	100 mg/m ³
total metales	< 1 mg/m ³	
gases ácidos	30 mg/m ³	
Agua residual: SS	400 mg/l	
DQO	600 mg/l	
Fe	250 mg/l	
Cr	5 mg/l	
Cu	2 mg/l	
Ni	5 mg/l	
Pb	2 mg/l	
Zn	5 mg/l	
pH	6 - 11	
Residuo:	Aglomerado de filtro rico y hierro del tratamiento del efluente, con alto contenido en cloro.	

B.3.5 Recubrimiento en caliente de alambre (galvanización)

B.3.5.1 Decapado en continuo de alambre

El decapado se realiza en HCl parcialmente diluido. El baño de HCl se calienta con un serpentín de vapor o de agua caliente. Se consume agua en forma de agua de enjuague y de lavado, que abandona la instalación en último término como agua residual [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
HCl (expresado como HCl 32%)	10 - 100 kg/t	
Energía para calentar el baño de HCl ¹	no hay cifra disponible	
Agua de lavado/enjuague	0,5 - 5 m ³ /t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
HCl consumido que contiene ² : Total Cl Fe	5 - 100 l/t	150 – 275 g/l 60 – 125 g/l
Agua residual del lavado/enjuague	0.5 - 5 m ³ /t	No hay ninguna cifra representativa
Emisiones del lavador: HCl		0 – 30 mg/m ³

Nota: Fuente de los datos [Com BG], la referencia es el tonelaje de alambre decapado.

¹ A veces el baño se calienta con el calor residual del alambre.

² Otros contaminantes según los pasos anteriores, como residuos de jabón, portador de jabón decapado, Pb.

³ Enormes variaciones.

Tabla B.3-10: Niveles de emisiones y consumos para el decapado de alambre

B.3.5.2 Mordentado

El baño de mordentado se calienta con un serpentín de vapor o de agua caliente. El secado del alambre tras el baño de mordentado puede realizarse en un horno o mediante el calor residual en el horno. A menudo el horno se calienta con el calor residual del gas de escape del baño de zinc [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Sal de mordentado	0,2 – 2,5 kg/t	
Energía para calentar el baño de mordentado	n.d.	
Agua para confección y reposición de pérdidas por evaporación ¹		
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Baño de mordentado consumido	despreciable	

Nota: Fuente de los datos [Com BG].

¹ despreciable en comparación con el consumo de agua de enjuague y enfriamiento.

Tabla B.3-11: Niveles de consumos y emisiones para la mordentado de alambre

B.3.5.3 Recubrimiento en caliente (galvanización)

El baño de zinc se calienta a través de las paredes y del fondo con gas natural u otro combustible. Por el arrastre de trazas de Fe y por oxidación, se forma escoria, que debe eliminarse.

Después del baño de zinc, el alambre se enfría con agua [Com BG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Zinc	15 - 150 kg/t	
Energía para calentar el baño de zinc	n.d.	
Agua de enfriamiento	0,2 - 1 m³/t	
Material de cubierta del baño	n.d.	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Residuos con contenido de zinc (escoria superior e inferior, residuos de la cubierta)	5 - 25 kg/t	
Gas de escape del calentamiento del baño de zinc ¹		
Emisiones del baño de zinc:		0 – 1 mg/m ³
Zn ² Polvo ²		0 – 15 mg/m ³

Nota: Fuente de los datos [Com BG].

¹ Emisiones típicas de un horno con combustión a gas natural (a menos que se utilice otro portador de energía)

² Las instalaciones pequeñas pueden tener mayores concentraciones, ya que en la mayoría de países las instalaciones pequeñas sólo deben cumplir con un límite de flujo de masa [Com-CC-2].

Tabla B.3-12: Niveles de consumos y emisiones para el recubrimiento en caliente de alambre

B.3.5.4 El aspecto del ruido en una planta de producción de alambre

El ruido excesivo en la laminación en caliente es principalmente un aspecto interno de salud laboral, tomándose precauciones normalmente para proteger a los empleados cuando no es practicable prevenir o reducir el ruido en su origen. En algunos casos, según el lugar de emplazamiento del proceso (por ejemplo, cerca de una zona residencial) y las características particulares de la planta (amortiguación del ruido por la nave), puede haber motivo de preocupación exterior.

Las principales fuentes de ruido en el proceso del alambre son:

- Equipos rotativos, como máquinas de trefilar; máquinas de trefilado seco; unidades de recogida y unidades de trefilado en las líneas de recubrimiento.
- Los limpiadores o cepillos de aire que limpian el alambre con aire comprimido pueden emitir un ruido de alta frecuencia.
- Los devanadores de alambrón producen un ruido repetitivo particular.
- Los quemadores de los hornos.

Estas operaciones son normalmente operaciones en continuo y se realizan en el interior de una nave. De este modo, el impacto fuera de la nave queda minimizado, de modo que el ruido generado por estas operaciones es raramente motivo de problema fuera de las instalaciones.

El estudio de casos concretos indica que algunas fuentes de ruido fuera de las naves, como las instalaciones de ventilación o instalaciones auxiliares son a menudo el principal problema en plantas de producción de alambre próximas, por ejemplo, a una zona residencial. Para esta última categoría de fuentes de ruido pueden estudiarse medidas como el cambio de ubicación, el aislamiento o la creación de un recinto local.

B.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO

B.4.1 Galvanización de lámina

B.4.1.1 Consejos generales para toda la planta

B.4.1.1.1 Cubetas y bodegas herméticas al aceite

Descripción:

Para las líneas de galvanización se requieren varias estaciones hidráulicas y equipos lubricados con aceite y grasa. Estas unidades se sitúan normalmente en cubetas o bodegas herméticas al aceite para evitar la penetración de aceite en el suelo en caso de fuga [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Se minimiza el riesgo de contaminar el suelo [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: No [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: Los CI y CO son ambos bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: Requisitos medioambientales [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.1.2 Reciclaje de residuos que contienen aceite

Descripción:

Los residuos que contienen aceite, como el aceite residual recogido en las cubetas y sumideros y los lodos del separador de aceite de las plantas de tratamiento de agua, deben recogerse y almacenarse separadamente de otros residuos. El residuo aceitoso recogido puede usarse como combustible para alto horno (en un proceso integrado) en lugar de desecharlo en vertedero [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción de los residuos [Com-CC-2].
- Aumento del índice de reciclaje de residuos [Com-CC-2].

Aplicabilidad: plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Plantas de referencia: muchas plantas [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: No [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: los CI y CO son ambos medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: requisitos medioambientales [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.2 Decapado de lámina de acero

Las técnicas en la determinación de las MTD para decapado en las plantas de galvanización de chapa son las mismas que para las operaciones de decapado en laminación en frío. Para descripciones y comentarios sobre dichas técnicas, véase Parte A, capítulos A.4.2.1.1, A.4.2.1.4, A.4.2.1.5 a A.4.2.1.10, A.4.2.1.16, A.4.2.1.17, A.4.2.1.22 a A.4.2.1.25.

B.4.1.3 Desengrase

B.4.1.3.1 Uso en cascada (múltiple) de las soluciones desengrasantes

Descripción:

La solución de la sección de desengrase electrolítico se reutiliza en la sección de pulverización, una vez se alcanza un cierto nivel de aceite. La solución desengrasante consumida es enviada para su regeneración. Los residuos de aceite que salen de los dispositivos de regeneración se incineran fuera de la planta, y las aguas de enjuague se tratan en la planta principal de tratamiento de aguas. Las fugas y salpicaduras se recogen y se tratan.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de solución desengrasante (consumo de agua fresca).
- Reducción del agua residual y de los lodos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Líneas nuevas y existentes, siempre que haya espacio disponible [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Aumento del consumo de energía [Com-CC-2].

Plantas de referencia: varias plantas [Com-CC-2].

Datos operativos:

Se requieren 15 m³/h de agua desmineralizada (Para material que precise esta calidad de agua, con una productividad de 68 t/h) [Com-CC-2].

Economía: los costes de inversión son medios, y los costes operativos bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.2 Limpieza y recirculación de los baños desengrasantes

Descripción: para información más detallada, véase Capítulo D.4.3

La solución desengrasante consumida se limpia, por ejemplo en un dispositivo de ultrafiltración o un filtro magnético. Los lodos aceitosos pueden utilizarse como reductor en el alto horno; el baño desengrasante tratado se recicla. La Figura muestra un ejemplo de circuito de solución desengrasante.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de álcalis [Com-CC-2].
- Reducción del volumen de agua y de lodos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes sin problemas de espacio para bombas, tuberías, tanques, etc. [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Aumento del consumo de energía [Com-CC-2].

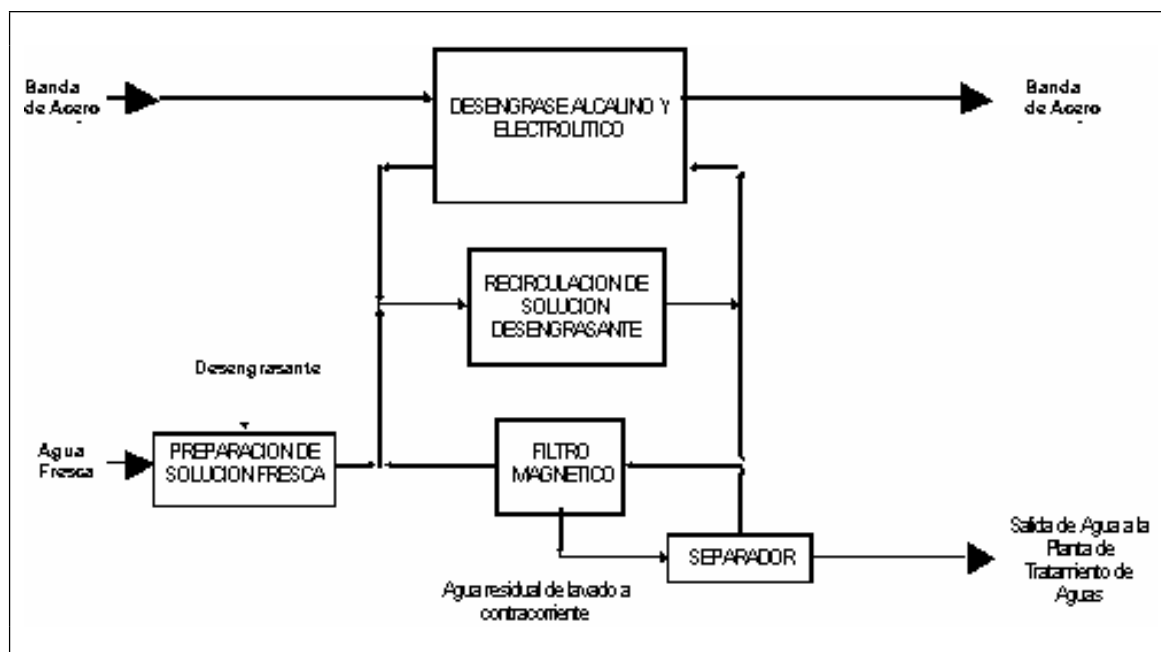


Figura B.4-1: Ejemplo de sistema de reciclaje de solución desengrasante [CC 11/99].

Plantas de referencia: Voest-Alpine líneas 1 y 2, Aceralia línea 2, Galtec 1 y otras [Com-CC-2].

Datos operativos: consumo de agua de 5 m³/h con las mismas consideraciones que antes [Com-CC-2].

Economía: costes de inversión y costes operativos elevados [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: Requisitos medioambientales [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.3 Desengrase por combustión de aceite en el horno de tratamiento térmico

Descripción:

El aceite de la superficie de las bandas se quema en hornos de tratamiento térmico. Se omite el desengrase alcalino.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- No hay emisiones al agua [Com-CC-2].
- No se generan residuos [Com-CC-2].
- Las emisiones a la atmósfera son menores que las generadas en el desengrase alcalino líquido [EUROFER CC].

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes.
- Si los requisitos de limpieza de la superficie y adhesión del zinc no son muy exigentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: Emisiones a la atmósfera por combustión del residuo de aceite [Com-CC-2].

Plantas de referencia: Galtec 1 [Com-CC-2].

Datos operativos:

En algunos casos puede seguir siendo necesario que haya una sección de desengrase antes del horno para

algunas aplicaciones de alta calidad. El horno no es tan fácil de controlar como el horno de tubos radiantes.

Puede haber humos del horno [Com-CC-2].

Economía:

Reducción de los costes de inversión y costes operativos al no haber necesidad de las secciones precedentes [Com E].

Economía de instalación y funcionamiento [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.4 Tratamiento de los baños desengrasantes consumidos

Descripción: véase Capítulo D.4.4.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.5 Tratamiento del agua alcalina residual

Descripción: véase Capítulo D.4.5.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al agua.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.6 Recogida y tratamiento del vapor de desengrase

Descripción:

Los vapores generados por el desengrase se recogen mediante un extractor y son sometidos a un dispositivo de lavado o de eliminación de niebla para su precipitación. Los residuos del lavado son sometidos a tratamiento de aguas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas.
- Reducción de las emisiones de vapores de desengrase.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con dispositivos de desengrase [Com-CC-2].
- Plantas existentes sin problemas de espacio [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Lavador. Consumo de agua (evaporación) y generación de residuos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].
- Eliminador de nieblas: Según la técnica de limpieza empleada, tratamiento del agua o los disolventes de pulverización [Com-CC-2].

Plantas de referencia: varias [Com-CC-2], Jenn An, Taiwan [Danieli].

Datos operativos: 5 m³/h de agua de recirculación (evaporación) para una productividad de 66 t/h [Com-CC-2].

Economía: media [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: condiciones locales o requisitos de las autoridades locales que requieran su aplicación [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.3.7 Uso de rodillos de escurrido

Descripción:

La solución desengrasante o agua de enjuague que queda en la banda de acero es eliminada de la misma por rodillos de escurrido antes de abandonar cada sección de tratamiento. Esto asegura que se minimice el arrastre de solución a la siguiente sección, así como la pérdida de agentes químicos y la contaminación del agua de enjuague [Com-CC-2].

La figura muestra un ejemplo de una sección de pretratamiento químico de una línea de galvanización en caliente de bandas con rodillos de escurrido y enjuague en cascada (para un uso eficiente del agua).

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción del consumo de materias primas [Com-CC-2].
- Reducción del volumen de aguas residuales y lodos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con secciones de desengrase y enjuague [Com-CC-2].

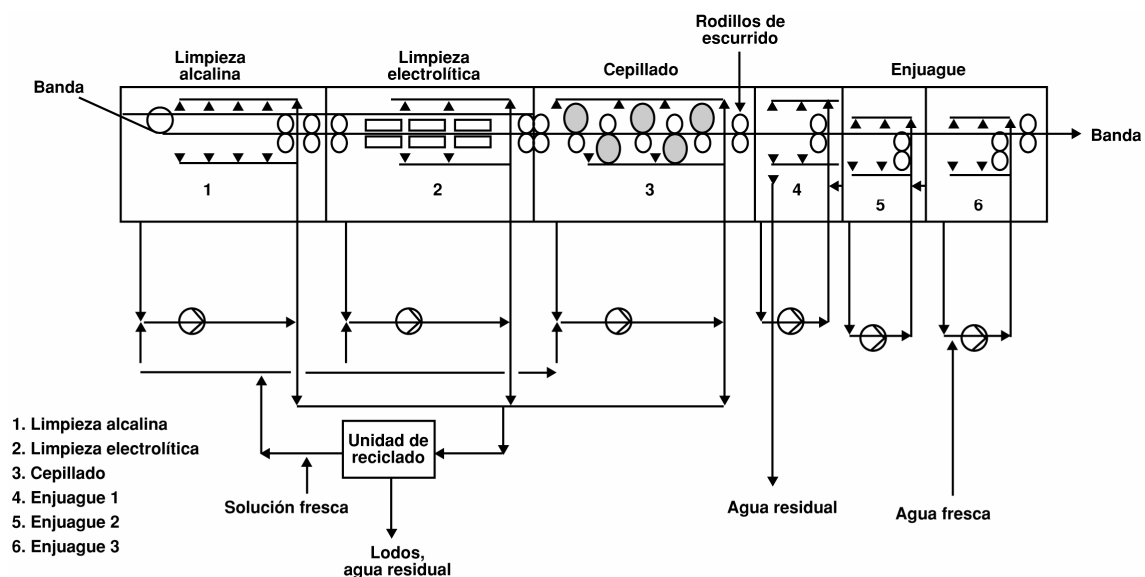


Figura B.4-2: Sección de pretratamiento químico para una línea de recubrimiento en caliente (ejemplo) [CC 11/99].

Efectos sobre otros medios: no [Com-CC-2].

Plantas de referencia: muchas plantas [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: la inversión inicial no es tan elevada y el coste operativo es económico [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.4 Tratamiento térmico

B.4.1.4.1 Quemador de bajo nivel de NO_x

Descripción: véase Capítulo D.2.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones de CO y NO_x [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes, en ocasiones no es posible cuando el gas se precalienta con gas [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Mayor consumo de energía.

Plantas de referencia: Voest-Alpine HDG líneas 1- 2, Aceralia línea 2, Galtec 1 y muchas otras [Com-CC-2].

Datos operativos:

Concentración de NO_x entre 300 - 500 mg/Nm³ y CO entre 10 - 20 mg/m³ [Com-CC-2]; otras fuentes reportan 250 – 400 mg/Nm³ [Com2 A].

Economía: técnica cara de funcionamiento caro (mayor consumo) e inversión [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.4.2 Precalentamiento de aire de combustión con calor recuperado

Descripción: véase Capítulos D.1.1 y D.1.2

El calor de los gases de escape es recuperado por un intercambiador de calor (quemador recuperativo, quemadores recuperativos o recuperadores externos (véase Parte D) y se transfiere parcialmente al aire de combustión [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción del consumo de energía [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes en caso de modernización importante [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Aumento en las emisiones de NO_x [Com-CC-2].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: CI medios, CO bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.4.3 Precalentamiento de la banda con calor de recuperación

Descripción:

Después del circuito de entrada, durante el periodo de soldadura de bandas, la banda pasa a través de una zona de precalentamiento en la que se utiliza el calor residual del gas [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes en modernización general. Depende del calor disponible en los gases [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: CI medios, CO económicos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.4.4 Producción de vapor con calor de recuperación

Descripción: no se ha facilitado descripción ni información técnica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de energía.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes en modernización general. Depende del calor disponible en los gases [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos: aumento del riesgo de corrosión por posible condensación de agua. Para esta técnica es importante la existencia cerca de la instalación de un punto de consumo de vapor.

Economía: CI: altos, CO: medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.4.5 Sistema de calentamiento inductivo

Descripción: no se ha facilitado descripción ni información técnica.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.5 Recubrimiento por inmersión en caliente (galvanización)

B.4.1.5.1 Tratamiento de escorias

Descripción:

En las líneas de galvanización en caliente, más del 10% del zinc metálico consumido aparece como escoria, principalmente Zn y ZnO, encima del baño de zinc molido. Debido al posible efecto adverso sobre la chapa de acero galvanizado, se elimina manualmente. El producto residual derivado puede venderse a fábricas metalúrgicas de zinc o tratarse directamente *in situ* para convertirlo en polvo de zinc, que sólo tiene un 20% del volumen anterior y puede luego venderse a la industria de producción de zinc a un precio más elevado. La Figura B.4-3 muestra un esquema de una planta de recuperación de zinc.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos: Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

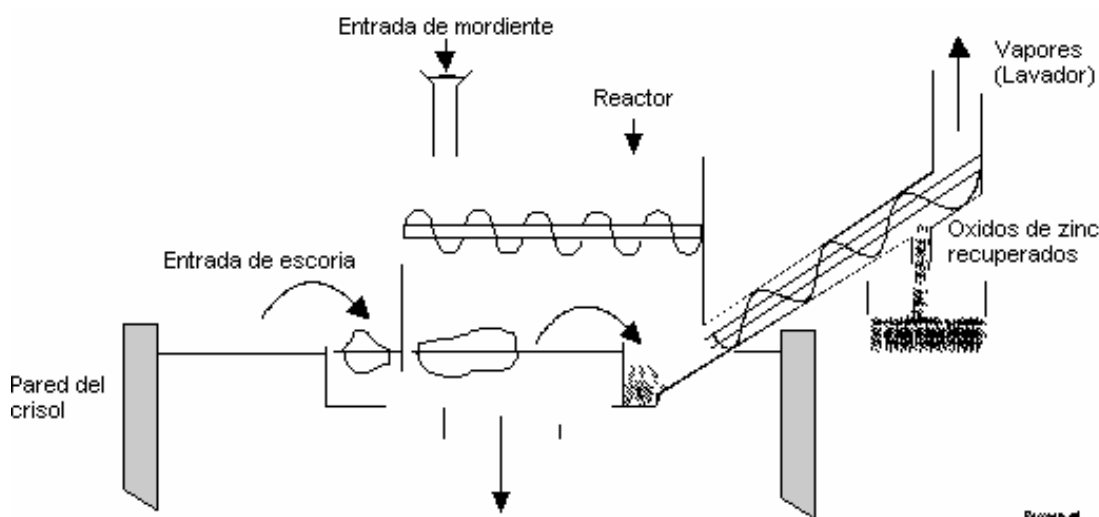


Figura B.4-3: Esquema de un sistema de recuperación de zinc a partir de escoria [DFIU-99].

B.4.1.5.2 Reciclaje externo de la escoria de material de recubrimiento

Descripción:

La escoria de zinc se recoge y se devuelve al proveedor de zinc para el reciclaje del zinc [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción de residuos [Com-CC-2].
- Ahorro de recursos naturales.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: No [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: los CI y OC con ambos bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: medioambientales y económicos [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.6 Galvano-recocido

B.4.1.6.1 Horno eléctrico de inducción

Descripción:

Un horno eléctrico de inducción es una técnica relativamente nueva, que se aplica en el proceso de recubrimiento en caliente. Es posible utilizarlo para el galvano-recocido de la banda recubierta, así como en la etapa de secado del recubrimiento orgánico (si lo hay) en la fase final de acabado. Hablando estrictamente, esta técnica no es nueva (apareció hace unos cinco años). No obstante, sufre una innovación constante, como variaciones de frecuencia y otras.

Esta aplicación podría mejorar el comportamiento medioambiental de los hornos convencionales en el contexto del proceso de recubrimiento en caliente, dado que no hay emisiones de gas en esta fase. El precio de la energía eléctrica no es necesariamente aceptable [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al aire.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.7 Postratamientos

B.4.1.7.1 Cobertura de la máquina de engrase de bandas

Descripción: No se ha facilitado descripción ni información técnica.

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción de las emisiones de vapores de aceite a la atmósfera [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con este dispositivo de engrase de bandas [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Datos operativos:

Economía: los CI son medios y los CO son bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.7.2 Engrase electrostático

Descripción:

Aceite ligeramente caliente (aceite anticorrosión o aceite de estampado profundo) se deposita electrostáticamente sobre la superficie del zinc. La máquina se cubre y el aceite que salpica es recogido y reinyectado [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de aceite.
- Reducción de las emisiones de aceite [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: no [Com-CC-2].

Plantas de referencia: todas las líneas de SIDMAR [Com-CC-2].

Datos operativos: no es posible realizar la protección con lubricante seco [Com-CC-2].

Economía: los costes de inversión son altos, los costes operativos son medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.7.3 Limpieza y reutilización de la solución de fosfatación

Descripción:

La solución de fosfato se filtra mientras es recirculada. Sólo se evacúa una pequeña cantidad de la solución de vez en cuando, y es tratada externamente. El agua residual de la sección de enjuague es también tratada externamente en la planta de tratamiento de aguas. Este tratamiento también puede realizarse externamente [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agentes de fosfatación.
- Reducción de las emisiones de aguas y del volumen de lodos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes si el espacio no es problema en la modernización [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía [Com-CC-2].

Plantas de referencia: Voest-Alpine [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: CI: medios, CO: medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas: Voest-Alpine, documento interno [Com-CC-2].

B.4.1.7.4 Limpieza y reutilización de la solución de cromado

Descripción:

La solución de cromo se filtra mientras es recirculada. La solución consumida se evacua de vez en cuando y se trata externamente en la planta de tratamiento de aguas. Este tratamiento también puede realizarse externamente [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agentes de cromado [Com-CC-2].
- Reducción de las emisiones de aguas y del volumen de lodos en la planta de tratamiento de aguas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Líneas nuevas y modernizadas si no hay problemas de espacio [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía [Com-CC-2].

Plantas de referencia: Voest-Alpine [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: CI: medios, CO: medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas: Voest-Alpine, documento interno [Com-CC-2].

B.4.1.7.5 Cobertura de baños y depósitos

Descripción:

Los depósitos de conservación y los baños de tratamiento químico se cubren (sistema de extracción) para recoger las emisiones de vapores y el aire residual agresivo [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Prevención de emisiones fugitivas de vapores químicos [Com-CC-2].
- Reducción de los volúmenes de aire de escape [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Voest-Alpine líneas 1 y 2, Aceralia línea 2 [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: CI medios, y CO bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.7.6 Uso de rodillos de escurrido

Descripción:

La solución que queda en la banda de acero es eliminada de la misma por rodillos de escurrido antes de abandonar cada sección de tratamiento. Esto asegura que se minimice el arrastre de solución a la siguiente sección, así como la pérdida de agentes químicos [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción del consumo de materias primas [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con proceso de pasivación [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: no [Com-CC-2].

Plantas de referencia: muchas plantas [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: la inversión inicial no es tan elevada y el coste operativo es económico [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.7.7 Uso de osmosis inversa para producir agua desionizada

Descripción:

Para la preparación de las soluciones de tratamiento químico y para enjuague se requiere agua desionizada. Dado que estos filtros precisan reactivos químicos y agua para su regeneración, también producen salmuera de regeneración.

Principales beneficios medioambientales:

- Reducción del consumo de productos químicos y reducción de emisiones elevadas a las aguas naturales.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes si se requiere cambiar la unidad de agua desionizada.

Plantas de referencia: Voest-Alpine líneas 1 y 2

Efectos sobre otros medios: no

Datos operativos:

Economía: los costes de inversión son elevados, pero los costes de operación son medios.

Motivo principal para su puesta en práctica: medioambiental y económico.

Referencias bibliográficas:

B.4.1.8 Acabado

B.4.1.8.1 Recogida y tratamiento de la solución de laminación de efecto superficial / revenido

Descripción:

La solución consumida, que contiene partículas de zinc y compuestos anticorrosión, es enviada a la sección de tratamiento de aguas. El agua puede reciclarse para los mismos o para otros fines. La emulsión consumida generada en el revenido debe ser recogida y enviada para tratamiento del agua [EUROFER CC].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la carga de contaminantes en el agua (95 %) [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes que utilicen laminación de efecto superficial [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios: - no

Plantas de referencia: Galtec, Aceralia línea 2, Voest-Alpine HDG 1 y 2 [Com-CC-2].

Datos operativos:

Economía: los costes de inversión son elevados y los costes operativos son medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Requisitos medioambientales y económicos, aumento de la productividad y requisitos de calidad [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.9 Tratamiento de aguas residuales

Generalmente, las plantas de tratamiento de aguas no tratan sólo el agua de las plantas de recubrimiento, sino también los efluentes generados en las instalaciones de laminación. Normalmente, estas plantas se componen de tres circuitos distintos: línea de **agua crómica**, línea de **agua con aceite** y línea de **agua residual general**.

B.4.1.9.1 Línea de agua crómica

Descripción:

La función de este circuito es eliminar los iones de cromo existente en el agua, principalmente el Cr(VI) debido a su alta toxicidad, y el Cr(III). En la planta de tratamiento, el Cr(VI) se reduce a Cr(III) con bisulfito sódico o cloruro férrico; el último es preferible debido a que las condiciones de reacción son mucho más suaves por lo que respecta al pH, ya que la reacción con bisulfito requiere un pH mucho más bajo, lo que comporta un mayor consumo de ácido [EUROFER CC].

Se produce la siguiente reacción: $\text{Cr}^{6+} + 3 \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Cr}^{3+} + 3 \text{Fe}^{3+}$

En la fase siguiente, el Cr^{3+} precipita debido al aumento del pH obtenido mediante la adición de cal apagada: $\text{Cr}^{3+} + 3 \text{OH}^- \longrightarrow 3 \text{Cr(OH)}_3$

El hidróxido férrico precipita simultáneamente con el hidróxido crómico. El precipitado obtenido se separa en un decantador, se inactiva con lechada de cal y posteriormente se hace pasar a través de una prensa filtrante. También es posible su tratamiento con un polímero para conseguir su floculación [EUROFER CC], [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de cromo con el efluente.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.9.2 Circuito de agua con aceite

Descripción:

Los efluentes acuosos de las instalaciones en las que se desengrasan las bandas antes del proceso de recubrimiento son transferidos a un tanque de neutralización; la neutralización se realiza mediante adición de ácido hidrociorhídrico. En caso de que se halle disponible agua residual ácida de otros pasos de proceso (ej: agua residual de enjuague) que no pueda recircularse, puede usarse para neutralización [Weigel]. Después de este paso, los efluentes pasan a un tanque de homogeneización y, posteriormente, a un sección de coagulación y floculación [EUROFER CC].

La coagulación se consigue mediante la adición de cloruro férrico y ácido clorhídrico, y floculación mediante tratamiento con polímeros como policloruro de aluminio y otros tipos de polielectrolitos [EUROFER CC].

Desde el tanque de floculación, el efluente pasa a un tanque de flotación en el que se separan tres fases:

- a) Lechadas floculadas con aceite
- b) Lechadas de sedimentación
- c) Agua, para reciclar

Las lechadas floculadas con aceite flotan en forma de espuma, mediante la inyección de agua presurizada a través del fondo del aeroflotador. El aire absorbido por el agua se libera con la despresurización, formando pequeñas burbujas que se adhieren a la lechada floculada con aceite, lo que hace que flote en forma de espuma, que es eliminada posteriormente mediante un mecanismo adecuado [EUROFER CC].

Otra Opción / Tratamiento de la Solución Desengrasante Consumida

La emulsión básica podría también tratarse en una planta central. Primero se realiza una separación en tres fases por gravedad. La fase superior se trata en un centro de recuperación de aceite. La fase media se trata en un centro de emulsiones. La fase inferior consiste en lodos y se trata por separado. Mediante ultrafiltración, las emulsiones se separan en agua y aceite. La fase acuosa se trata en una planta biológica convencional para reducir la DQO [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la emisión de aceite con el efluente.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: los costes de inversión son muy elevados, los costes operativos son altos, pero su eficacia medioambiental es muy alta [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: Requisitos medioambientales [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.9.3 Circuito de agua residual general

Descripción:

El proceso de tratamiento del agua residual consiste en una floculación con filtración subsiguiente y enfriamiento. Con el fin de mejorar la eliminación de aceite y partículas sólidas, se agrega una pequeña cantidad de agente coagulante y polielectrolito para producir una microfloculación.

El agua y los flóculos son enviados a una batería de filtros de dos capas, de arena y antracita, que retienen las partículas formadas. El agua filtrada es transferida a torres de refrigeración y las lechadas retenidas en los filtros son eliminadas y se hacen pasar a través de una prensa filtrante para su reciclaje posterior. [EUROFER CC].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de contaminantes en el efluente.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Sustancia	Concentración mg/l ¹⁾	Tipo de muestreo	Mediciones en 1998 Operador/Autoridad Comp.
Fe	1,5	Muestra aleatoria cualificada	28/5
Aceite	0,2	Muestra aleatoria cualificada	28/5
Sólidos en suspensión	10	Muestra aleatoria cualificada	28/5
Cr	< 0.006	Muestra aleatoria cualificada	28/5
Ni	0,01	Muestra aleatoria cualificada	28/5
Zn	0,04	Muestra aleatoria cualificada	28/5

Nota: Fuente de los datos: Senator für Bau und Umwelt, Bremen. Planta: BREGAL, en Bremen.
¹⁾ Valores medios de las muestras aleatorias cualificadas de 1998. Volumen de agua residual: 135549 m³

Tabla B.4-1: Concentraciones de contaminantes en las evacuaciones de agua del tratamiento de aguas residuales de la galvanización
[Com2 D].

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.1.10 Sistemas de refrigeración por agua

B.4.1.10.1 Circuito cerrado de refrigeración por agua

Descripción: Véase Capítulo D.9.2.

Sistemas de refrigeración por agua independientes y cerrados, con reenfriamiento del agua mediante torres de evaporación e intercambiadores de calor de platos.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Ahorro de recursos naturales [Com-CC-2].
- Reducción del consumo de energía [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes en caso de modernización general [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: CI: altos, CO: bajos [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica: Los aspectos específicos de cada planta rigen la elección del sistema de refrigeración y su aplicabilidad en las plantas existentes [Com-CC-2].

Referencias bibliográficas:

B.4.1.10.2 Reutilización del agua de refrigeración

Descripción:

Diseño de un circuito de agua para reaprovechar las aguas de refrigeración en este proceso o para otro fin [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales:

- Ahorro de recursos naturales [Com-CC-2].
- Reducción del consumo de energía [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes [Com-CC-2].

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Muchas plantas [Com-CC-2].

Datos operativos:

El índice de reciclaje del agua de refrigeración puede ser fácilmente superior al 90 % [Com-CC-2].

Economía: CI: altos, CO: medios [Com-CC-2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.2 Aluminización y recubrimiento con plomo-estaño (Terne)

Las técnicas a considerar en la determinación de las MTD son básicamente las mismas que para la galvanización, cuando se aplican los mismos pasos de proceso (ej: decapado, pasivación, etc.). A continuación se detallan algunas medidas adicionales para el recubrimiento con plomo-estaño (terne).

B.4.2.1 Niquelado

Descripción:

La instalación de niquelado se ubica en un recinto cerrado y el aire extraído pasa por un lavador húmedo [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, especialmente de las emisiones fugitivas.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.2.2 Recubrimiento por inmersión en caliente

B.4.2.2.1 Cuchillas de aire para control del espesor

Descripción:

Para controlar el espesor de recubrimiento se utilizan cuchillas de aire que realizan una acción de barrido para eliminar el exceso de plomo de la superficie de las bandas [Com-CC-2].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- No hay emisión de COVs o hidrocarburos a la atmósfera (al igual que en el baño de aceite) [Com-CC-2].
- No se genera aceite residual [Com-CC-2].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: British Steel, Brierley Hill, UK

Datos operativos:

- Reducción de los COVs desde 150 mg/m^3 a $< 1 \text{ mg/m}^3$ [UK 5/98].
- No es necesario un incinerador para destruir las emisiones [Com-CC-2].

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3 Recubrimiento en caliente de alambre (galvanización)

B.4.3.1 Decapado en continuo de alambre

B.4.3.1.1 Cobertura de los baños de decapado / Tratamiento del Aire Extraído

Descripción:

El baño de ácido debe estar equipado con una campana o cubierta, y mantenerse bajo ligera presión, o estar en un recinto de características comparables. El aire extraído puede tratarse por lavado con agua con lavadores rellenos o de platos [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas del decapado (vapores y aerosoles ácidos).
- Reducción del vapor y los aerosoles ácidos mediante el lavado.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes, especialmente si se usa HCl concentrado y caliente.
- También aplicable a líneas continuas de recocido y temple patenting con limpieza en línea con HCl.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

La mayoría de instalaciones con decapado en continuo que operan a una temperatura elevada o alta están equipadas con un lavador [CET-BAT].

Datos operativos:

Los límites de emisión típicos (concentración) son: < 20 a < 30 mg HCl por Nm^3 . Esto puede conseguirse con un lavador que opere con agua (no se necesita NaOH) [CET-BAT].

Los lavadores de platos consiguen niveles de < 30 mg HCl/ Nm^3 . Tienen un bajo consumo de agua y por consiguiente una cantidad limitada de agua residual. En algunas aplicaciones (ej: elevado consumo de ácido, elevada temperatura del ácido), es posible la reutilización completa del agua residual del lavador para la dilución del ácido fresco [Com BG2].

Los lavadores rellenos consiguen niveles de < 20 mg/ Nm^3 , pero con un mayor consumo de agua que los de platos, lo que produce una mayor cantidad de agua residual [Com BG2].

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.1.2 Decapado en cascada

Descripción:

El decapado en cascada se realiza en dos o más baños en serie. El ácido fluye (continua o discontinuamente) a contracorriente de un baño al siguiente. Esto permite conseguir un uso muy eficiente del ácido al tiempo que se mantiene una buena calidad de decapado. De este modo puede conseguirse una mayor conversión del ácido en sales metálicas, lo que reduce el consumo de ácido [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del ácido consumido (residuo).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- Para las plantas existentes, el espacio disponible puede ser un factor limitante.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Para el decapado en cascada se requiere un tanque de decapado adicional, no es suficiente dividir un tanque de decapado existente en 2 secciones. Requiere una nave bastante grande (espacio adicional) con suelo a prueba de ácidos, compartimento secundario y un sistema de bombeo adicional. Según la aplicación también pueden ser necesarios una cubierta adicional, un sistema de extracción y un lavador para la cascada adicional [Com BG2].

El coste adicional depende en gran medida de la capacidad de la línea. Estimación: 0,2 – 0,5 millones de euros [Com BG2].

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.1.3 Recuperación de ácido clorhídrico por evaporación

Descripción: véase Capítulo D.5.9.2

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco, reducción de la producción de ácido fresco (recursos, energía).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Para el HCl, la **evaporación** de HCl es técnicamente factible pero raramente se usa debido a las importantes costes de inversión y de energía.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

B.4.3.1.4 Recuperación de la Fracción de ácido libre

Descripción: Véase Capítulo D.5.9.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del ácido consumido (residuo).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.1.5 Regeneración (externa) del ácido consumido

Descripción: Véase Capítulo D.5.10

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos ácidos.

Aplicabilidad:

- Las plantas de regeneración requieren una capacidad mínima, una cantidad mínima de ácido consumido a tratar, que está bastante lejos del ácido consumido generado en una sola planta de alambre.
- La industria del alambre depende de contratistas externos para el reciclaje del ácido consumido.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.1.6 Reutilización del ácido consumido como materia prima secundaria

Descripción:

La industria química utiliza el ácido consumido como materia prima secundaria para la producción de FeCl_3 y, en menor grado, para pigmentos. La posibilidad de reciclar el ácido consumido para la producción de valiosos productos químicos está disponible en muchas regiones de Europa. Algunos contratistas imponen o tienen que imponer límites estrictos para algunas impurezas metálicas en los ácidos consumidos. Algunos contratistas han desarrollado y patentado recientemente procesos especiales para eliminar por ejemplo el Zn o el Pb de algunos tipos de ácidos consumidos [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos ácidos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.1.7 Procedimiento de enjuague optimizado y enjuague en cascada

Descripción:

El enjuague en cascada a contracorriente en combinación con medidas como la minimización del arrastre de materias con un dispositivo de limpieza apropiado (cuchilla de aire, tampón, barra de escurrido, etc.), el control continuo de la calidad del agua de enjuague, el uso de agua recuperada o la reutilización de agua de enjuague en otra aplicación.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de agua, menores costes de tratamiento de aguas [Com BG2].
- Reduce el arrastre de iones de Fe al baño de mordentado (aumenta la vida útil de los baños de mordentado, reduce la transferencia de Fe al baño de zinc).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- Para las plantas existentes, el espacio disponible puede ser un factor limitante.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.2 Mordentado

B.4.3.2.1 Buen mantenimiento del baño

Descripción:

Una concentración excesiva de Fe en el baño de mordentado causa el arrastre de Fe al baño de zinc. Cada kg de Fe que entra en el baño de zinc causa la pérdida de 25 - 30 kg de Zn por la formación de escoria. Por consiguiente, el contenido de hierro debe mantenerse a un nivel bajo (ej: mediante un enjuague y barrido suficiente en el paso de enjuague) y controlarse cuidadosamente [CET-BAT].

El baño de mordentado no debe rebosar; la renovación del agua residual de los baños de mordentado debe estar limitada a una o varias veces al año por motivos de mantenimiento y limpieza. Esto puede conseguirse fácilmente minimizando el arrastre de agua de enjuague. De este modo, se evita el paso de amoníaco al agua de tratamiento. (Nota: El amoníaco no se elimina mediante el típico tratamiento fisicoquímico del agua existente en las plantas de alambre) [CET-BAT].

El consumo de mordiente puede optimizarse mediante una preparación correcta del alambre, mediante un control frecuente de la concentración de sales de mordentado en el baño, etc. Dado que es mucho más fácil aplicar continuamente la cantidad exacta de agente mordiente en un alambre que en una pieza compleja, la concentración y consumo de agente mordiente son mucho más bajos en la galvanización de alambre que en la galvanización en discontinuo (general). Debido a ello, puede evitarse la formación excesiva de polvo y vapores de mordentado en una línea de galvanización bien mantenida, ya que es posible conseguir bajas emisiones de polvo y metales sin el uso de filtros [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Aumento de la vida útil del baño de mordentado.
- Reducción de los residuos (escoria) y emisiones en el siguiente paso de galvanización.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.2.2 Regeneración de los baños de mordentado (*in situ*)

Descripción:

Mediante el arrastre del agua de enjuague al baño de mordentado y la corrosión del alambre, se lleva Fe(II) al baño de mordentado. El Fe(II) es convertido a Fe(III) mediante su oxidación por el oxígeno absorbido del aire ambiente. El Fe(III) precipita como Fe(OH)₃. Tras varias semanas o meses, se detiene la línea y se deja sedimentar el Fe(OH)₃. El lodo resultante se desecha; la fase líquida se devuelve al baño de mordentado.

Si la oxidación por el aire ambiente es insuficiente, puede reducirse el arrastre de Fe(II) (véase B.4.3.1.7) o pueden usarse otros métodos de oxidación (H₂O₂, véase D.7.1.1 u oxidación electrolítica, véase D.7.1.2).

Si la acumulación de Fe(OH)₃ es demasiado rápida para ser controlada con paradas ocasionales de la línea, el lodo puede separarse en un tanque sedimentador.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de la cantidad de baño de mordentado consumido.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos y Economía:

El objetivo es reducir la cantidad de agente de mordentado a un nivel muy bajo o a ser posible eliminar la producción de agente mordiente consumido. Muchas plantas de producción de alambre consiguen esta prevención (minimizando el arrastre de Fe(II)) en lugar de invertir en equipo de regeneración. Una comparación entre baños de mordentado en una planta típica de galvanización en discontinuo y en una planta de galvanización de alambre indica que el arrastre de Fe(II) por m² de superficie a galvanizar en una planta de producción de alambre es del orden de un 2 - 5 % del valor registrado en una planta de galvanización en discontinuo. En los casos en los que la cantidad de mordiente consumido puede mantenerse muy baja minimizando el arrastre, la inversión en una unidad de regeneración puede no estar justificada.

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.2.3 Regeneración de los baños de mordentado consumidos (externamente)

Descripción:

Los baños de mordentado consumidos son enviados externamente, normalmente a fabricantes de agentes de mordentado, para su reciclaje. Las sales de la solución de mordentado pueden usarse para la producción de mordiente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Th. Goldschmidt, Alemania

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.2.4 Cobertura del baño de mordentado

Una solución de mordentado (solución acuosa caliente de una mezcla de ZnCl₂, NH₄Cl y posiblemente otras sales) emite sólo vapor de agua.

El baño de mordentado puede cubrirse con una campana o cubierta. Esto puede presentar ventajas en términos de minimización de las pérdidas de calor, cuando se calienta el baño [CET-BAT].

Los baños de mordentado cubiertos no han sido considerados como MTD dado que el vapor que escapa del baño no es realmente peligroso y las ventajas medioambientales son demasiado pequeñas en comparación con los costes [Com2 B].

B.4.3.3 Recubrimiento en caliente (galvanización)

B.4.3.3.1 Baño de zinc: buen mantenimiento

Descripción:

Los métodos de mantenimiento más importantes son:

- Mantener una capa protectora (material particulado) o una cubierta en el baño de zinc. Esto minimiza la pérdida de zinc por oxidación, minimiza la formación de vapores de mordentado y reduce drásticamente las pérdidas de energía del baño de zinc.
- Toda la humedad arrastrada al baño de zinc se evapora de forma explosiva. Esta causa de polvo de zinc puede eliminarse haciendo que el alambre esté seco a la entrada del baño de zinc [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Con buenos métodos de mantenimiento, es perfectamente posible operar un baño de galvanización en caliente con emisiones muy bajas de Zn y polvo (menos de 5 mg/Nm³ de Zn y de 10 mg/Nm³ de polvo) [CET-BAT].

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.3.2 Captura de emisiones y tratamiento del aire extraído

Descripción:

Cuando por uno u otro motivo un buen mantenimiento no es suficiente para conseguir bajos niveles de emisiones de Zn y polvo, puede instalarse una campana o cubierta sobre el baño de Zn, con extracción de aire e incorporación de un filtro [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.3.3 Agente de mordentado con bajo nivel de humo

Descripción:

En los agentes de mordentado con bajo nivel de humo, el cloruro amónico es sustituido parcialmente por otros cloruros alcalinos (como cloruro potásico).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones al aire.
- Reducción del zinc duro.

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.3.4 Almacenamiento de los residuos con contenido de zinc

Descripción:

Los residuos con zinc se originan en el baño de zinc (escoria superior e inferior, cubiertas de desecho). Estos residuos deben almacenarse separadamente y a resguardo de la lluvia y el viento. La industria del alambre depende de subcontratistas para el desecho final y el reciclaje de estos residuos. Normalmente, los residuos que contienen zinc son reciclados por la industria no férrea (Fabricas metalúrgicas de zinc) [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.4.3.3.5 Agua de refrigeración tras el baño de zinc

Descripción:

El agua de refrigeración puede utilizarse en circuito cerrado, con una torre de refrigeración húmeda, un refrigerador por aire o un dispositivo similar. Dado que la calidad de este agua es muy alta, puede considerarse dar una segunda función a los caudales que salgan de este circuito.

Cualquier agua residual de este circuito de refrigeración debe tratarse de modo que la contaminación (principalmente Zn disuelto) sea eliminada de forma satisfactoria antes de su evacuación [CET-BAT].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal para su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

B.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LAS LÍNEAS DE RECUBRIMIENTO EN CONTINUO

Para la comprensión de este capítulo y de su contenido, se llama la atención del lector al prefacio de este documento, y en particular a su sección quinta: “Cómo entender y usar este documento”. Las técnicas y niveles de emisiones y consumos asociados, o los rangos de niveles, han sido evaluados a través de un proceso iterativo que comporta los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves de las líneas de recubrimiento en continuo. Entre los temas más importantes están las emisiones ácidas a la atmósfera; las emisiones atmosféricas de los hornos; el consumo de energía de los hornos; los residuos que contienen zinc y las aguas residuales que contienen aceite y cromo.
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estos temas clave.
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, sobre la base de los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo.
- Examen de las condiciones en las que se consiguen estos niveles de comportamiento, como costes, efectos sobre otros medios o razones principales de la puesta en práctica de estas técnicas.
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en un sentido general, todo ello de acuerdo con el Artículo 2(11) y el Anexo IV de la Directiva.

La evaluación experta por parte de la Oficina Europea de IPPC y el Grupo Técnico de Trabajo relevante ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y el modo en que se aquí presenta la información.

Sobre la base de estas técnicas de evaluación, y en la medida de lo posible, en este capítulo se presentan niveles de emisiones y consumos, asociados con el uso de las mejores técnicas disponibles, que se consideran apropiados para el sector en su conjunto y en muchos casos reflejan el funcionamiento real de algunas instalaciones del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo “asociados con las mejores técnicas disponibles”, debe entenderse que ello significa que tales niveles representan el comportamiento medioambiental que podría preverse como resultado de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el equilibrio de costes y ventajas inherente a la definición de las MTD. No obstante, no son valores límite de consumo o emisión ni deben entenderse como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible conseguir mejores niveles de emisiones o consumos, pero debido a los costes involucrados o consideración de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como mejor técnica disponible para el sector en su conjunto. No obstante, tales niveles pueden ser considerados justificados en casos más específicos en los que existan motivos especiales de puesta en práctica.

Los niveles de emisiones y consumos asociados con el uso de las MTD deben ser contemplados en el contexto de con las condiciones de referencia que se especifiquen (ej: periodos de promedio).

El concepto de “niveles asociados con las MTD” arriba descrito debe distinguirse del término “nivel obtenible” utilizado en otros lugares de este documento. Cuando un nivel se describe como “obtenible” usando una técnica particular o una combinación de técnicas, esto debe entenderse que significa que puede esperarse conseguir el nivel a lo largo de un periodo de tiempo sustancial en una instalación o proceso bien mantenido y gestionado mediante tales técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se facilitan datos relativos a costes junto con las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Estos dan una indicación aproximada de la magnitud de los costes involucrados. No obstante, el coste real de la aplicación de una técnica dependerá mucho de la situación específica relativa, por ejemplo, a los impuestos, tasas y características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar con detalle estos factores específicos de cada centro de producción. En ausencia de datos relativos a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen a partir de observaciones de las instalaciones existentes.

La intención es que las MTD generales de este capítulo sean un punto de referencia en relación al cual se juzgue el comportamiento presente de una instalación o se estudie una propuesta de una nueva instalación. De este modo servirán de ayuda en la determinación de las condiciones apropiadas “basadas en las MTD” para la instalación, o en el establecimiento de reglamentos de aplicación general conforme al Artículo 9(8). Esta previsto que las nuevas instalaciones puedan diseñarse para tener un comportamiento igual o incluso mejor que los niveles generales para las MTD aquí presentados. También se considera que las instalaciones existentes podrían acercarse a los niveles generales para las MTD o incluso mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no establecen normas de cumplimiento legal, tiene por finalidad facilitar información que sirva de referencia a la industria, los Estados Miembros y el público acerca de los niveles obtenibles de emisiones y consumo al utilizar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en consideración los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

Este capítulo discute las MTD para reducir el impacto medioambiental de la conformación en caliente y en frío. Cuando es posible, la estructura sigue la lógica de la línea de producción e identifica las MTD para las fases de proceso individuales. No obstante, algunas medidas, especialmente las medidas primarias o preventivas, no pueden ser asignadas a un solo paso de proceso y deben asignarse a la planta en su conjunto. En la medida de lo posible y cuando lo permiten los datos disponibles, se facilitan niveles de emisiones, eficacias o índices de recirculación como indicación de la mejora que cabe esperar con la aplicación de las técnicas. Para una serie de técnicas, el efecto positivo obvio no puede describirse mediante una cifra exacta, pero algunas de dichas técnicas se consideran no obstante como MTD.

A menos que se indique lo contrario, las cifras de emisiones presentadas en los siguientes capítulos sobre MTD son valores diarios medios. Para las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 101.3 kPa y gas seco.

Las evacuaciones al agua se indican como valor diario medio de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo de 24 horas, o de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo del tiempo de funcionamiento real (para las plantas que no trabajan en tres turnos).

B.5.1 Galvanización de lámina

Para las mejores técnicas disponibles para decapado, véase el capítulo sobre MTD de la Parte A / Plantas de Laminación en Frío.

Para las operaciones de **desengrase** en plantas de galvanización en continuo, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Desengrase en cascada.
- Limpieza y recirculación de la solución desengrasante: medidas apropiadas para limpiar como los métodos mecánicos y la filtración con membranas, según se describe en el Capítulo A.4.
- Tratamiento de la emulsión desengrasante consumida mediante separación electrolítica de emulsiones para reducir el contenido en aceite; la fracción de aceite separada debe reutilizarse, por ejemplo térmicamente; la fracción de agua separada requiere tratamiento (neutralización, etc.).
- Tanques cubiertos con extracción y limpieza del aire extraído mediante lavadores o eliminadores de niebla.
- Uso de rodillos de escurrido para minimizar el arrastre de materias.

Las MTD para la reducción de emisiones y del consumo de energía de los **hornos de tratamiento térmico** se consideran las siguientes:

- Quemadores de bajo nivel de NOx de 250 - 400 mg/Nm³ para NOx (3 % O₂) sin precalentamiento de aire y 100 - 200 mg/Nm³ para CO.
- Precalentamiento del aire de combustión mediante quemadores regenerativos o recuperativos.
No se facilitaron datos sobre concentraciones de NOx en conexión con el precalentamiento de aire, pero las cifras facilitadas para los hornos de recalentar pueden servir como indicación. La limitación de la temperatura de precalentamiento puede contemplarse como una medida de reducción de NOx. No obstante, las ventajas de una reducción del consumo de energía y las reducciones en SO₂, CO₂ y CO deben ponderarse frente a la desventaja de un posible aumento de las emisiones de NOx.

o bien

- Precalentamiento de la banda.
- Producción de vapor para recuperar calor del gas.

El baño de **recubrimiento en caliente** de zinc es una fuente de residuos con contenido en zinc, escorias o zinc duro. La MTD para estos residuos es su recogida por separado y reciclaje externo en la industria de metales no férreos.

En instalaciones donde se realice **galvano-recocido**, las MTD para reducir las emisiones y el consumo de energía son:

- Quemadores de bajo nivel de NOx de 250 - 400 mg/Nm³ para NOx (3 % O₂) sin precalentamiento de aire.
- Sistemas de quemadores regenerativos o recuperativos.
- No se facilitaron datos sobre concentraciones de NOx en conexión con el precalentamiento de aire, pero las cifras facilitadas para los hornos de recalentar pueden servir como indicación. La limitación de la temperatura de precalentamiento puede contemplarse como una medida de reducción de NOx. No obstante, las ventajas de una reducción del consumo de energía y las reducciones en SO₂, CO₂ y CO deben ponderarse frente a la desventaja de un posible aumento de las emisiones de NOx.

Los postratamientos del acero como el engrase, la fosfatación y el cromado se realizan como protección. En el **engrase** se generan vapores de aceite, que pueden reducirse mediante:

- La cobertura de la banda de engrase de bandas.
- o bien
- El engrase electrostático.

El impacto medioambiental del **fosfatado** y de la **pasivación/cromado** pueden reducirse mediante las siguientes MTD:

- Cobertura de los baños de proceso.
- Limpieza y reutilización de la solución de fosfatación.
- Limpieza y reutilización de la solución de pasivación.
- Uso de rodillos de escurrido.
- Recogida de solución de laminación de efecto superficial/revenido y tratamiento en planta de tratamiento de aguas.

Para la **refrigeración** (máquinas, etc.), los sistemas de refrigeración independientes funcionando en circuito cerrado se consideran la MTD.

En la galvanización de bandas, se producen **aguas residuales** de las secciones de tratamiento químico y de las operaciones de enjuague. También se generan aguas residuales del enfriamiento de las bandas, que está contaminada por polvo de abrasión, y de los pulverizadores de agua que se utilizan para mantener limpios los rodillos de trabajo en el laminador de efecto superficial, y que está contaminada por polvo de abrasión que contiene zinc y por aceite lubricante. Estos caudales de aguas residuales requieren tratamiento mediante una combinación de sedimentación, filtración y/o flotación/precipitación/floculación. Las técnicas descritas en el Capítulo 4 o combinaciones igualmente eficaces de medidas de tratamiento individuales (descritas asimismo en la parte D) se consideran como MTD.

Las concentraciones asociadas de contaminantes en el efluente son:

SS: < 20 mg/l
 Fe: < 10 mg/l
 Zn: < 2 mg/l
 Ni: < 0.2 mg/l
 Cr_{tot}: < 0.2 mg/l
 Pb: < 0.5 mg/l
 Sn: < 2 mg/l

En algunas de las plantas continuas de tratamiento de aguas existentes, un nivel de zinc de < 4 mg/l es todo lo que puede conseguirse. En estos casos, la mejor opción es cambiar al tratamiento discontinuo.

B.5.2 Aluminización de láminas

La mayoría de MTD son las mimas que para la galvanización en caliente. No obstante, no hay necesidad de planta de tratamiento de aguas residuales, ya que sólo se evacua agua de refrigeración.

MTD para calentamiento:

Combustión a gas. Sistema de control de combustión.

B.5.3 Recubrimiento de láminas con plomo-estaño

Las mejores técnicas disponibles para recubrimiento con plomo-estaño son:

- Los **tanques de decapado** deben estar cubiertos y con extracción de aire a un lavador con torre de relleno, con control del pH. Los niveles de emisión de HCl alcanzados están bien por debajo de 30 mg/Nm³. El agua residual de la torre y del tanque deben luego pasar a través de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- El proceso de **niquelado** debe estar cubierto, con ventilación a un lavador húmedo.
- Para el **recubrimiento por inmersión en caliente**, las cuchillas de aire para controlar el espesor de recubrimiento se consideran como MTD, ya que no producen emisiones.
- Para la **pasivación**, la MTD es un sistema sin enjuague y por lo tanto que no haya agua de enjuague del sistema que requieran tratamiento. Si se requiere un secador, éste debe ser un horno con combustión a gas. Así no se producen efluentes.
- **Engrase** mediante una máquina electrostática.
- Para tratar los efluentes de proceso, como ácidos del decapado o aguas residuales del lavado, se requiere una planta de tratamiento de aguas. La MTD disponible para este tipo de proceso es solución de hidróxido sódico, agregada en un proceso de neutralización en dos fases con control de la velocidad de dosificación. Luego se agrega un floculante para facilitar la sedimentación de los sólidos precipitados en un tanque de sedimentación. La solución limpia es evacuada entonces desde el tanque al alcantarillado, a un río, etc. El aglomerado de filtración se pasa luego por una prensa filtrante y se desecha en vertedero. El establecimiento de una ruta de reciclaje sería la MTD, pero hasta la fecha no se ha encontrado una ruta para este material.

B.5.4 Recubrimiento de alambre

Para la reducción de las emisiones a la atmósfera del **decapado en continuo**, se considera como MTD los equipos cubiertos equipados con campanas extractoras e lavado del aire extraído. El nivel de emisión asociado con la MTD es de 2 - 30 mg/Nm³.

Para la reducción del consumo de ácido en las líneas de decapado, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Decapado en cascada para las nuevas instalaciones por encima de una cierta capacidad. Para líneas pequeñas, la inversión adicional en un segundo tanque, conductos y equipo de control de proceso no está justificada. Se propone una capacidad mínima de 5.000 toneladas/año por línea.
- La conversión de las líneas existentes con un solo baño a decapado en cascada es cara. El coste es probablemente demasiado elevado en comparación con las ventajas.
- Recuperación de la fracción de ácido libre.
- Regeneración externa del ácido consumido para todas las instalaciones.
- Reutilización del ácido consumido como materia prima secundaria.

Para la reducción del consumo de agua, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Enjuague en cascada, en combinación con otros métodos para minimizar el consumo de agua, para todas las instalaciones nuevas e instalaciones grandes (> 15.000 toneladas/año).

- Para líneas de menor tamaño, la mayoría de instalaciones nuevas incluyen enjuague en cascada, posiblemente en combinación con otros métodos para minimizar el consumo de agua de enjuague. En las líneas menores existentes, las opciones son a menudo limitadas, ya que añadir cascadas de enjuague adicionales puede ser imposible debido a limitaciones de espacio.

Para el resto de agua de desecho se requiere tratamiento de aguas residuales. La MTD para el tratamiento de aguas residuales de una planta de producción de alambre consistente en una línea de recubrimiento en caliente y procesos asociados, es el tratamiento fisicoquímico (neutralización, floculación, etc.). Las concentraciones asociadas de contaminantes en el efluente son:

SS: < 20 mg/l
 Fe: < 10 mg/l
 Zn: < 2 mg/l
 Ni: < 0.2 mg/l
 Cr_{tot}: < 0.2 mg/l
 Pb: < 0.5 mg/l
 Sn: < 2 mg/l [Com BG3].

Para reducir los residuos y la solución mordiente residual, las siguientes técnicas se consideran como MTS para **operaciones de mordentado**:

- Un buen mantenimiento con énfasis especial en la reducción del arrastre del hierro y el mantenimiento de los baños.
- Regeneración de los baños de mordentado *in situ* (eliminación de hierro con corriente lateral).
- Reutilización externa de la solución de mordentado consumida.

Básicamente, las buenas medidas de mantenimiento descritas en el Capítulo B.4 se consideran asimismo como MTD para **recubrimiento en caliente**. Los niveles de emisiones asociados con estas MTD son: polvo < 10 mg/Nm³ y Zn < 5 mg/Nm³. Además, la recogida de todos los residuos que contengan zinc, su almacenamiento separado a resguardo de la lluvia y el viento, y su reutilización en la industria de metales no férreos se consideran como MTD.

Si se necesita **agua de refrigeración** tras el baño de zinc, un circuito cerrado o la reutilización de esta agua de bastante pureza como agua de confección para otras aplicaciones se considera como MTD.

B.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA CONFORMACIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

B.6.1 Recubrimiento de chapa

B.6.1.1 Recubridores de rodillo

Se trata de rodillos para la aplicación de recubrimientos orgánicos o pinturas que actualmente están sustituyendo al tratamiento de superficie por cromado. Si es compatible con la alta velocidad del galvanizado, esta aplicación mejora notablemente el comportamiento medioambiental en la fase de acabado, ya que no hay efluentes con productos crómicos [Com-CC-2].

B.6.1.2 Deposición en fase vapor al vacío

Este método de recubrimiento es un proceso físico para depositar metal evaporado sobre el metal base al vacío (< 50 Pa). El vapor metálico se produce principalmente por uno de los dos procesos siguientes: calentamiento resistivo y bombardeo con haz de electrones.

Nisshing Steel Company y Mitsubishi Heavy Industry Company desarrollaron en Japón una línea de producción con deposición en fase vapor de zinc, y se han estado produciendo productos comerciales desde 1987. Esta línea de producción funciona con un sistema de calentamiento resistivo.

El proceso de producción es el siguiente: horno de pretratamiento, rodillo sellador, cámara de recubrimiento y baño de evaporación. En la línea de producción, el sistema de horno reductor de la línea de galvanización se adopta como proceso de tratamiento preliminar [Com-CC-2].

Deposición Física en Fase Vapor (DFV)

Estrictamente hablando, el proceso arriba indicado pertenece a esta categoría. Actualmente se están investigando distintos procesos derivados de la DFV.

El proceso de DFV puede usarse para la deposición de recubrimientos cerámicos puros (así como de metales y aleaciones). Al menos uno de los componentes se evapora físicamente desde su estado sólido dentro de la cámara de vacío. En los procesos más avanzados, la muestra a recubrir se convierte en el cátodo en una descarga incandescente del metal evaporado y de especies atómicas de gases. Así, por ejemplo, puede evaporarse titanio en nitrógeno para producir nitruro de titanio. La ventaja de esta ionización que produce la descarga incandescente es que la especie de deposición con carga positiva se acelera contra la superficie y llega a ella con gran energía, produciendo un depósito denso y bien adherido. Asimismo, al aplicarse energía en la superficie, donde se requiere, el proceso puede realizarse a temperaturas del sustrato bruto relativamente bajas ($< 500^{\circ}\text{C}$). De este modo pueden recubrirse materiales como acero rápido templado y aceros para herramientas de trabajo en caliente con películas cerámicas puras sin ablandarse. Existen varios modos de producir el evaporante metálico, como pistolas de haz de electrones, fuentes de deposición electrónica y fuentes de arco. El proceso de DFV es muy flexible, permitiendo la deposición de virtualmente cualquier material sobre cualquier otro.

Este método se ha diversificado mucho según el proceso empleado para producir el vapor, pero la mayoría de variantes están todavía en fase de experimentación [Com-CC-2].

B.6.1.3 Pasivación con productos sin Cr

Los productos de pasivación sin Cr están siendo estudiados con el fin de cambiar su composición. Los resultados de estos estudios han abierto la posibilidad de un cambio futuro en la composición de las soluciones pasivantes. El comportamiento de las alternativas ha sido bueno para su uso como imprimación (capa previa a un recubrimiento orgánico), pero no tan bueno para protección definitiva [Com-CC-2].

B.6.1.4 Cuchillas de aire de perfil variable

Esta técnica consiste en un dispositivo con varias láminas metálicas con un sistema de calentamiento independiente. Estas pueden cambiar el hueco de las cuchillas de aire mediante un diferencial de temperatura en cada parte de las cuchillas de aire, con lo que el perfil de recubrimiento se controla mejor. Esta técnica produce una reducción del consumo de material de recubrimiento, una mejora de la calidad del espesor de la capa metálica y también un aumento de la productividad [Com-CC-2].

B.6.1.5 Aplicación de la lógica difusa para el control de las cuchillas de aire

Con un software de Artificial Neural Networks (ANN), el calibre de espesor envía información al control del hueco de las cuchillas de aire para optimizar el recubrimiento. El conjunto está diseñado como un sistema inteligente que aprende de su experiencia anterior. Esta técnica produce una reducción del consumo del material de recubrimiento y mejora la calidad del espesor de la película metálica y una mejora del rendimiento. Es el equivalente a una mejora en la eficiencia energética [Com-CC-2].

B.6.1.6 Eliminación del rodillo de crisol (catenaria)

Cuando la banda sale del conducto, si fuera posible un control estricto de la catenaria trazada por la banda, el rodillo de crisol podría evitarse.

Eliminación del rodillo superior (cojín de aire)

Tras el baño, la banda sube a la zona de enfriamiento. En la primera fase, es aconsejable evitar el contacto de la banda en cualquier lugar con otros dispositivos, ya que la temperatura de recubrimiento es todavía demasiado alta y la superficie podría marcarse fácilmente. Este sistema consiste en un cojín de aire en la parte superior al inicio de la zona de enfriamiento con este fin. De este modo puede conseguirse un aumento de la calidad y la productividad de la línea, [Com-CC-2].

B.6.1.7 Crisol sin núcleo

Se trata de un crisol que es un sistema de inyección en sí mismo.

B.6.1.8 Enfriamiento por micropulverización de agua en la torre de refrigeración

Con este dispositivo, podemos reducir el tamaño de la torre de refrigeración. Esto implica una reducción de las partes mecánicas, rodillos, etc.. Del mismo modo, hay una reducción de las probabilidades de que se produzcan marcas, fugas de aceite, etc.

B.6.2 Recubrimiento de alambre

B.6.2.1 Limpieza por ultrasonidos

Para eliminar las manchas del acero al carbono con un decapado excesivo; las manchas son producidas por una capa de partículas finas de compuestos de carbono, lo produce el rechazo del alambre y el aumento de residuos.

B.6.2.1.2 Limpieza combinada por electrólisis y ultrasonidos para descascarillado

Esta técnica emerge como alternativa al decapado con ácido. Utiliza soluciones acuosas neutras de sulfato sódico, cloruro sódico y tripolifosfato sódico, con electrólisis anódica o catódica con corriente continua o con inversión periódica de la corriente.

B.7 OBSERVACIONES FINALES

Esta sección de conclusiones y recomendaciones se divide en varios epígrafes: cronología de los trabajos, fuentes de información, disponibilidad y calidad de los datos, consenso entre los expertos del Grupo de Trabajo Técnico y recomendaciones para futuros trabajos.

Cronología de los trabajos

Se ha tardado dos años y medio en redactar el presente documento técnico de referencia, habiéndose cumplido las siguientes etapas principales:

- Primera reunión del grupo de trabajo (reunión de partida): 11-12.12.97
- Presentación de informes por el grupo de trabajo:
 - Capítulo 2: febrero-octubre de 1998
 - Capítulo 3: abril-octubre de 1998
 - Capítulo 4: julio-octubre de 1998
- Primer borrador: diciembre de 1998
- Primera ronda de consultas: 16.12.98-12.2.99
- Evaluación de los comentarios y nueva redacción: mayo-julio de 1999
(respuesta a los comentarios, aclaraciones y peticiones de información adicional)
- Presentación de informes complementarios: septiembre-noviembre de 1999
- Segundo borrador: diciembre de 1999
- Segunda ronda de consultas: 17.12.99-17.02.00
- Segunda reunión del grupo de trabajo: 22-24.03.00
- Presentación de informes sobre cuestiones controvertidas surgidas durante la segunda reunión del grupo de trabajo: 28.03.00 19.07.00
- Consultas sobre los “nuevos” capítulos: 21.07.00-18.08.00
- (revisión de los capítulos 5, capítulo 7 sobre Conclusiones y Recomendaciones, Resumen General, capítulo 4 sobre técnicas de RCS y RNCS)
- Borrador definitivo.

Fuentes de información

Se han presentado 65 informes sobre los diversos aspectos del sector de transformación de metales ferrosos. Estos informes contienen informaciones de muy diferente naturaleza (datos estadísticos, descripciones de tecnologías de producción, información sobre medidas de carácter medioambiental, incluidos estudios de casos prácticos y datos de emisiones y consumos). Se han preparado desde distintos puntos de vista y casi todos ellos se centran en aspectos medioambientales concretos. Sólo algunos tienen carácter general.

Durante el periodo de elaboración del documento de referencia sobre las MTD para este sector, ciertos grupos industriales de laminación en frío, laminación en caliente y galvanización en continuo, así como la Asociación Europea de Galvanización General (EGGA), facilitaron informes y documentos relativos tanto a las técnicas de producción que se aplican en sus ámbitos de actividad como a determinadas medidas medioambientales. Alemania presentó un informe titulado “MTD en la Industria Alemana de Transformación de Metales Féreos”.

Estos informes son esenciales para la calidad del presente documento, pero su utilidad puede quedar comprometida si no se reciben al principio del proceso. El retraso en la presentación de información crucial, especialmente sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, ha causado retrasos en la elaboración de los borradores de este documento.

Mejores técnicas disponibles

Se han establecido las MTD para los tres subsectores de la industria de transformación de metales ferrosos y para cada una de sus fases de producción. Los tres capítulos 5 contienen descripciones detalladas con información de contexto y, en su caso, la justificación para su elección como MTD y para los niveles de emisión asociados. El resumen general comprende todas las conclusiones al respecto.

Grado de consenso

La parte A de este documento de referencia señala ciertas discrepancias en las opiniones. El grupo de trabajo técnico no ha podido llegar a un acuerdo en tres aspectos:

- Niveles de polvo asociados con las MTD para la aplicación de filtros de tejido o precipitadores electrostáticos,
- Técnicas de RCS y RNCS para la reducción de NOx en los hornos de recalentamiento,
- Contenido de azufre en el fuel-oil.

Con respecto a las emisiones de polvo, el grupo de trabajo acordó que la captura y los filtros textiles son MTD, pero con dos puntos de vista diferentes en cuanto a lo que se puede conseguir con los filtros de tejido. Los representantes del sector proponían, de acuerdo con su experiencia y conocimientos de los niveles de polvo emitidos, un nivel de 20 mg/Nm³. Algunos Estados Miembros y ONG ecologistas creían que el nivel adecuado era de 5 mg/Nm³, pero las cifras disponibles eran muy escasas y no se presentaron datos que apoyasen esta opinión para la mayoría de las aplicaciones (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

La información sobre las técnicas RCS y RNCS en los hornos de recalentamiento se recibió en una de las últimas fases del trabajo, durante y después de la segunda reunión del grupo de trabajo técnico. Algunos miembros del grupo de trabajo creían que estas técnicas eran MTD, mientras otros consideraban que la información disponible sobre sus detalles técnicos y económicos no era suficiente para poder tomar una decisión final al respecto. Como esta controversia surgió prácticamente al final del proceso, no hubo tiempo para resolver las cuestiones pendientes (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

Otro punto de desacuerdo fue la limitación del contenido de azufre en el fuel-oil. Aunque una concentración inferior al 1% puede producir emisiones de hasta 1.700 mg de SO₂ /Nm³, algunos miembros del grupo de trabajo creían que debía considerarse MTD. Otros pensaban que era necesario aplicar un límite de azufre inferior o medidas adicionales de reducción del SO₂.

Las partes B y C de este documento disfrutaban de un alto grado de consenso. No se registraron discrepancias. Todos los participantes en el proceso de intercambio de información consideran que el resultado es aceptable.

Recomendaciones para futuros trabajos

Una de las carencias que tiene este documento es la falta de información sobre los resultados obtenidos con las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, especialmente niveles de emisión y consumo y datos económicos. En futuras revisiones, todos los miembros del grupo de trabajo y partes interesadas deben recopilar y proporcionar estos datos cuanto antes.

En bastantes casos, no se dispone de información alguna o tan sólo de una descripción de la técnica. No hay apenas información sobre instalaciones de referencia ni datos reales de aplicación. De cara a la revisión de este documento, deberán resolverse estas carencias. A continuación se enumeran algunas de las técnicas en cuestión:

Parte A:

- Bombas de agua optimizadas para flujos laminares.
- Instalación de cascadas para baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Aprovechamiento del calor para calentar el baño de desengrase.
- Engrase electrostático.
- Optimización de la pulverización de aceite.
- Optimización de la operación de acabado.
- Limpieza y reutilización de la emulsión de desbaste.
- Sistema de extracción (PRETEX/SBT).
- Aprovechamiento externo de la solución de decapado ácido consumida.

Parte C:

- Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.
- Captura y tratamiento de las emisiones procedentes de las operaciones de acabado de tubos.

Parte D:

- Instalación de cascadas para baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Adsorción de surfactantes y aceites (precipitación y filtración).
- Decapado electrolítico.
- Tratamiento de las aguas de lavado por intercambio iónico, eliminación electrolítica del hierro, ósmosis inversa, eliminación del hierro por oxidación.

En los capítulos 6 se presentan varias técnicas nuevas. Deberá valorarse la posibilidad de trasladar estas técnicas al capítulo 4 sobre técnicas a considerar en la determinación de las MTD o al capítulo 5 sobre mejores técnicas disponibles, en función de su evolución e idoneidad para su aplicación en el sector de transformación de metales férreos.

Se ha criticado que algunas técnicas se hayan presentado de forma excesivamente positiva, debido a que la información disponible procede sobre todo de los proveedores, y que sólo se han destacado sus ventajas. Esta crítica afecta principalmente a los procesos de recuperación y regeneración de los baños de tratamiento consumidos, por ejemplo, las soluciones de decapado consumidas o los baños de mordentado o de desengrase consumidos. En estos casos se solicita al sector que facilite información sobre los resultados de determinadas técnicas, junto con explicaciones de los problemas que hayan podido experimentar.

Hace falta disponer de más datos de emisiones y consumos con carácter general, pero en particular de las emisiones de NOx (concentraciones y emisiones específicas) que generan los hornos que utilizan aire de precalentamiento y los que no. Con este tipo de datos sería posible evaluar la eficiencia de las medidas de reducción de forma más minuciosa y comparar las ventajas y desventajas del ahorro de energía frente a las emisiones de NOx.

Es necesario obtener más información sobre los niveles de emisión de polvo que se registran en las diversas fases de producción de laminación en frío y en caliente (parte A), caso en el que hubo que consignar una discrepancia en el documento de referencia. En especial, las partes que defienden el nivel de 5 mg/Nm³ deben intentar obtener datos que apoyen su punto de vista.

Se ha apuntado la probabilidad de que aumente el número de instalaciones que aplican la técnica de RCS (hornos de empuje). A la hora de revisar el presente documento, deberá disponerse de más información sobre el rendimiento y aplicabilidad de las técnicas de RCS y RNCS en los hornos de recalentar. Las instalaciones que ya aplican estas técnicas dispondrán de un largo historial de servicio, lo cual permitirá responder a la crítica de que se ha trabajado con información correspondiente a un período de explotación demasiado corto. Es posible que el desacuerdo sobre si estas técnicas son MTD pueda resolverse entonces.

Durante la segunda reunión del grupo de trabajo, se planteó la cuestión de que el calentamiento inductivo era la MTD para varias aplicaciones en los hornos. En este documento de referencia, se ha incluido como técnica a considerar, pero se ha señalado que la información disponible no es suficiente para decidir al respecto. Será necesario recopilar más información para poder tomar esta decisión.

Otra cuestión fue el contenido de dioxinas en el polvo generado por el proceso de galvanización discontinua y el posible riesgo de acumulación de las primeras durante el reciclaje de este último. Será necesario seguir trabajando para recopilar datos reales en condiciones de funcionamiento normal de la instalación. Los datos disponibles deberán facilitarse a la Oficina de IPPC y al Grupo de Trabajo Técnico para que puedan opinar al respecto y evaluar los riesgos.

Se recomienda realizar una revisión del presente documento de referencia para el año 2005.

PARTE C
Galvanización general

Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de procesos de metales férreos

C.1 INFORMACION GENERAL SOBRE LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO	311
C.2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO	313
C.2.1 Visión general de la galvanización en discontinuo en caliente.....	313
C.2.2 Manipulación de las materias primas.....	315
C.2.3 Preparación del material de entrada	315
C.2.4 Desengrase	315
C.2.5 Decapado.....	316
C.2.6 Descincado	316
C.2.7 Enjuague	316
C.2.8 Mordentado	317
C.2.9 Inmersión en zin.....	318
C.2.10 Acabado	319
C.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMOS Y EMISIONES PARA LÍNEAS DE GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO	321
C.3.1 Desengrase	322
C.3.2 Decapado.....	323
C.3.3 Descincado	324
C.3.4 Mordentado	326
C.3.5 Enjuague I + II	326
C.3.6 Inmersión en zinc fundido.....	326
C.3.7 Acabado	327
C.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO	329
C.4.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.....	329
C.4.2 Desengrase	329
C.4.3 Decapado y descincado	332
C.4.4 Enjuague	345
C.4.5 Mordentado	347
C.4.6 Inmersión en zinc fundido.....	352
C.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO.....	361
C.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO.....	365
C.7 OBSERVACIONES FINALES	367

Lista de figuras

Figura C.2-1: Secuencia típica de procesos para una planta de galvanización en discontinuo.....	313
Figura C.2-2: Principio de la galvanización de tubos.....	314
Figura C.3-1: Diagrama de flujo para las plantas de galvanización en discontinuo	321
Figura C.4-1: Diagrama de flujo para desengrase biológico (ejemplo CAMEX).....	332
Figura C.4-2: Diagrama de flujo del decapado activado.....	335
Figura C.4-3: Ejemplo de diagrama de flujo para la recuperación de HCl por evaporación en una planta de galvanización.	337
Figura C.4-4: Balance de materia para recuperación por evaporación (ejemplo).....	337
Figura C.4-5: Esquema del proceso de extracción con disolvente	340
Figura C.4-6: Diagrama de flujo para la eliminación de zinc de los baños de decapado.....	343
Figura C.4-7: Enjuague en cascada instalado en una planta de galvanización.....	346
Figura C.4-8: Cerramiento estacionario	353
Figura C.4-9: Cerramiento móvil con movimiento vertical de sus paredes laterales móviles	353
Figura C.4-10: Extracción periférica bilateral con sistemas auxiliares	355

Lista de tablas

Tabla C.1-1: Distribución de las plantas de galvanización en la UE	311
Tabla C.1-2: Segmentación del mercado del Acero Galvanizado.....	311
Tabla C.3-1: Consumos y emisiones de las actividades de desengrase.....	323
Tabla C.3-2: Composiciones de los baños de decapado consumidos.....	323
Tabla C.3-3: Consumo y emisiones del decapado.....	324
Tabla C.3-4: Composición de los baños de descincado consumidos	324
Tabla C.3-5: Consumos y emisiones del descincado	325
Tabla C.3-6: Consumos y emisiones del mordentado	326
Tabla C.3-7: Consumos y emisiones en el baño de zinc	327
Tabla C.4-1: Producciones/consumos específicos y costes/ahorros para un sistema de regeneración de mordiente.....	350
Tabla C.4-2: Resumen de ahorros y costes.....	350
Tabla C.4-3: Concentraciones en las emisiones de los baños de galvanización	354
Tabla C.4-4: Concentraciones en las emisiones de los baños de galvanización.	354
Tabla C.4-5: Ejemplos de emisiones desde un baño de galvanización	355
Tabla C.4-6: Comparación de emisiones de los agentes de mordentado normales y con bajo nivel de humo.....	356

C.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO

La galvanización general es una industria de servicio, que ofrece la aplicación de recubrimientos de zinc para la protección de la corrosión a los fabricantes de acero o a los usuarios de productos fabricados de acero. El sector trabaja con plazos de entrega cortos y pedidos flexibles para dar un mejor servicio a los clientes. Los aspectos de la distribución son importantes, por lo que las plantas se localizan cerca de las concentraciones de los mercados. En consecuencia, la industria está compuesta por un número relativamente grande de plantas que sirven a mercados regionales con el fin de minimizar los costes de distribución y aumentar la eficiencia económica. Sólo unos cuantos productores especializados están dispuestos a transportar ciertas clases de productos a distancias más largas con objeto de aprovechar su mayor grado de especialización o las posibilidades de su fábrica. Las oportunidades para estas empresas especializadas son reducidas. Unas 600 plantas de galvanización con más de 30000 empleados se hallan distribuidas en la UE, como muestra la Tabla C.1-1.

Estado miembro	Número de plantas en 1997	Acero galvanizado [t/a]
Austria	17	132.916
Bélgica	22	263.268
Dinamarca	17	122.500
Finlandia	19	73.360
Francia	69	690.105
Alemania	185	1.428.610
Grecia	4	n.d.
Italia	74	810.716
Luxemburgo	1	n.d.
Holanda	21	242.717
Portugal	9	42.368
España	35	314.509
Suecia	34	120.000
Reino Unido (+ Irlanda)	88	738.928
Total:	595	4.979.997

Nota: Fuente de los datos [EGGA/98], [EGGA/99]

Tabla C.1-1: Distribución de las plantas de galvanización en la UE

El consumo de zinc en la industria de galvanización de la UE (Grecia y Luxemburgo exclusive) en 1997 fue de 381188 t. Los principales países en cuanto a galvanización son Alemania con un 27,5% de la producción, Italia con un 15,6 %, Reino Unido/Irlanda con un 14,2 % y Francia con un 13,3 % [EGGA/99].

En años recientes, el mercado para el acero galvanizado ha experimentado un crecimiento mayor al registrado anteriormente. La cuota del total del mercado para los distintos sectores se muestra en la Tabla C.1-2.

Sector	Tonelaje [t]	Porcentaje [%]
Construcción	2.022.886	39,0
Infraestructuras y autopistas	832.634	16,1
Transmisión de energía	531.042	10,2
Agricultura	524.586	10,1
Transporte	308.786	6,0
Fijaciones	254.056	4,9
Otros	712.264	13,7
Total	5.186.254	100,0

Nota: Fuente de los datos [EGGA/99]

Tabla C.1-2: Segmentación del mercado del Acero Galvanizado

La facturación del sector se estima en 1800 millones de euros al año. Las capacidades de las unidades operativas más económicas están relacionadas con el tamaño de los fabricados de acero a tratar y con la demanda en el mercado accesible. La mayoría de compañías del sector son pequeñas y medianas empresas financiadas por capital privado. Su integración en la industria de producción de zinc o de acero es muy improbable. Alrededor de la mitad de la capacidad europea está en manos de empresarios que poseen una o dos plantas. En algunos Estados Miembros han aparecido compañías grandes, que tienen hasta 20 plantas. Aun así, los activos de estas empresas están ampliamente diseminados para poder servir a mercados regionales, y las oportunidades de concentración de la capacidad productiva son limitadas [EGGA5/98].

En general, el sector disfruta de un éxito económico razonable, aunque ocasionalmente se ve sometido a presiones de precios debido al exceso de capacidad de algunos mercados y variaciones en el precio del zinc. El proceso de galvanización en caliente produce residuos y subproductos con contenido de zinc como cenizas de zinc y matas. Estas son recicladas como materia prima a la industria secundaria del zinc, para la recuperación del valioso contenido en zinc. Los caudales acuosos con contenido de zinc son tratados in situ para la extracción de metales antes de desechar el caudal acuoso, o son retirados por parte de contratistas especializados para su ulterior tratamiento de recuperación [EGGA5/98].

C.2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO

C.2.1 Visión general de la galvanización en caliente en discontinuo

La galvanización en caliente en discontinuo es un proceso de protección anticorrosión por el que los productos de hierro y acero son protegidos contra la corrosión aplicándoles un recubrimiento de zinc. En la galvanización general en caliente en discontinuo predomina la galvanización por encargo – también denominada galvanización general – en la que se tratan gran variedad de materiales para distintos clientes. El tamaño, la cantidad y la naturaleza del material de entrada pueden variar significativamente. La galvanización de conductos o tubos, que se realiza en plantas de galvanización semi o totalmente automatizadas, no está normalmente englobada dentro del término de galvanización por encargo.

Los artículos a recubrir en las plantas de galvanización en discontinuo son fabricaciones de acero, como clavos, tornillos y otros artículos pequeños; rejas de celosía, piezas de construcción, componentes estructurales, postes ligeros y muchos otros. En ocasiones, los tubos también se galvanizan en plantas convencionales de galvanización en discontinuo. El acero galvanizado se emplea en construcción, transporte, agricultura, transmisión de energía y en cualquier aplicación en la que una buena protección contra la corrosión y una larga vida útil sean esenciales [EGGA5/98].

La Figura C.2-1 muestra la secuencia de operaciones en la galvanización en discontinuo, que normalmente se compone de los siguientes pasos de proceso:

- Desengrase.
- Decapado.
- Mordentado (baño de sales).
- Galvanización (recubrimiento con metal fundido).
- Repasado.

Una planta de galvanización consiste esencialmente en una serie de baños de tratamiento o proceso. El acero pasa de unos tanques a otros y se sumerge en los baños con la ayuda de grúas.

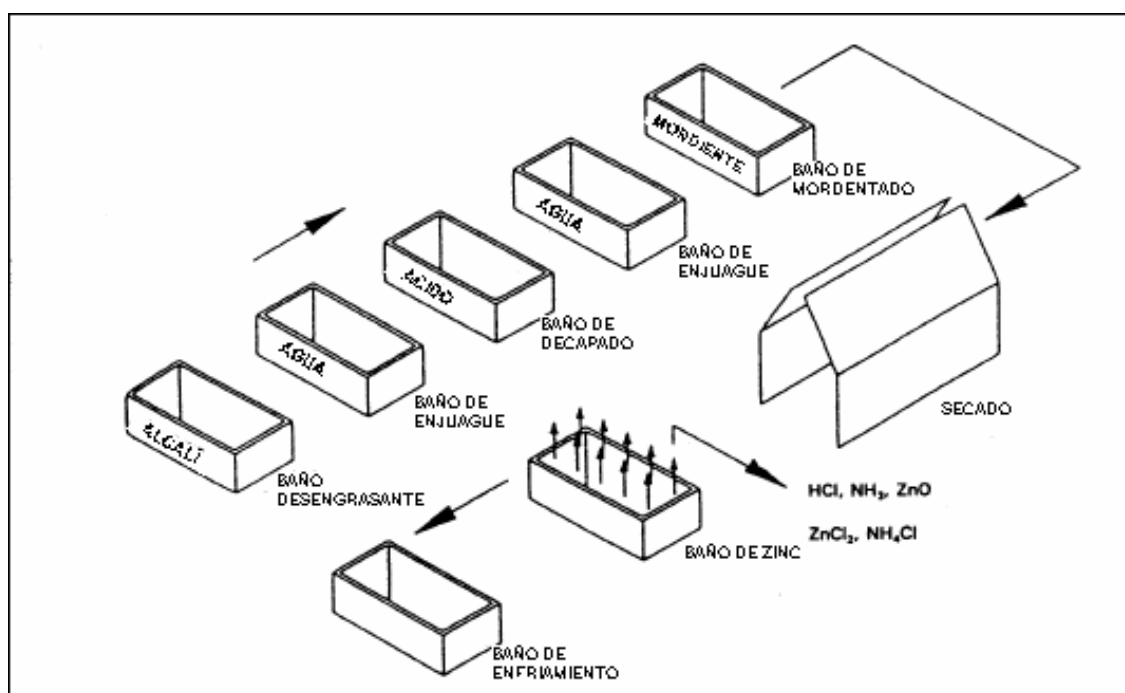


Figura C.2-1: Secuencia típica de procesos para una planta de galvanización en discontinuo. [Galva94-1].

Existen dos esquemas básicos de planta, que se distinguen por el diseño de la sección de pretratamiento.

Las plantas de galvanización con tratamiento preliminar abierto sitúan las cubas de pretratamiento y los demás procesos en una misma nave. En estos casos, los baños de decapado se utilizan a temperatura ambiente para evitar las emisiones al aire (vapores ácidos) y la corrosión asociada de las instalaciones.

Las plantas de galvanización con secciones de tratamiento preliminar especializadas en recintos cerrados están diseñadas para utilizar los baños de decapado a temperaturas elevadas y reducir así el número de cubas y el tiempo de decapado. Los vapores generados por las cubas de ácido se recogen y en algunos casos son limpiados con dispositivos de precipitación apropiados.

Para algunas aplicaciones especiales, el baño de galvanización puede operar a temperatura elevada, utilizando crisoles con revestimiento cerámico en lugar de crisoles de acero; esta variación del proceso se denomina 'galvanización a alta temperatura'.

Las instalaciones para la galvanización de tubos representan un tipo especial de planta de galvanización, en la que los tubos se recubren de forma casi continua. La manipulación de los tubos en estas plantas está parcial o totalmente automatizada.

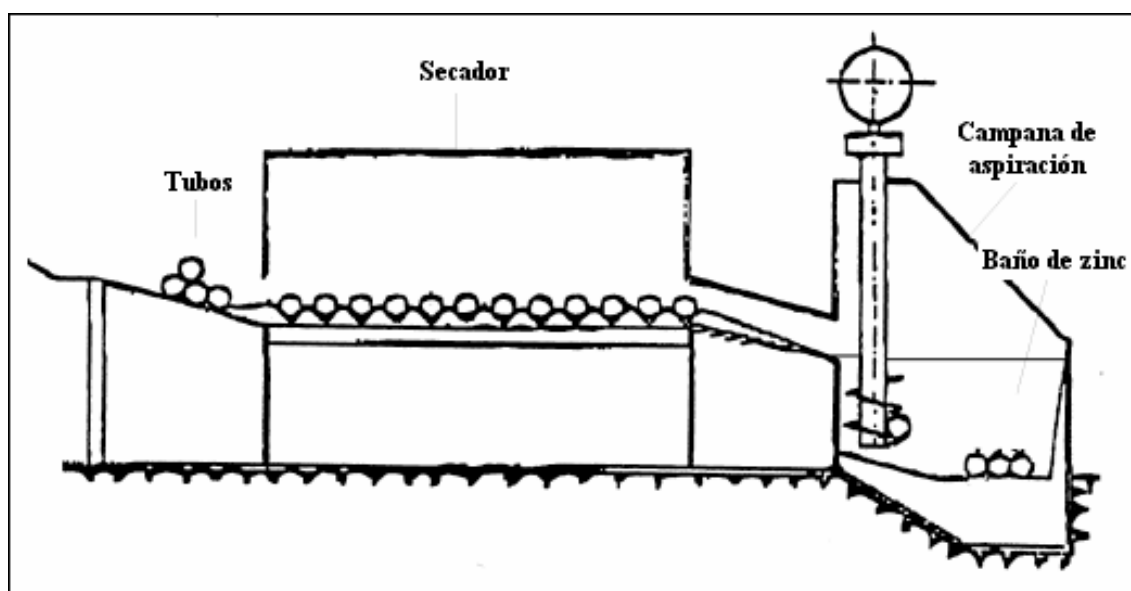


Figura C.2-2: Principio de la galvanización de tubos
[Welzel].

Los principales pasos del pretratamiento son los mismos que para la galvanización en discontinuo, pero tras el recubrimiento se elimina el exceso de zinc del exterior de los tubos mediante soplado con aire comprimido. El exceso de zinc en el interior se elimina mediante soplado con vapor de agua a presión.

Aunque los principios tecnológicos básicos han permanecido inalterados durante los últimos 150 años, se han producido algunos progresos principalmente encaminados a mejorar la calidad del recubrimiento de los aceros reactivos o de las piezas pequeñas. Se han realizado investigaciones para añadir V o Ti al baño de zinc fundido, así como al desarrollo de un recubrimiento de zinc-estaño. Technigalva, con la adición de entre 0,03 y 0,08 % de Ni al Zn, lleva ya un tiempo siendo aplicado a plena escala industrial. Zinkopal, un recubrimiento de zinc-aluminio para piezas pequeñas, ha sido desarrollado en Alemania, donde se utiliza en una planta [Galva-97-1], [Com EGGA].

C.2.2 Manipulación de las materias primas

El zinc se recibe en lingotes y se almacena cerca del proceso de galvanización. Los agentes químicos, principalmente HCl al 28% para el proceso de decapado, se reciben en recipientes de plástico o vidrio o con un camión cisterna, y se almacenan siguiendo las instrucciones del fabricante. Otros productos como agentes antiniebla y líquidos desengrasantes, se reciben de forma similar en bidones y se almacenan siguiendo las instrucciones del fabricante. Los materiales a tratar, consistentes en una amplia variedad de fabricados de acero, se reciben in situ, normalmente por transporte por carretera, y se descargan con elevadores o grúas [EGGA5/98].

C.2.3 Preparación del material de entrada

Los fabricados de acero se inspeccionan para asegurar que sean adecuados para su galvanización. Las piezas moldeadas de hierro y acero y algunos componentes con rosca son limpiados por granallado antes del decapado. Para la manipulación de los fabricados a lo largo del proceso de galvanización, se fijan a montajes o perchas mediante ganchos de alambre de acero. La tornillería y otros componentes pequeños se cargan en cestas perforadas, que se fijan a los montajes [EGGA5/98].

C.2.4 Desengrase

Para garantizar una galvanización satisfactoria y para mejorar la eficacia de los separadores por filtración, se utiliza una etapa de desengrase para eliminar los restos de los productos de enfriamiento y lubricantes del acero fabricado. Esto se realiza normalmente utilizando baños desengrasantes alcalinos. Estos baños contienen surfactantes, que eliminan el aceite y la grasa de la superficie del metal por emulsificación. Las emulsiones inestables resultantes flotan en la superficie del baño y pueden ser eliminadas por separadores gravitatorios, desespumadores, micro o ultrafiltración, etc.

La concentración, la temperatura del baño y el tiempo de inmersión de las piezas de trabajo determinan la eficacia de los baños de desengrase. El rango de temperatura normal para baños desengrasantes calentados indirectamente es de 30 – 70 °C, aunque en algunos casos se aplica desengrase en caliente a una temperatura de unos 85 °C. Los baños consisten en una solución de hidróxido sódico (1 – 10%) más otros reactivos alcalinos, como carbonato sódico, silicato sódico, fosfatos alcalinos condensados y bórax, y surfactantes específicos, agentes emulsificantes y agentes de dispersión.

Como método alternativo se utiliza el **desengrase ácido**. Los baños de desengrase consisten en ácidos inorgánicos fuertes diluidos, como ácido clorhídrico y/o ácido fosfórico con aditivos. Los agentes de desengrase ácido forman normalmente emulsiones estables que dificultan las medidas de mantenimiento de los baños, como desespumado, separación, centrifugado o ultrafiltración [ABAG].

Si se omite el desengrase o si en el flujo de trabajo hay piezas insuficientemente desengrasadas, existe el riesgo de transferencia de contaminantes orgánicos a las etapas de proceso subsiguientes, lo que puede llevar a la contaminación orgánica de los vapores de mordiente que se producen en el baño de galvanización durante el recubrimiento. Los contaminantes orgánicos en el gas residual producen problemas operativos en los dispositivos de filtración (obstrucciones, etc.) y hacen que el reciclaje del polvo precipitado sea difícil o incluso imposible [EGGA5/98], [ABAG].

El desengrase sólo puede omitirse si el material de entrada está exento de aceite, lo que suele ser la excepción y no la norma en la galvanización en discontinuo.

Tras el desengrase es necesario enjuagar para evitar el arrastre de agentes desengrasantes que acortarían la vida útil de los baños de decapado y reducirían su capacidad de reutilización.

C.2.5 Decapado

Para eliminar la costra de moldeo, la cascarilla de laminación y las capas de óxido, las piezas se decapan en ácido clorhídrico diluido. Para ello, una planta de galvanización dispone normalmente de una serie de baños de decapado con distintas concentraciones de ácido que van del 2 al 16%, normalmente 12-16% cuando preparan con ácido fresco. Para evitar un decapado excesivo de las piezas de acero, especialmente al decapar aceros de alta tenacidad, y para proteger las cubas de decapado de acero, se añaden inhibidores de decapado (hexametilentetramina) al baño [EGGA5/98], [ABAG], [Com EGGA].

Durante la operación, el contenido de hierro del baño de decapado aumenta, mientras que la cantidad de ácido libre disminuye, lo que hace necesario rellenar el baño ocasionalmente añadiendo ácido fresco. El cloruro ferroso tiene una solubilidad limitada en HCl. Cuando se alcanza este máximo, el decapado se hace imposible, pero normalmente el baño de decapado debe sustituirse incluso antes con concentraciones menores de FeCl_2 . Se han señalado concentraciones de desecho de 170 g FeCl_2/l ($=75 \text{ g Fe}^{2+}/\text{l}$) y de 100 a 120 g Fe/l [EGGA5/98], [ABAG], [Com EGGA], [Com DK].

La elevación de la temperatura del baño de decapado puede permitir su uso a concentraciones relativamente elevadas de FeCl_2 , entre 175 y 200 g/l con el baño a 35 °C, con un cierto aumento en las emisiones [Com2 EGGA].

En ocasiones se desengrasan las piezas con depósitos poco pesados de aceite en el tanque de decapado. Esta práctica puede aumentar el tiempo de decapado, produciendo mayor volumen de baño de decapado desechado por tonelada de producto y un mayor consumo de zinc. Esta práctica no puede considerarse como aceptable desde el punto de vista medioambiental.

El decapado en plantas con pretratamiento abierto se realiza normalmente a la temperatura ambiente; las plantas con pretratamiento cerrado operan en ocasiones con temperaturas de ácido más elevadas. Pueden producirse emisiones gaseosas del agente de decapado de los baños de decapado, según la concentración y temperatura del baño, y de las piezas decapadas. Las burbujas de hidrógeno que se forman durante el proceso de decapado pueden también contener gotitas de ácido [EGGA5/98], [VDI-RL 2579].

C.2.6 Descincado

En ocasiones es necesario limpiar de zinc los útiles donde se suspenden las piezas, para eliminar recubrimientos defectuosos de los fabricados de acero o descincar productos galvanizados cuyos recubrimientos deben renovarse. Esto se hace normalmente mediante inmersión en ácido de decapado diluido.

Si el decapado y el descincado se realizan en la misma cuba de tratamiento, se crean soluciones de decapado que contienen cloruro de hierro y de zinc. Algunos galvanizadores utilizan baños separados de decapado y descincado ya que en su entorno técnico y económico esto favorece el reciclaje del zinc que contienen. La solución de descincado agotada puede tratarse in situ para la recuperación del zinc o enviarse a un contratista para la recuperación del zinc.

En algunos casos, la solución de descincado agotada es enviada para su neutralización y desecho por contratistas externos [Com2 Wedge].

C.2.7 Enjuague

El enjuague es un paso muy importante en el proceso de galvanización, ya que prolonga la vida de los baños de tratamiento subsiguientes, reduce la producción de residuos y aumenta el reaprovechamiento de los subproductos. Tras el desengrase y el decapado, las piezas de acero se enjuagan / sumergen en baños de agua, que en ocasiones son calentados.

El arrastre de solución de un baño a otro depende del tipo de piezas (es decir, la capacidad de retención de líquido) y la forma en que se manipula, especialmente el tiempo de escurrido que se permite sobre un baño antes de mover la pieza. La cantidad de líquido arrastrado puede variar entre 5 y 20 l/t de acero negro. La transferencia de solución desengrasante a los baños de decapado produce eventualmente la neutralización del baño; el arrastre de ácidos y sales de hierro del decapado a los baños de mordentado y posteriormente al crisol de galvanización aumentaría tanto la generación de matas (escoria) como el consumo de zinc. Una transferencia de 1 g de hierro produce unos 25 g de matas [Com EGGA], [ABAG], [Com2 EGGA].

El agua de enjuague puede usarse para preparar baños frescos de decapado o desengrase, como forma de reciclar agua y minimizar la evacuación de agua.

C.2.8 Mordentado

La finalidad del la mordentado es permitir que el zinc líquido moje la superficie del acero, un requisito previo para la reacción de galvanización, y se realiza con agentes fundentes que contienen cloruro amónico para realizar un decapado adicional (limpieza de la superficie) durante la inmersión en el baño de zinc. A temperaturas de más de 200 °C, el cloruro amónico del agente de mordentado se descompone en NH₃ y HCl, lo que produce un efecto de decapado adicional [EGGA5/98], [ABAG].

El mordentado puede efectuarse por dos procedimientos: por vía seca y por vía húmeda

En el **mordentado por vía seca**, el acero se sumerge en un baño de mordentado, normalmente una solución acuosa de cloruro de zinc y cloruro amónico, que normalmente se mantiene a 40 – 80 °C. El mordentado en frío es posible pero reduce la capacidad de secado al aire de la pieza tras su extracción del baño de mordentado. Las características típicas del baño son:

ZnCl₂ 150 - 300 g/l
NH₄Cl 150 - 300 g/l
Densidad: 1.15 – 1.30 g/ml
Hierro disuelto: < 2 g/l

El valor del pH de los baños de mordentado se ajusta normalmente a aproximadamente 4,5 para asegurar la precipitación de los iones férricos en forma de hidróxido férrico; sin embargo, el pH de los baños de mordentado puede estar en el rango de 1 a 5.0.

La concentración total de sal de mordentado (suma de cloruro de zinc y cloruro amónico) y la relación entre el cloruro de zinc y el cloruro amónico son ambas muy importantes. El cloruro amónico en una buena solución mordiente representa a menudo el 40 – 60% del total de sal de mordentado [Com DK].

El cloruro amónico facilita un rápido secado y una mejor eliminación de los óxidos de hierro de las superficies de las piezas, pero también causa más humo, cenizas y formación de matas durante el proceso de recubrimiento. Si el tratamiento preliminar de las piezas es insuficiente, se requiere más cloruro amónico. El cloruro de zinc evita la oxidación de las superficies de las piezas. Esto es particularmente importante cuando el tiempo de secado es largo. En conjunto, la concentración óptima de mordiente y su composición deben ajustarse a las circunstancias particulares [Com DK].

Para reducir el impacto medioambiental del cloruro amónico durante el recubrimiento, algunos galvanizadores han cambiado a mordientes de bajo nivel de humo, en los que el cloruro amónico ha sido total o parcialmente sustituido por cloruro potásico [ABAG].

Tras extraer las piezas de trabajo del baño de mordentado, parte del agua del líquido mordiente adherido se evapora. La cantidad de la evaporación depende de la temperatura del baño de mordentado y, si el baño está caliente, de la velocidad de extracción de las piezas del baño (una extracción lenta produce una mayor evaporación). En ocasiones se realiza un secado adicional en una unidad de secado especial. Los gases de escape de la caldera de galvanización pueden en ocasiones ser una útil fuente indirecta de calor para calentar esta unidad de secado, aunque muchas veces se utilizan también quemadores auxiliares. El secado de las piezas ayuda a reducir las salpicaduras y la expulsión de metal del baño del zinc al sumergir las piezas, una ventaja que aumenta si las piezas retienen el calor tras abandonar la unidad de secado, es decir, si se aplica precalentamiento [Com2 EGGA].

Una pequeña cantidad de talleres de galvanización, especialmente los que tienen requisitos de mordentado excepcionalmente exigentes para piezas complejas, utilizan un proceso alternativo, denominado mordentado por vía húmeda. En este proceso, los agentes de mordentado constituyen una capa de sal fundida sobre la superficie del baño de galvanización. Las piezas a galvanizar se introducen en el baño de zinc haciéndolas pasar a través de la capa de sal fundida. Luego, la capa de sal fundida es retirada de la superficie mediante un rastrillo, para permitir que las piezas de acero puedan extraerse del baño de galvanización sin ulterior contacto con el mordiente [EGGA5/98].

C.2.9 Inmersión en zinc fundido

Las piezas de acero mordentadas se introducen lentamente en el baño de zinc fundido. Con piezas muy largas, que no caben en la caldera, debe aplicarse una doble inmersión con el fin de cubrir toda la superficie. El acero reacciona con el zinc para formar un recubrimiento consistente en una serie de capas de aleaciones de zinc-hierro sobre las que se forma una capa de zinc puro al extraer las piezas del baño. El periodo de inmersión va desde unos minutos para piezas de acero ligeras hasta 30 minutos para las piezas estructurales más pesadas [EGGA5/98].

El zinc fundido tiene una temperatura de 440 - 475 °C. Las dimensiones del crisol varían enormemente, según el mercado para el que se trabaja y el tipo de productos tratados. Las dimensiones típicas son 7 m de largo por 1,4 m de ancho y 2,6 m de profundidad, pero existen crisoles de hasta 20 m de longitud y 4 m de profundidad. El crisol enclaustrado dentro de la estructura del horno, se instala en un pozo o a nivel de suelo con plataformas de acceso. El crisol se calienta normalmente de forma externa, normalmente a gas o con quemadores alimentados con aceite. El calentamiento mediante quemadores de inmersión o calefactores de campana se utiliza cuando la temperatura del zinc está por encima de unos 460 °C (y no puede usarse un crisol de acero) o cuando hay una superficie insuficiente en las paredes de la caldera para transferir el calor al material fundido. Cuando es económicamente viable, se utiliza calentamiento eléctrico, normalmente mediante radiación desde los lados o desde arriba, ocasionalmente también de tipo inductivo o resistivo [EGGA5/98], [Com2 EGGA], [Com2 Fin].

Normalmente, el baño de zinc contiene asimismo cantidades muy pequeñas de otros metales, que bien son impurezas del zinc o se añaden como elementos de aleación. La composición típica de un baño es:

- Zinc 98,9 % en peso
- Plomo 1,0 % en peso
- Hierro 0,03 % en peso
- Aluminio 0,002 % en peso
- Cadmio 0,02 % en peso
- Trazas de otros metales (ej: estaño, cobre)

Se agrega aluminio y plomo debido a su influencia sobre el espesor y el aspecto del recubrimiento. La adición de plomo (entre 0,1 y 0,15%) tiene influencia sobre las propiedades físicas del zinc, especialmente sobre la viscosidad y la tensión superficial. Ayuda a mojar el acero durante la galvanización y facilita el escurrido del zinc de la superficie tras la galvanización. También puede usarse plomo para proteger la caldera. En este caso, el zinc fundido flota sobre una capa de plomo fundido en el fondo de la caldera. El espesor de las paredes de acero de la caldera se mide regularmente para evitar su perforación [ABAG], [Com2 EGGA].

Cuando se utilizan crisoles de acero, es importante que el material de de los mismos (normalmente acero bajo en carbono con mínimas adiciones de elementos reactivos como silicio) se escoja correctamente con el fin de reducir el efecto del ataque del zinc, y que estén fabricados para resistir las elevadas cargas hidrostáticas y tensiones térmicas generadas durante el calentamiento hasta la temperatura operativa. Pueden obtenerse crisoles de acero chapados interiormente para resistir el ataque del zinc, pero son considerablemente más caros [Com2 EGGA].

Un pequeño número de plantas realizan 'galvanización a alta temperatura' utilizando crisoles con forro refractario, que permiten operar el baño de zinc a temperaturas más elevadas, normalmente de unos 530°C. Este proceso se requiere para tratar ciertas clases de acero (calidades) y tipos específicos de componentes [EGGA5/98].

El cloruro amónico, un componente del agente de mordentado, tiene una temperatura de sublimación por debajo de la temperatura del baño de zinc y esto, junto con las otras reacciones que se producen, hace que se generen humos durante el recubrimiento en caliente. Los crisoles de galvanización están normalmente cubiertos con campanas cerradas provistas de extractores, o disponen de un sistema de extracción de humos mediante boquillas laterales. Normalmente, el aire de ventilación se limpia en filtros de mangas y el polvo precipitado es enviado al exterior de la planta para la recuperación de las sustancias valiosas, como el agente de mordentado. En algunos casos, el polvo precipitado se envía par su desecho en vertedero [Com2 Wedge]. Algunos productores aplican lavadores de Venturi y utilizan la purga de los lavadores para la confección de solución de solución de mordentado [EGGA5/98], [Com2 EGGA].

Las reacciones del zinc con el acero, bien de las piezas que están siendo galvanizadas, bien de la caldera en sí, producen una acumulación de aleación de zinc-hierro en el baño, que se conoce como zinc duro o matas. Las matas pueden adherirse a las paredes del baño, pero se acumulan principalmente en el fondo, de donde son eliminadas periódicamente utilizando una cuchara o una pala. Un exceso de escoria puede interferir en la galvanización y puede causar un sobrecalentamiento de las calderas calentadas externamente. El material extraído se devuelve a la industria secundaria de zinc para la recuperación del contenido de zinc, o a la industria química del zinc para la fabricación de óxido de zinc [EGGA5/98], [Com EGGA], [Com2 EGGA].

En la superficie del baño de zinc se forma ceniza de zinc debido a la reacción del zinc con el oxígeno del aire y con el agente de mordentado. El material oxidado se extrae y se utiliza directamente en la planta o es devuelto a la industria secundaria del zinc para su recuperación [EGGA5/98], [GE6], [Com2 FIN].

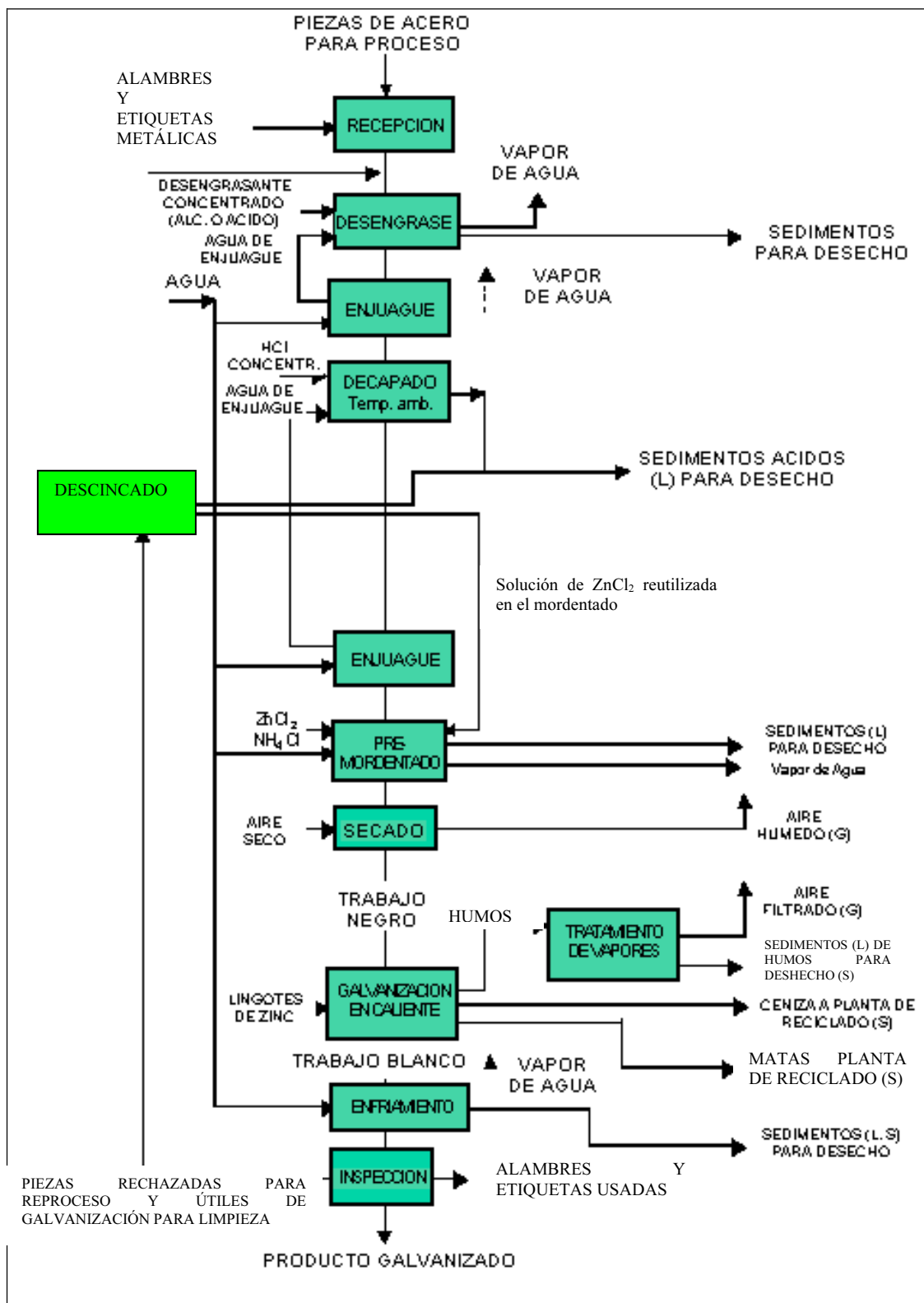
C.2.10 Acabado

Las piezas de acero son extraídas del baño de zinc; se elimina el exceso de zinc por escurrido o, en algunos casos, por agitación. Los productos son luego enfriados e inspeccionados. Se reparan las pequeñas imperfecciones de la superficie y se desmontan las piezas de los montajes y se preparan para su expedición. Tras la galvanización en caliente, algunos productos de acero son enfriados en agua para conferirles propiedades especiales. Como protección contra el óxido, los productos pueden cubrirse con emulsiones de aceite o cromatarse.

Para galvanizar tornillería y componentes pequeños, la inmersión en el zinc líquido se realiza del modo normal en una cesta de acero que contiene las piezas. Cuando se extrae la cesta del zinc líquido, se coloca en un aparato de centrifugación. Los componentes galvanizados se sacan de la cesta y se enfrían, mientras que la cesta vuelve al proceso. Existen sistemas patentados y contruidos por encargo [Com2 EGGA].

Al galvanizar tubos y conductos, el exterior se sopla con aire comprimido, y el interior con vapor, para eliminar el exceso de zinc tras su extracción del baño de zinc. Durante la eliminación del exceso de zinc con vapor, se emite polvo de zinc, pero las partículas de zinc pueden recogerse y devolverse a los baños de zinc, o utilizarse en la industria secundaria del zinc para la recuperación del mismo [EGGA5/98], [GE6].

C.3 NIVELES ACTUALES DE CONSUMOS Y EMISIONES PARA LINEAS DE GALVANIZACION EN DISCONTINUO



1) Caudales residuales: S: sólido, L: líquido, G: gas o vapor

2) La entrada al desengrase, decapado y pre-mordentado incluye pequeñas cantidades de inhibidores, surfactantes, etc.

Figura C.3-1: Diagrama de flujo para las plantas de galvanización en discontinuo

Muchos factores distintos influyen en el consumo de recursos y la emisión de contaminantes y residuos en las plantas de galvanización en discontinuo. Las variaciones entre plantas están causadas por: variaciones en la naturaleza del material de entrada como tamaño, forma y especialmente limpieza; el tipo de crisol que se usa; los dispositivos de calentamiento; el flujo del proceso y el grado de regeneración y reutilización de los materiales en el proceso.

Los impactos medioambientales que cabe esperar de la galvanización en discontinuo son emisiones al aire y la generación de residuos, en la mayoría de casos clasificados como peligrosos. El agua residual y las emisiones al agua son un problema decreciente, ya que hoy en día es posible operar plantas de galvanización casi sin agua residual [DK-EPA-93]. Finlandia señala emisiones de aguas residuales de los baños de agua y de limpieza de suelos con un contenido de zinc de 5 – 25 mg/l y un valor de pH de 6 – 10 [Com FIN]. Aunque la evacuación de aguas residuales es sólo un tema menor, debe prestarse atención a las emisiones de zinc en las mismas.

Las fuentes de emisiones a la atmósfera son: la sección de pretratamiento, principalmente de las operaciones de decapado; la superficie del zinc fundido, especialmente durante el proceso de recubrimiento por inmersión, y los sistemas de encendido / combustión para el calentamiento del crisol de zinc y otras cubas de tratamiento.

Los residuos y subproductos derivados de la galvanización en discontinuo son las matas y cenizas con contenido de zinc, así como las soluciones de tratamiento consumidas y los lodos del mantenimiento de los baños [DK-EPA-93]. Durante el transporte de las piezas de un baño de tratamiento al siguiente, pueden caer líquidos (ácido, mordiente, etc.) de las piezas de trabajo. Estos vertidos son recogidos normalmente por platos de escurrido y pueden reciclarse o recogerse como residuo químico.

El consumo global de energía para la galvanización de piezas de acero fabricado es de 300 - 900 kWh por tonelada de producto, la mayor parte de la cual se utiliza para el calentamiento del baño de zinc [DK-EPA-93]. Los siguientes capítulos dan información más detallada sobre el consumo de recursos y emisiones de los pasos de proceso característicos de la galvanización en discontinuo.

C.3.1 Desengrase

Los baños de desengrase se componen de agentes desengrasantes y agua. La energía requerida para calentar los baños a la temperatura operativa se suministra mediante aceite o gas, o en forma de energía eléctrica, según las condiciones locales de cada planta. En muchos casos los sistemas de desengrase son calentados mediante recuperación del calor residual e intercambiadores de calor.

El desengrase produce residuos químicos en forma de baños agotados y lodos. La cantidad de solución desengrasante a desechar depende de la cantidad de acero desengrasado y del grado de polución del mismo. Guarda correlación con la máxima vida útil de la solución desengrasante, que normalmente es de 1 – 2 años [ABAG]. Otras fuentes indican una vida útil máxima de los baños desengrasantes de hasta 7 años [Com EGGA], [Com2 EGGA].

Los baños de desengrase alcalino consumidos contienen hidróxido sódico, carbonatos, fosfatos, silicatos, surfactantes y aceite y grasa libre y en emulsión. Los baños de desengrase ácido contienen, aparte de aceite y grasa libre y en emulsión, ácido clorhídrico y/o fosfórico diluido, emulsores e inhibidores de protección anticorrosiva.

Los baños de desengrase consumidos son tratados normalmente química y físicamente por contratistas especiales (empresas de tratamiento de residuos). La emulsión se separa en una fase rica en aceite y otra pobre en aceite. La fase acuosa, pobre en aceite, recibe un tratamiento posterior, mientras que la parte rica en aceite debe desecharse conforme a los reglamentos sobre desecho de residuos [ABAG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Agente desengrasante	0 - 4 kg/t	
Agua	0 - 20 l/t	
Energía	0 - 44.6 kWh/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Solución y lodos ¹	2,0 – 5,4 kg/t	
Lodos aceitosos ¹	0,16 kg/t	
Baño de desengrase desechado	1 - 2 kg/t	
Nota: Fuente de los datos [EGGA5/98], [DK-EPA-93].		
¹ Incluye el baño de desengrase desechado.		
² Normalmente 30 - 40 % de sólidos.		
³ Lodo extraído periódicamente del baño de desengrase, datos de una sola planta [ABAG].		

Tabla C.3-1: Consumos y emisiones de las actividades de desengrase

C.3.2 Decapado

Los baños de decapado se confeccionan diluyendo HCl, que normalmente se suministra a una concentración de 28 - 32 % p/p (o aprox. 320 – 425 g/l HCl), a una concentración de trabajo normal 15% p/p (aprox. 160 g/l HCl). En algunos casos se agregan inhibidores de decapado. El consumo medio de ácido es de unos 20 kg por tonelada de producto, pero se ve afectado por la calidad del acero del material de entrada: pueden conseguirse índices de consumo muy bajos (inferiores a 10 kg/t) para piezas limpias, en contraste con índices de consumo muy altos (hasta 40 kg/t) para piezas con óxido. Los baños de decapado se utilizan normalmente a temperatura ambiente, por lo que no se requiere energía para su calentamiento. En caso de pretratamiento de decapado cubierto, la temperatura de la solución puede subir hasta unos 40 °C. En este caso, los baños pueden ser calentados. Del proceso de decapado se derivan otros consumos de energía, del funcionamiento de equipos auxiliares como bombas y grúas, aunque pueden considerarse despreciables [EGGA5/98], [Com2 EGGA].

Se registran emisiones de cloruro de hidrógeno de los baños de decapado en distintas cantidades, según la temperatura y la concentración del baño. Estos vapores ácidos son normalmente emisiones difusas. Generalmente no se aplican medidas de extracción (ej: extractores) ni lavado de los vapores, ya que la ventilación general de la planta mantiene la concentración de HCl en el aire del lugar de trabajo por debajo de los límites permitidos [ABAG]. Casos especiales son las plantas que utilizan secciones de pretratamiento cubiertas, que a veces trabajan con temperaturas más elevadas del ácido. Aquí se extrae el aire del conjunto y normalmente se lava el gas residual.

Los residuos generados en el decapado son solución de decapado agotados y lodos. La solución de ácido agotada se compone de ácido libre, cloruro ferroso (hasta 140 - 170 g Fe/t), cloruro de zinc, elementos de aleación del acero decapado y, en ocasiones, inhibidores de decapado. Si el descincado y el decapado se realizan en el mismo baño, se genera una solución de decapado mixta, con elevado contenido de zinc y hierro. Si el desengrase se realiza en el baño de decapado, también habrá presencia de aceite y grasa libre y en emulsión. La composición media de los baños de decapado agotados se muestra en la Tabla C.3-2.

	Decapado	Decapado (más descincado)
Hierro (como FeCl ₂) ¹	< 140 g/l	< 140 g/l
Zinc	5 - 10 g/l ²	20 - 40 g/l
HCl (ácido libre)	30 - 50 g/l	30 - 50 g/l
Inhibidor de decapado	aprox. 50 ppm (1 l de inhibidor por 20 m ³ de solución de decapado)	
Aceite, grasa, surfactantes	n.d. (arrastre de los baños de desengrase)	

Nota: Fuente de los datos [ABAG].

¹ La relación de FeCl₃: FeCl₂ es de aprox. 1:50 según [ABAG], mientras [Com DK] señala una relación de FeCl₃: FeCl₂ <1:1000.

² Los requisitos fijados por las empresas de reciclaje son normalmente más estrictos.

Tabla C.3-2: Composiciones de los baños de decapado consumidos

Entrada / Nivel de Consumo		
Acido clorhídrico 1	9,2 – 40 ² kg/t	
Inhibidor	0 – 0,2 kg/t	
Agua ³	0 - 35 l/t	
Energía ⁴	0 - 25 kWh/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Emisiones a la atmósfera: ^a Cloruro de hidrógeno Polvo		0,1 – 5 mg/m ³ 1 mg/m ³
Acido residual y lodos ^{5,6,7}	10 - 40 l/t	
Solución de decapado desechada		

Nota: Fuente de datos [EGGA5/98], excepto a: [DK-EPA-93].

¹ El consumo hace referencia a 30 % HCl.

² [Flem BAT] señala hasta 70 kg/t sin referencia a la concentración de ácido.

³ El extremo bajo del rango representa casos en los que el ácido se suministra en concentraciones más bajas o en la concentración definitiva (~ 16 %)

⁴ Energía necesaria para el calentamiento del ácido en plantas de pretratamiento cubiertas.

⁵ Incluye el baño de decapado agotado desechado.

⁶ Contiene unos 140 g Fe/l de baño agotado como FeCl2.

⁷ Residuo ácido informado por DK: 15 – 50 kg/t.[DK-EPA-93].

Tabla C.3-3: Consumo y emisiones del decapado

C.3.3 Descincado

La cantidad de piezas a descincar, las piezas galvanizadas rechazadas, los útiles donde se cuelgan las piezas y los artículos cuyos recubrimientos deben renovarse suponen un total del orden de 1 -15 kg/t.

El descincado de las piezas de trabajo se realiza con baños de ácido clorhídrico, normalmente con concentraciones menores y reactividades menores, similares a las requeridas para el decapado. Algunas plantas utilizan soluciones de decapado parcialmente agotadas o utilizan el baño de decapado para descincado pero, como se describe más adelante, ello comporta una serie de desventajas medioambientales.

La operación de descincado con ácido clorhídrico genera asimismo residuos ácidos, pero con una composición distinta a los generados por el decapado. Si el descincado se realiza en un baño ácido independiente de los baños de decapado, el baño de descincado produce cloruro de zinc relativamente no contaminado por cloruro de hierro. Esta solución puede reciclarse al baño de pre-mordentado (cloruro de amonio y zinc) [Com FIN], [Com2 EGGA].

Las soluciones que contienen cloruro de hierro y cloruro de zinc de las operaciones combinadas de decapado y descincado pueden usarse en la industria de fertilizantes, aunque debe prestarse atención a la adición de zinc a los suelos agrícolas y a no rebasar los límites establecidos por la legislación [Com FIN], [Com2 UK Galv].

	Descincado
Hierro (como FeCl ₂)	< 10 % del contenido de zinc ¹
Zinc (como ZnCl ₂)	160 - 200 g/l
HCl (ácido libre)	< 10 g/l
Inhibidor de decapado	aprox. 50 ppm (1 l de inhibidor por 20 m ³ de solución de decapado)
Aceite, grasa, surfactantes	n.d. (arrastré de los baños de desengrase)
Nota: Fuente de los datos [ABAG].	
¹ Requisito de la empresa de reciclaje, sólo puede conseguirse mediante el uso de inhibidores de decapado.	

Tabla C.3-4: Composición de los baños de descincado agotados

Entrada / Nivel de Consumo		
Acido Clorhídrico	0 - 6 kg/t	
Agua ¹	0 - 7 l/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Solución de descincado consumida ²	1.2 -15 kg/t	
Nota: Fuente de los datos [EGGA5/98].		
¹ Para ajustar las concentraciones del baño de decapado.		
² Ejemplo de composición: zinc 200 g/l, hierro 130 g/l, 10 g/l [DK-EPA-93]		

Tabla C.3-5: Consumos y emisiones del descincado

C.3.4 Mordentado

El baño de mordentado se compone del agente mordiente (normalmente $ZnCl_2 \times NH_4Cl$) y una cierta cantidad de agua hasta obtener la concentración adecuada. En ocasiones, el agente mordiente se forma con KCl en lugar de una parte o todo el NH_4Cl . En la mayoría de casos, se necesita energía para calentar los baños de mordentado, para lo que algunas plantas utilizan calor recuperado.

Las emisiones a la atmósfera de los baños de mordentado se consideran despreciables, ya que el baño no contiene compuestos volátiles y las principales emisiones son de vapor de agua. En los residuos derivados de esta operación se incluyen la solución y los lodos de mordentado desechados [DK-EPA-93].

Los baños de mordentado que no se regeneran continuamente aumentan su acidez y contenido de hierro a medida que se utilizan. Contienen (según el agente de mordentado) cloruro amónico, cloruro de zinc y/o cloruro potásico. El reciclaje discontinuo de la solución de pre-mordentado es práctica común. En algunos casos, la solución se devuelve al productor de las sales mordientes de forma regular [Com EGGA], [Com2 EGGA].

Entrada / Nivel de Consumo	
Agente mordiente	0 - 3 kg/t
Agua ¹	0 - 20 l/t
Energía	kWh/t
Salida / Nivel de Emisiones	
Solución de mordentado consumida	1 - 6 kg/t
Agua residual y lodos ¹	0 - 20 l/t
Lodos de hidróxido de hierro ²	1.2 -15 kg/t

Nota: Fuente de los datos [EGGA5/98].
¹ El extremo bajo del rango hace referencia al mordentado por vía húmeda.
² De la regeneración continua del baño de mordentado.

Tabla C.3-6: Consumos y emisiones del mordentado

Los secadores situados a continuación del baño de pre-mordentado consumen energía para calentar el aire de secado. Una parte o la totalidad de esta energía puede ser suministrada por los gases que salen del horno de galvanización. El aire húmedo que sale del secador a la atmósfera (dentro o fuera de la fábrica) lleva cloruros consigo. La solución de pre-mordentado sobrante gotea desde las piezas al secador, donde se seca en forma cristalina y es eliminado periódicamente. Si se utilizan ventiladores grandes para soplar aire a través de los secadores, pueden requerir importantes cantidades de energía eléctrica y causar ruido [Com2 EGGA].

C.3.5 Enjuague I + II

Las plantas de galvanización en discontinuo consumen de 0 a 20 l/t de acero galvanizado para las operaciones de enjuague, lo que produce casi la misma cantidad de aguas residuales y lodos [EGGA5/98].

C.3.6 Inmersión en zinc fundido

El principal aporte de materia prima para el proceso de recubrimiento es, por supuesto, el zinc del metal de recubrimiento. El consumo medio de zinc para 1 t de acero galvanizado es de 75 kg. Las cifras extremas de consumo de zinc – alto o bajo – pueden atribuirse a la forma de las piezas de acero y a la calidad del recubrimiento. El consumo de zinc es, por supuesto, proporcional a la superficie recubierta y al espesor del recubrimiento [EGGA5/98].

La energía mediante gas, aceite o electricidad permite la fusión del zinc y el mantenimiento de la temperatura del baño de zinc.

El baño de galvanización es uno de los principales focos de emisiones a la atmósfera. Durante el recubrimiento por inmersión, del baño de zinc se desprenden vapor, gases y partículas contaminantes, que forman una nube blanca. Según los agentes mordientes, las emisiones pueden contener productos extremadamente finos de sublimación y vaporización, incluidos iones de cloro, amonio y zinc, así como compuestos de cloruro de zinc y cloruro amónico.

El tipo y la cantidad de emisiones dependen del consumo del agente mordiente, de su composición y de factores adicionales determinados por las piezas a galvanizar (tipo, número, superficie, calidad) y su pretratamiento (desengrase, decapado, enjuague, secado). Algunas fuentes indican que el tamaño de las partículas higroscópicas es muy pequeño, en general < 1 micra. Otras fuentes señalan que el tamaño medio de las partículas es de 30 micras, y que sólo alrededor del 5% es de < 1 micra [Com2 FIN].

Según algunas investigaciones realizadas recientemente sobre la distribución de los tamaños de las partículas en las emisiones de partículas al aire del baño de galvanización durante la inmersión de las piezas, no hay riesgos para la salud por lo que respecta al tamaño de las partículas y la magnitud de las emisiones a las que pueden estar expuestos los operarios de galvanización durante el proceso de inmersión. La investigación mostró que los datos de control de exposición personal de los operarios son bajos en masa total, especialmente en el caso de los mordientes de bajo o reducido nivel de humos, y que la masa de las partículas pequeñas de menos de 1 micra de diámetro es idéntica para los mordientes normales y para los mordientes de bajo nivel de humos. Por consiguiente, no hay motivos de preocupación sanitaria entre los dos tipos de mordientes, ni por el tamaño de las partículas emitidas a la atmósfera en ninguno de ambos casos [Piat 19.9].

Menos de un 10% de la masa total, cuya densidad es de menos de $1,5 \text{ mg/m}^3$, está compuesta por partículas de menos de 1 micra.

En resumen, no hay motivo de preocupación en el aspecto de la salud laboral.

La cantidad de polvo emitido está estrechamente relacionada con el consumo de agente de mordentado. Algunas investigaciones han mostrado que, con un consumo de mordiente de 2 kg/t , la emisión de polvo está entre $0,2$ y $0,3 \text{ kg/t}$, mientras que la emisión de polvo con un consumo de mordiente de 4 kg/t es de aproximadamente $1,2 \text{ kg/t}$ de producto. La concentración de polvo en el gas residual crudo de la galvanización por vía seca alcanza a menudo niveles de más de 100 mg/m^3 . En la galvanización por vía húmeda, las cifras son incluso superiores; un rango típico es de 80 a 180 mg/m^3 . Si, debido a un desajuste del proceso, la operación de desengrase es ineficaz, es posible que entre grasa o aceite en el baño de zinc y que se vean sometidos a combustión a baja temperatura. En este caso, el polvo de filtro puede contener hasta un 10% de grasa y pueden detectarse dioxinas [ABAG], [DK-EPA-93], [Galva94-1], [Com EGGA].

El gas residual se trata en filtros de tejido, lo que produce polvo en los filtros, o se lava, lo que origina un efluente acuoso que normalmente se trata. Además del polvo, se emiten pequeños volúmenes de sustancias gaseosas como cloruro de hidrógeno y amoníaco, producidos por la descomposición del agente de mordentado y la recombinación del cloruro amónico como partícula aérea [Com2 UK Galv]. Además, la combustión de combustibles para calentar el horno de galvanización produce la emisión de productos de combustión como CO , CO_2 y NO_x (también, con combustión de aceite, SO_x). Los ventiladores del aire de combustión y los quemadores pueden producir ruido [DK-EPA-93], [Com2 EGGA].

En el baño de galvanización se originan subproductos sólidos que contienen zinc, como matas, cenizas y salpicaduras. Las matas (o escorias) se enriquecen en el baño de zinc durante la operación y tiene su origen en las piezas que se galvanizan, en las paredes de los crisoles (producto de reacción del hierro del acero con el zinc fundido), y de la reacción de las sales de hierro arrastradas del decapado y el mordentado. Debido a su mayor densidad, las matas se recogen en el fondo del crisol, de donde se extraen periódicamente. Debido al elevado contenido de zinc (95 a 98 %), las matas se venden a empresas de

reciclaje para su recuperación.

Las cenizas de zinc de menor densidad, que flotan en el superficie del baño de galvanización, están compuestas principalmente por óxido de zinc y cloruro de zinc, con algo de óxido de aluminio si está aleado con el baño de metal. La ceniza se separa por desespumado antes de extraer las piezas sumergidas, y normalmente llevan asimismo grandes cantidades de zinc. El contenido de zinc es del 40 al 90%, lo que hace que sean valiosas para reciclaje, bien directamente, bien por la industria secundaria del zinc [ABAG], [Com2 Wedge], [Com2 FIN].

De vez en cuando pequeñas cantidades de zinc metálico son expulsadas de la caldera, debido a la evaporación de la humedad de la superficie del acero. En su mayoría se adhieren al equipo de extracción de humos (si lo hay), del que se desprenden para la recuperación de su contenido en metal [Com EGGA]. Estas **salpicaduras de zinc** pueden refundirse directamente en el baño de galvanización o ser enviadas al exterior para su recuperación. Pueden contener óxido de zinc y/o estar contaminadas por su contacto con el suelo si la caldera no está cubierta [ABAG].

Entrada / Nivel de Consumo		
Zinc	20 – 200 (1) kg/t	
Zinc Recuperado (cenizas de zinc)	0 - 15 kg/t	
Energía ⁽²⁾	180 - 1000 kWh/t	
Salida / Nivel de Emisiones		
	Emisiones Específicas	Concentraciones
Gas extraído de la caldera ⁽²⁾ (campanas de aspiración, encapsulado, etc.)	1500--12000 ⁽⁶⁾ m ³ /t	
Emisiones al aire del baño de zinc: ^a .		
Polvo	40 –600 g/t	10–100 ⁽⁴⁾ mg/m ³
Zinc		2 – 20 ⁽⁵⁾ mg/m ³
Cloruro de hidrógeno		1 – 2 mg/m ³
Plomo	despreciable	
Ceniza	4 - 25 kg/t	
Escoria	5 - 30 kg/t	
Gas de combustión: (NO _x , CO/CO ₂ , SO ₂)	500 - 3250 m ³ /t	
Filtro de polvo (6)	0,1 – 0,6 kg/t	

Nota: Fuente de los datos [EGGA5/98], excepto a: [DK-EPA-93].

¹ Un consumo extremadamente alto de Zn puede estar relacionado con la galvanización de piezas muy pequeñas, como tornillos. Valor medio: 73,4 kg/t.

² Normalmente no se aplican técnicas de precipitación, se evacua a través de una chimenea.

³ Algunos datos de Dinamarca indican 20000 – 40000 m³/t.

⁴ Otras fuentes señalan 1- 3 mg/m³ [Flatt/Knupp].

⁵ Dinamarca indica un ejemplo de una línea de producción manual donde se medían 60 mg/m³ de zinc a un caudal de 1500 m³/h [DK-EPA-93].

⁶ La composición depende del agente mordiente, pero básicamente es cloruro amónico, cloruro de zinc y posiblemente Al, Fe, y compuestos orgánicos.

Tabla C.3-7: Consumos y emisiones de la caldera de zinc

C.3.7 Acabado

Galvanización de Tubos

La eliminación del exceso de zinc de la superficie por chorro de aire comprimido o de vapor produce emisiones de zinc y polvo con contenido de zinc. Los soplos de vapor a presión pueden también ser un fuente de ruido. Por consiguiente, la eliminación del exceso de zinc se realiza en recipientes de recogida insonorizados.

En los casos en los que el enfriamiento por inmersión de las piezas galvanizadas sea inevitable, el consumo de agua es de hasta 10 l/t de acero galvanizado. El agua se evapora parcialmente, y parte de la misma se reutiliza para la confección de baños de proceso.

C.4 TÉCNICAS A CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO

C.4.1 Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares

- No se han facilitado datos.

C.4.2 Desengrase

C.4.1.2.1 Minimización del uso de aceite y grasa

Descripción:

Debe convencerse a los clientes de las plantas de galvanización que apliquen el mínimo posible de aceite y grasa a sus piezas. La reducción de la cantidad de aceite/grasa de entrada es una medida económica, fácil y eficaz de prolongar la vida de los baños de desengrase y con ello reducir la cantidad de residuos generados (baños consumidos y lodos con aceite).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los baños de desengrase consumidos.
- Reducción del agua residual y de los lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes (la influencia del galvanizador en el estado del material de entrada puede ser limitada en la galvanización por encargo).

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.2.2 Gestión optimizada del baño

Descripción:

Pueden usarse medidas generales para controlar las operaciones del baño de desengrase controlando los parámetros como la temperatura y la concentración del agente de desengrase, lo que permite un uso eficaz del baño de desengrase. Además, la eficacia de desengrase puede mejorarse mejorando el contacto de la solución y de la pieza en tratamiento: por ejemplo, moviendo la pieza de trabajo, moviendo el baño (agitación) o utilizando ultrasonidos. El desengrase en cascada también puede mejorar la operación y reducir el impacto medioambiental.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de los baños de desengrase.
- Reducción de las aguas residuales y los lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.2.3 Mantenimiento y limpieza de los baño de desengrase

Descripción: véase también Capítulo D.4.3

En el desengrase alcalino, las emulsiones formadas son inestables. El aceite y la grasa se aglomeran fácilmente de nuevo y forman una capa que flota en la superficie en las zonas no agitadas del baño (es decir, donde no hay corrientes del baño de desengrase). Aquí el conglomerado puede separarse y extraerse mediante **desespumadores, lavadores de desagüe, diques**, etc. Con estas medidas, utilizando simplemente la gravedad natural (tiempo de separación: un par de horas), la vida de los baños de desengrase puede prolongarse de 2 a 4 veces. Los lodos extraídos contienen aceites, grasa, agente desengrasante, cascarilla, óxido, polvo, etc. y normalmente se desechan [ABAG].

La separación es más eficaz usando **separadores centrífugos**, que separan la fase de aceite y la fase acuosa en segundos. Las gotas muy pequeñas de aceite y grasa se separan más fácilmente; la parte rica en aceite contiene sólo un 5 – 10% de agua y se evita el arrastre indeseado de agentes desengrasantes. La vida de los baños puede prolongarse hasta 16 veces [ABAG].

En la **micro y ultrafiltración**, el baño desengrasante se bombea a través de membranas (3 – 8 bares) en la que el aceite, la grasa y los surfactantes consumidos quedan retenidos debido al tamaño de las moléculas. Para proteger las membranas, el líquido desengrasante se limpia normalmente de partículas en un tanque de sedimentación. La micro y ultrafiltración aumentan la vida útil del baño de 10 a 20 veces. Los costes de inversión de una instalación de micro/ultrafiltración con la capacidad apropiada para plantas de galvanización se estiman en 80000 a 100000 DM. Las membranas (tamaño de poro) deben ajustarse a las características del baño desengrasante y deben corresponder a los requisitos de limpieza de cada baño individual. Con las condiciones siempre cambiantes que se observan en la galvanización por encargo (variación en el contenido, surfactantes, aceites, grasas, etc.), se producen problemas operativos, como obstrucciones, suciedad y daños en la membrana [ABAG]. Todavía deben desarrollarse membranas apropiadas y composiciones específicas del baño para permitir su aplicación en la galvanización en discontinuo en caliente [Com2 D].

Todas las medidas descritas anteriormente para prolongar la vida útil de los baños desengrasantes son también aplicables a los baños de desengrase ácido, pero debido a las emulsiones más estables que se forman, su eficacia se ve reducida [ABAG].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de baños desengrasantes.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Genera lodos / concentrados con aceite (véase C.4.2.5).

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.2.4 Desengrase biológico continuo del baño desengrasante ('desengrase biológico')

Descripción:

El aceite y la grasa acumulados en el baño de desengrase son descompuestos por microorganismos. El producto residual es un lodo biológico que se extrae del sistema a diario. El baño de desengrase tiene así una vida útil ilimitada, y el baño proporciona un desengrase óptimo en todo momento [DK-EPA-93].

El líquido desengrasante está compuesto por álcalis, fosfatos, silicatos y tensoactivos no iónicos y catiónicos. Un concentrado de estos agentes químicos y microorganismos se mezcla continuamente. En el tanque de desengrase en sí, se admite aire para mantener el proceso biológico en marcha. También se agrega agua para compensar las pérdidas por evaporación, ya que el baño se mantiene a la temperatura operativa óptima de 37 °C. El líquido del tanque de desengrase circula a través de un separador laminar a una velocidad de aproximadamente 1 m³/h. En el separador laminar se separa el lodo acumulado, consistente en una mezcla de microorganismos vivos y muertos (biolodo). El lodo (aprox. 10 l/d) es drenado manualmente a través de una válvula inferior. La dosificación de los agentes químicos se realiza mediante bombas de dosificación en la caja de salida posterior al separador laminar. Puede que sea difícil una precisión total, y el exceso de consumo puede ser común. La dosificación de los agentes químicos requeridos se controla automáticamente para mantener un valor del pH de 9.13 [DK-EPA-93].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos (baño de desengrase agotado) y por tanto de los lodos de tratamiento.

Aplicabilidad:

- Plantas de galvanización nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Næstved Varmforzinkning ApS (periodo de experiencia: 6 años) [DK-EPA-93]; Francia; Verzinkerei Dieren, NL; 1 o 2 plantas en Alemania.

Datos operativos y Economía:

Ejemplo Næstved Varmforzinkning

Næstved Varmforzinkning introdujo el proceso en 1987 y la experiencia operativa es muy positiva (véase Figura C.4-1). Hoy en día el desengrase es mucho más eficaz y consistente que cuando desengrasaban con lejía de sosa templada, lo que produce un decapado más rápido con menos ataque por el ácido del material de base. Han disminuido tanto el consumo de ácido de decapado como los residuos desechados. Una vez finalizado el decapado, la superficie es más regular y uniforme que antes. Esto además ha producido un menor consumo de zinc en el proceso de galvanización en caliente en sí. El nuevo proceso de desengrase ha significado que la planta ha podido reducir el contenido de HCl del baño de decapado del 10 – 15% al 4 – 8%. Esto ha mejorado enormemente el entorno laboral de la nave de producción, al haber desaparecido casi por completo el característico “olor a ácido”. En la práctica, el consumo de Camex Bio 104 ha sido unas 6 veces mayor de lo esperado (por tonelada de productos al año). Esto es probablemente debido a la sobredosificación y a un necesario consumo adicional de agentes químicos para las piezas muy engrasadas que se procesan en la planta. Además, las piezas tienen una gran superficie por unidad de peso, lo que hace que se requieran más agentes químicos por tonelada de producto. El sistema es probablemente unas 3-6 veces mayor de lo necesario para Næstved Varmgalvanisering. La empresa compró simplemente el sistema más pequeño para desengrase biológico que vendía la firma sueca Camex [DK-EPA-93].

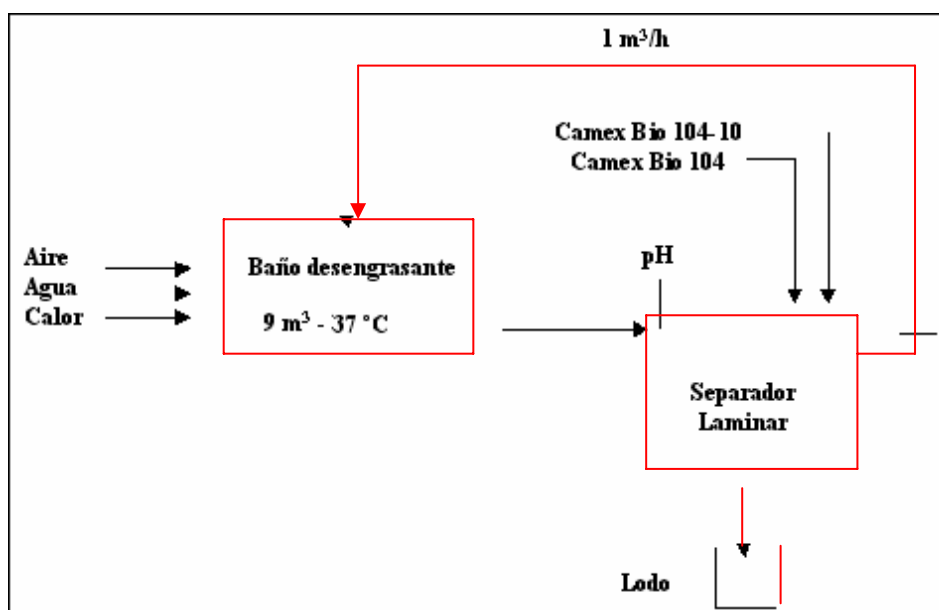


Figura C.4-1: Diagrama de flujo para desengrase biológico (ejemplo CAMEX) [DK-EPA-93].

Economía:

Costes de inversión (en 1987) incl. instalación, pero excl. tanque de desengrase:		325000 DKK
Costes operativos:	Camex Bio 104: 1550 kg a 26 DKK	40300 DKK
	Camex Bio 104 - 10: 100 kg a 26 DKK	2600 DKK
	2,5 toneladas de lodo a 2440 DKK	<u>6100 DKK</u>
	Total al año excl. Horas y electricidad	49000 DKK

Es difícil cuantificar las ventajas económicas de la planta en comparación con el proceso anterior en que se desengrasaba con lejía de sosa cáustica templada. Los consumos de ácido y zinc se han reducido considerablemente y se desechan muchos menos productos desde la introducción del desengrase biológico. No obstante, los ahorros son también consecuencia de otros cambios en los productos y en la producción durante el periodo en cuestión. Por consiguiente, es difícil decidir exactamente qué ventajas económicas ofrece el nuevo proceso de desengrase [DK-EPA-93].

Ejemplo de planta de galvanización, Alemania [ABAG-Bio].

Esta planta de galvanización cambió del desengrase ácido al desengrase biológico en el periodo entre diciembre de 1994 y abril de 1995. La línea de producción inicial incluía el baño de desengrase ácido, consistente en una mezcla diluida de ácido fosfórico y HCl, tensoactivos e inhibidores de corrosión, seguido de un enjuague. La calidad del baño se mantenía eliminando el aceite de la superficie y renovando la solución del baño ácido. El desengrase ácido se cambió a desengrase alcalino, seguido de un tratamiento del baño con enjuague biológico. Las ventajas reportadas del cambio operativo fueron:

- Reducción del tiempo de decapado (20 – 25 %).
- Aumento de la calidad del decapado.
- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción de las piezas desechadas.
- Reducción de los lodos aceitosos.

Los costes de inversión (excluyendo el coste de inversión para las cubas de tratamiento) señalados para este cambio operativo fueron de 181000 DM para una planta de galvanización con una capacidad de 10000 toneladas al año. El consumo de energía aumentó (mayor temperatura de desengrase, baño de desengrase biológico, bombas) y también las horas de trabajo para operar el sistema. No obstante, para este caso se ha señalado un posible ahorro anual de 250000 DM, con lo que el periodo de amortización calculado es de 0,8 años [ABAG-Bio].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas: [DK-EPA-93], [ABAG-Bio].

C.4.2.5 Utilización de los lodos y concentrados con aceite

Descripción:

Se utiliza una gran variedad de métodos para eliminar los lodos aceitosos del baño de desengrase. Estos lodos contienen sólidos junto con una serie de grasas y aceites. Según la carga de contaminantes y su valor calorífico, pueden usarse para recuperación de energía por incineración. Los lodos aceitosos salen de la planta a través de un contratista especializado para su desecho controlado o para recuperación del aceite contenido en el mismo. En algunos casos, si el contenido de agua es bajo, los lodos pueden usarse como parte del combustible requerido para la producción de vapor o calefacción [Com EGGA].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos con contenido de aceite.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.2.6 Reducción de la transferencia a los baños de decapado

Descripción:

La cantidad de solución arrastrada de los baños de desengrase al proceso de decapado siguiente puede minimizarse dejando bastante tiempo para que la solución se escurra, pero especialmente realizando un paso de enjuague (para información más detallada sobre el enjuague, véase Capítulo C.4.4).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de solución desengrasante.
- Prolongación de la vida útil de los baños de decapado, con lo que se reduce el consumo de ácido.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3 Decapado y descincado

C.4.3.1 Gestión y control optimizado del baño

Descripción:

La eficacia del decapado, y por consiguiente el tiempo necesario para el decapado, cambia durante la vida útil del baño. A medida que envejece, la concentración de hierro en el baño aumenta bastante, y se necesita menos ácido libre para mantener la misma velocidad de decapado inicial. Los cambios drásticos en la solución de decapado, como por ejemplo la sustitución de grandes volúmenes del baño, pueden conducir a condiciones de decapado desconocidas que pueden producir un sobredecapado.

El control cuidadoso de los parámetros del baño (concentración de ácido, contenido de hierro, etc.) puede ayudar a optimizar el funcionamiento al mejorar la conciencia de cambios en el baño y permitir un cambio en los procesos operativos, como acortar la vida del baño de decapado para evitar un sobredecapado. La evacuación de la solución de decapado consumida y la adición de ácido fresco en dosis más frecuentes pero pequeñas evita cambios drásticos en las características del baño y permite una producción más uniforme.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido
- Menos sobredecapado (asociado con menos residuos).

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.2 Minimización de la solución de decapado agotado mediante el uso de inhibidores de decapado

Descripción:

Para proteger partes de las piezas a galvanizar que ya están metálicamente limpias, contra el sobredecapado, se agregan inhibidores de decapado a la solución de decapado. Los inhibidores de decapado pueden reducir la pérdida de material de las piezas de trabajo en hasta un 98% y pueden reducir el consumo de ácido. No obstante, estos inhibidores orgánicos pueden tener una influencia negativa sobre los procesos subsiguientes de reciclaje de ácidos, por lo que la reducción del consumo de ácido mediante el uso de inhibidores de decapado debe estudiarse detenidamente [ABAG].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido.
- Menos ácido residual.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Algunos inhibidores de decapado pueden reducir las opciones de reciclaje del ácido residual.

Plantas de referencia:

La gran mayoría (> 90 %) de los galvanizadores utilizan inhibidores de decapado [EGGA8/99].

Datos operativos:

Reducción estimada del consumo de ácido 10 – 20 % [EGGA8/99].

Economía:

Positiva, ahorro de costes [EGGA7/99].

Motivo principal de su puesta en práctica:

- Mejora de la calidad de los productos.
- Reducción de los costes operativos.

Referencias bibliográficas:

C.4.3.3 Decapado activado

Descripción:

El decapado en ácido clorhídrico con un bajo porcentaje de ácido y un alto contenido en hierro se denomina decapado activado. Cuando se decapa acero en ácido clorhídrico, el contenido de ácido es normalmente del 10 – 12% para poder realizar un decapado razonablemente rápido. No obstante, a este porcentaje de ácido, la evolución de cloruro de hidrógeno es bastante elevada. Utilizando el decapado activado, el porcentaje de ácido puede reducirse a la mitad sin efectos negativos sobre la velocidad de decapado, siempre que la concentración de hierro se mantenga a 120 – 180 g/l. La temperatura del baño de decapado debe mantenerse a 20 – 25 °C.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:
Plantas de referencia:

FJ Varmforzinkning A/S, (periodo de experiencia: 5 años) [DK-EPA-93].

Datos operativos y Economía:
Ejemplo: Ferritslev Jernvarefabrik (FJ)

Este sistema se utiliza en Ferritslev Jernvarefabrik (FJ), donde también se mantiene el baño de decapado casi libre de zinc. Los baños agotados pueden utilizarse como agente de precipitación en la planta de tratamiento de aguas del alcantarillado municipal. FJ Varmforzinkning sólo tiene que pagar los costes de transporte [DK-EPA-93].

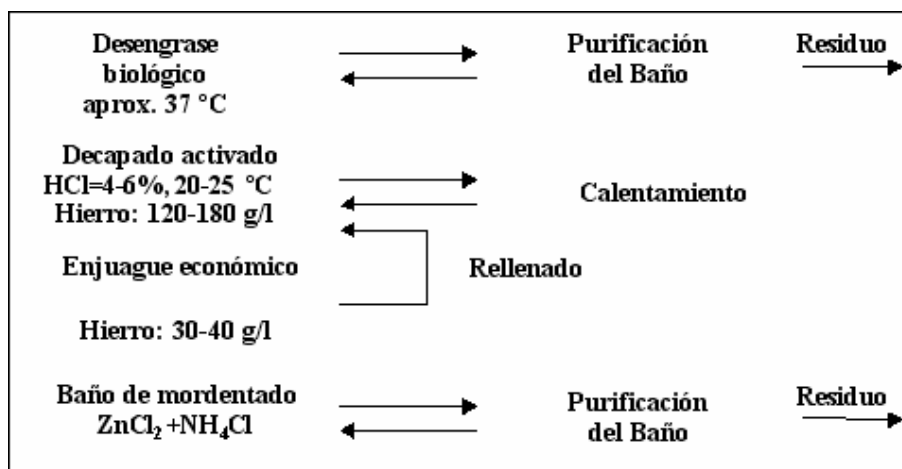


Figura C.4-2: Diagrama de flujo del decapado activado [DK-EPA-93].

Tras su desengrase biológico, las piezas se sumergen directamente en un baño de decapado activado con un 4 – 6% de ácido clorhídrico y un contenido de hierro de 120 – 180 g/l. Las piezas se suspenden en alambres de acero negro que se utilizan una sola vez. Con ello se evita que dispositivos de suspensión con

recubrimiento de zinc entren en contacto con el baño de decapado. Además, en un baño especial para descincado (ácido clorhídrico al 4 – 7%) se elimina el zinc de las piezas a regalvanizar. Así, la concentración de zinc en el baño de decapado puede mantenerse a un nivel muy bajo [DK-EPA-93].

Hay 4 tanques de decapado de 100 m³ cada uno. Desde cada tanque se circulan 10 m³/h mediante una bomba. Los volúmenes de agua circulados se mezclan y se pasan a través de un intercambiador de calor antes de devolver el agua a los tanques individuales a través del sistema de distribución. De este modo se llevan a cabo el calentamiento y la circulación en los baños de decapado [DK-EPA-93].

Es importante no enjuagar entre el desengrase biológico y el decapado, dado que el arrastre de agentes químicos del baño de desengrase actúa como inhibidor en el baño de decapado, lo que evita que el ácido ataque el material de base [DK-EPA-93].

Tras el baño de decapado, se enjuaga, produciendo el llamado enjuague económico, que se utiliza para diluir el baño de decapado cuando debe desecharse parte del mismo. Normalmente, el enjuague económico tiene un contenido de hierro de 30 – 40 g/l y, en consecuencia, reduce significativamente la transferencia de hierro al baño de mordentado [DK-EPA-93].

El ácido de descincado agotado se suministra a Kommunekemi del modo habitual. El ácido de decapado desechado se entrega a una firma que lo utiliza como agente de precipitación en plantas de tratamiento de aguas residuales del alcantarillado municipal. Cuando cambian el baño, normalmente desaguan 20 m³ del baño, que se sustituyen por 10 m³ de ácido clorhídrico y 10 m³ de agua del enjuague económico [DK-EPA-93].

La producción de cloruro de hidrógeno en la sala de ácido es tan baja que incluso sin extracción el contenido en cloruro de hidrógeno está de 11 a 20 veces por debajo del valor límite de salud y seguridad laboral. Las mediciones de salud laboral en la sala de ácido muestran concentraciones de cloruro de hidrógeno en el aire de 0,32 – 0,65 mg/m³. Esto es sólo un 5 - 9 % del valor límite fijado por el Servicio de Protección del Ambiente Laboral en Dinamarca, que es de 7 mg/m³.

Dado que el decapado activado se implantó al mismo tiempo que el desengrase biológico y la regeneración del baño de mordentado, es difícil cuantificar las ventajas económicas. En principio, puede omitirse la extracción en la sala de ácido. Si hubiera extracción, podría ser necesario purificar el aire. Su solución significa que pueden trabajar sin estos equipos.

La vida útil de los baños de decapado aumenta en alrededor del 50% cuando se utiliza decapado activado, ya que el baño no se desecha hasta tener un contenido de hierro de 180 g/l, en lugar de los convencionales 120 g/l. Es barato deshacerse del baño de decapado desechado si no contiene cantidades importantes de zinc. La planta sólo debe pagar el transporte a Kemira Miljø en Esbjerg, donde el baño desechado se reprocesa como agente de precipitación [DK-EPA-93].

Es necesario un sistema de calentamiento para los baños de decapado cuando se utiliza decapado activado, lo que supone un gasto adicional en comparación con los baños de decapado convencionales.

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.4 Recuperación de HCl del baño de decapado consumido

C.4.3.4.1 Recuperación evaporativa (HCl)

Descripción: Véase Capítulo D.5.9.2

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco, reducción de la producción de ácido fresco (recursos, energía).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes

Efectos sobre otros medios:

- Alto consumo de energía [Com2 D].
- ¿Generación de solución de cloruro de hierro (concentrado) adecuada para reciclaje?

Plantas de referencia:
Datos operativos:

Las Figuras C.4-3 y C.4-4 muestran el diagrama de flujo y el balance de materia para un ejemplo de planta de galvanización.

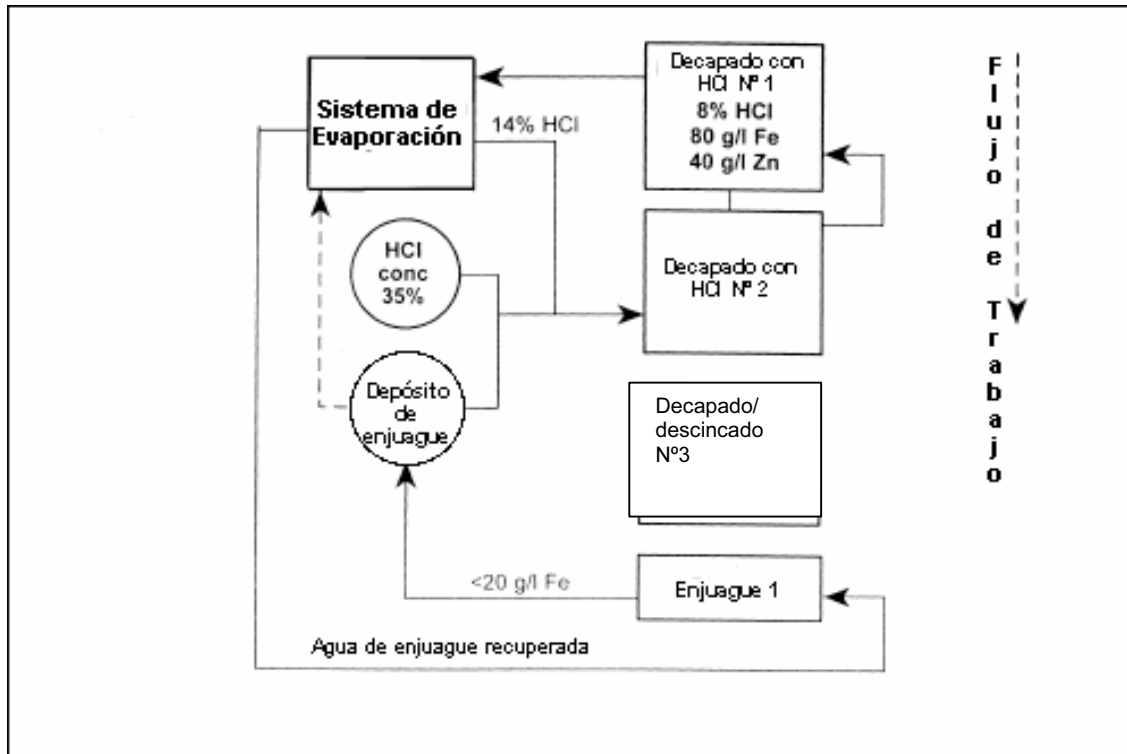


Figura C.4-3: Ejemplo de diagrama de flujo para la recuperación de HCl por evaporación en una planta de galvanización. [Cullivan-IG-97].

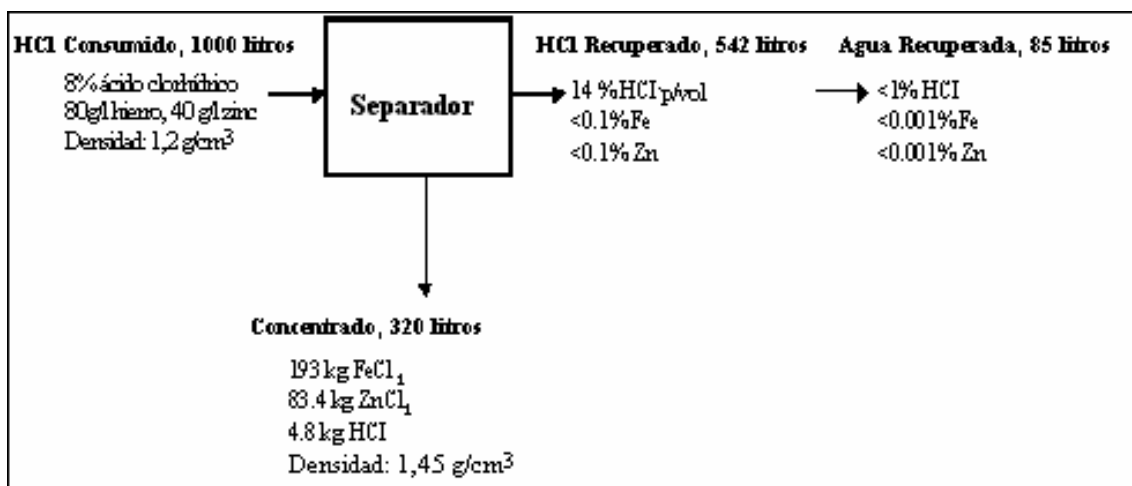


Figura C.4-4: Balance de materia para recuperación por evaporación (ejemplo) [Cullivan-IG-97].

El ácido recuperado puede ser devuelto al tanque de decapado. La adición de ácido fresco al tanque de decapado compensará las pérdidas de volumen producidas por la eliminación de la solución de cloruro de hierro y agua. El agua recuperada puede enviarse al tanque de enjuague, a los tanques de decapado o al baño de mordentado [Cullivan-IG-97].

El consumo de energía para la planta en su conjunto es de 230kWh/1000 l tratados, neto de recuperación de energía de 150 kW mediante el uso de un intercambiador de calor especial [Com2 EGGA].

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.5 Regeneración externa del baño de decapado con HCl agotado

C.4.3.5.1 Proceso de lecho fluidizado y tostación por pulverización

Descripción: véase Capítulo D.5.10.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de ácido fresco.
- Reducción del volumen de aguas residuales y de los lodos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Los procesos de lecho fluidificado y procesos de tostación por pulverización para la recuperación de HCl son útiles sólo en soluciones que contienen hierro pero no zinc. Si hay zinc en el material de alimentación, existe una fuerte posibilidad de que el proceso se desajuste. Aunque algunas fuentes indican un nivel máximo de 2 - 3g/l de zinc en el material de entrada, parece que el problema de la presencia de zinc no ha sido resuelto. En caso de problemas operativos debido al contenido en zinc del ácido agotado, pueden ser necesarias medidas de tratamiento preliminar para eliminar el zinc y permitir la regeneración. Hasta ahora, la tostación por pulverización no se aplica para regeneración en la galvanización en discontinuo en caliente.

Economía:

El proceso no es práctico a pequeña escala, por lo que no se aplica en el sector de la galvanización en discontinuo [Com EGGA].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.6 Decapado y descincado separados

Descripción:

En general, las mezclas de ácidos agotados, que contienen grandes cantidades de hierro y zinc, son muy difíciles de reutilizar o reciclar. Realizando el decapado y el descincado en tanques separados, el contenido de zinc en los baños de decapado de hierro puede mantenerse lo más bajo posible. Además, deben usarse sistemas de suspensión de un solo uso cuando sea posible (alambre), o eliminar el zinc de los sistemas de suspensión de empleo múltiple antes de su uso [ABAG].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos.
- Mantener los caudales de residuos separados permite su regeneración.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- Para las plantas existentes, su aplicación puede ser limitada debido a las limitaciones de espacio (para tanques adicionales).

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Otto, Kreuztal, Alemania [Com2 D].

Datos operativos:

Para reducir la generación de aguas residuales, el agua de enfriamiento por inmersión se utiliza a menudo para preparar y renovar las soluciones de decapado. No obstante, el agua de enfriamiento por inmersión puede añadir grandes cantidades de zinc a los baños de decapado. Una gestión cuidadosa del ácido puede conseguir un contenido de zinc de 5 a 10 g/l en baños de decapado de hierro [ABAG].

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.7 Reducción de la relación entre zinc y hierro

Descripción:

Los baños de decapado agotados pueden contener hasta un 5% de HCl libre. Añadiendo virutas de hierro, el ácido restante puede convertirse a cloruro de hierro. En baños de decapado mixtos con bajo contenido en zinc, esto puede producir relaciones zinc-hierro que permitan una regeneración de la mezcla de ácidos, por ejemplo mediante tostación por pulverización. Las trazas de contaminantes en la solución de decapado, como cadmio, plomo, silicio y otros metales de aleación, precipitan y pueden ser eliminadas. Las soluciones de decapado “degradadas”, si se regeneran térmicamente, normalmente producen óxidos de hierro de alta calidad, que pueden venderse más fácilmente [ABAG].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: *no se utiliza en la práctica [EGGA].*

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.7.1 Pretratamiento para aumentar las opciones de reutilización

Descripción: véase Capítulos D.5.9.3 y D.5.9.4.

Pretratamiento mediante **diálisis por difusión** o **retardación**

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Ambas técnicas (diálisis por difusión y retardación) requieren agua, lo que introduce más agua en el proceso y puede entrar en conflicto con el objetivo de una operación sin efluentes de las plantas de galvanización discontinua en caliente [Com2 D].

Plantas de referencia:

La diálisis por difusión fue sometida a ensayo en una planta de galvanización alemana. No tuvo éxito en esta aplicación [Com EGGA].

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.8 Recuperación de la solución de decapado mixta consumida mediante extracción con disolvente

Descripción:

El proceso de extracción con disolvente para la eliminación selectiva del zinc del ácido clorhídrico de decapado utiliza como agente de extracción el Tributilfosfato (TBF) y se basa en la siguiente reacción esquemática:



El ZnCl_2 de la fase acuosa se fija, formando un complejo de cloruro junto con el HCl , a la fase orgánica, menos densa que la fase acuosa. De este modo, puede separarse por decantación. Si la fase orgánica entra en contacto intensivo con una nueva fase de solución acuosa, la reacción complejante se invierte (reextracción), por lo que el extractor orgánico puede luego ser reciclado y se produce una solución acuosa diluida de ZnCl_2 . La solución de ZnCl_2 se evapora para aumentar la concentración de zinc. El condensado se recicla para su reextracción y el concentrado se vende. La Figura C.4-5 ilustra todo el proceso de forma esquemática.

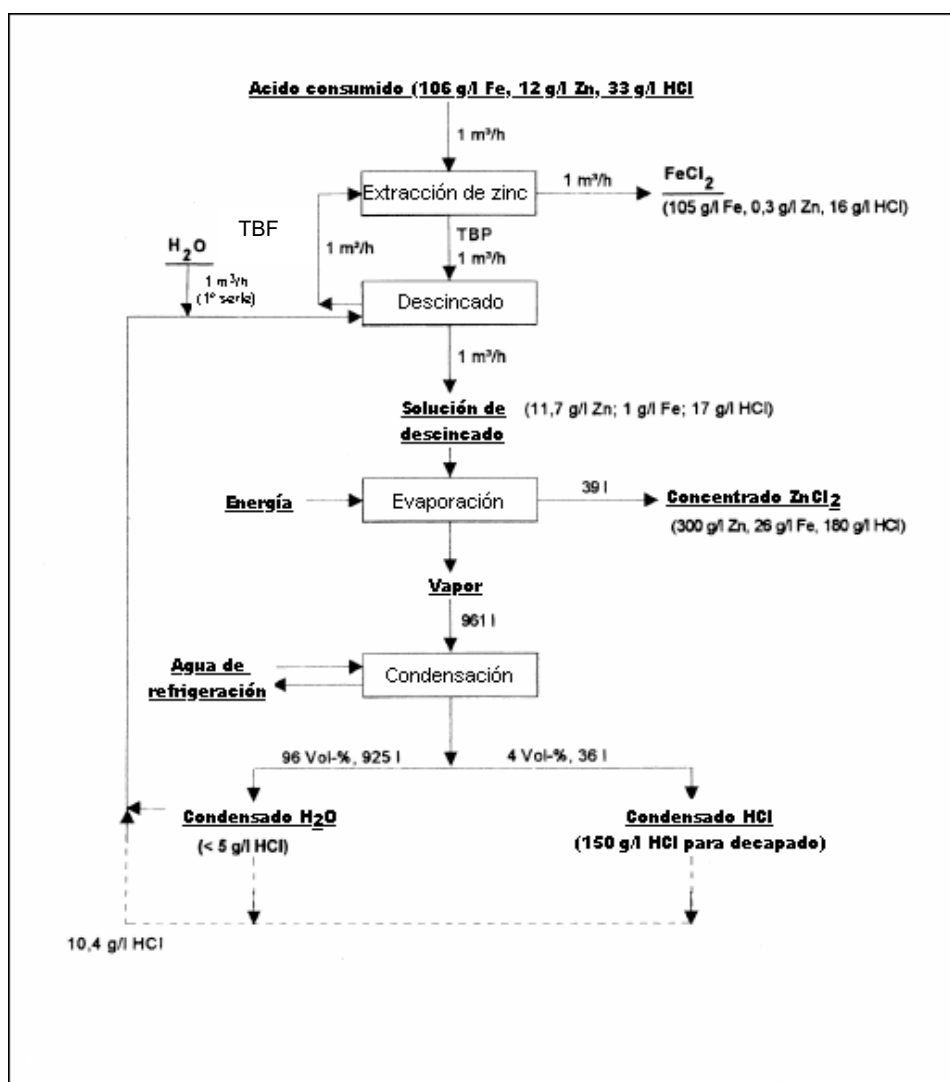


Figura C.4-5: Esquema del proceso de extracción con disolvente

El ácido agotado, almacenado en un tanque especial o en el recipiente de decapado, pasa a través de un filtro en el que se capturan las partículas sólidas como las virutas de metal, la cascarilla de óxido, los aceites insolubles, la suciedad y las colillas, etc.. El filtrado pasa por un dispositivo de tamponado y entra en el primero de las tres mezcladoras-decantadoras para la extracción con TBF. El zinc se extrae junto con un poco de HCl libre y ZnCl_2 .

La fase orgánica cargada de zinc sale de la sección de extracción después de tres contactos a contracorriente con el ácido agotado. Es posible aplicar más o menos etapas, según la concentración de zinc. La fase orgánica, que es menos densa que la acuosa, sale de la decantadora por encima de un dique que ajusta el límite de la interfase y la relación de volumen de las fases orgánica y acuosa.

El refinado de FeCl_2 sin zinc sale de la última mezcladora-decantadora (3ª etapa de extracción) por el fondo, y es capturado por un aglutinador para eliminar los residuos orgánicos. El refinado es bombeado al depósito de almacenamiento de la planta, que puede ser un tanque fijo o un camión cisterna. La fase orgánica cargada de zinc vuelve a entrar en la sección de extracción (mismo recipiente) consistente en tres nuevas etapas de mezcla-decantación. Aquí entra en contacto con agua corriente normal y el condensado de la unidad de evaporación. Las trazas de ZnCl_2 y FeCl_3 y el HCl se lavan para eliminar el agente extractor, que se recicla al vaso de extracción. La solución acuosa (solución de extracción) pasa de nuevo por un aglutinador y se bombea al recipiente de evaporación.

La solución de extracción tiene un contenido muy bajo en zinc y normalmente no tiene mayor uso. Por este motivo, se concentra a unos 300 g de zinc por litro. Puede conseguirse cualquier otra concentración adecuada.

La evaporación se realiza mediante un evaporador calentado por vapor construido con PVDF.

La concentración de zinc en la disolución cargada es de poco interés para el proceso de extracción. Idealmente, la solución de extracción contendrá unos 30 g/l de zinc. Cuanto menores sean las concentraciones de zinc en el ácido consumido, mayor será la producción nominal de ácido, debido a una mayor relación entre las fases acuosa y orgánica. No obstante, un mayor contenido de zinc supone mayores costes de tratamiento.

El calor para la evaporación se suministra mediante vapor producido en dos pequeños generadores de vapor. Los generadores de vapor pueden quemar gas natural o propano y tienen una elevada eficacia de conversión. El vapor se alimenta a presión a los tubos de PVDF del evaporador. De este modo, el calor se transfiere a la solución de extracción.

El vapor pasa por un condensador refrigerado por agua corriente desmineralizada en circuito. De este modo es posible recuperar por completo el agua evaporada y el HCl con una torre de refrigeración.

La condensación del vapor puede disponerse en dos pasos. Al principio se captura el agua con bajo nivel de HCl libre (< 5 g/l del volumen total). Esta fracción es alrededor del 85 – 95% del condensado total. Luego se cambia el tanque y se llena con el condensado remanente, rico en ácido. Se logra una concentración final de 15 – 18 por ciento, adecuada para decapado. El ácido puede reutilizarse en la misma planta. Debido a problemas técnicos, esta recuperación selectiva de HCl no fue posible dentro del periodo del proyecto.

La evaporación puede realizarse más o menos continuamente. Se completa cuando la concentración de zinc en la entrada del evaporador alcanza 300 g/l. La concentración final puede variar según los requisitos del cliente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reutilización de la mezcla de ácidos (con contenido de zinc).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Agentes químicos utilizados / disolventes

Plantas de referencia:

Una planta de extracción líquido-líquido para la recuperación de ácidos que contienen zinc y hierro opera para Norsk Hydro en Oberhausen, Alemania.

Se han realizado ensayos e investigaciones en una planta móvil en Berliner Grossverzinkerer/Metaleurop. Entre tanto, la unidad móvil ha sido convertida en una planta fija [Com2 D].

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.9 Reutilización de las soluciones de decapado mixtas agotadas

C.4.3.9.1 Eliminación del hierro y reutilización como agente de mordentado

Descripción:

El ácido clorhídrico agotado de la operación combinada de decapado y descincado, con elevadas concentraciones de hierro y zinc, puede procesarse y recuperarse como un baño de mordentado (véase Capítulo D.7.1.1). Tras su oxidación con peróxido de hidrógeno y neutralización con amoníaco, se separa el lodo de hidróxido de hierro. El líquido remanente contiene elevadas concentraciones de cloruro de zinc y de cloruro amónico que pueden reutilizarse como solución de mordentado [Com DK].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.9.2 Eliminación del zinc de los baños de decapado con ácido clorhídrico

Descripción:

El proceso (véase Figura C.4-6) se divide en 4 etapas, a saber:

- Eliminación del zinc
- Enjuague I (Elución 1).
- Extracción y regeneración
- Enjuague II.

El ácido de decapado se bombea fuera del baño a través de un filtro de platos para eliminar las partículas sólidas. El líquido limpio fluye entonces a través de la columna. En la columna se elimina el zinc del ácido de decapado, siendo absorbido por material de intercambio iónico. Tras abandonar la columna, el líquido libre de zinc es bombeado de nuevo al baño de decapado. De este modo, el sistema recicla el ácido. No obstante, el ácido no tiene necesariamente que ser recirculado y puede procesarse y luego almacenarse en un depósito (proceso en un solo paso) o ser bombeado a otro depósito, pasar por la columna y almacenarse en un tercer depósito (proceso en discontinuo).

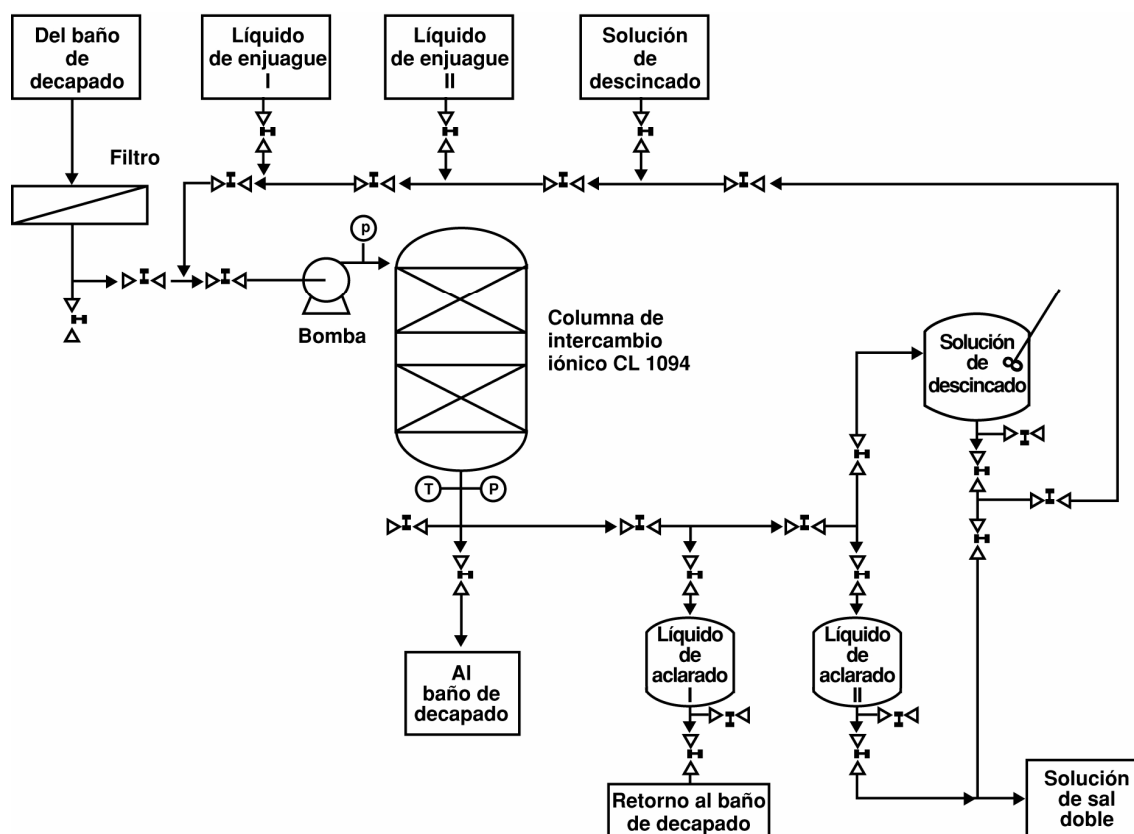


Figura C.4-6: Diagrama de flujo para la eliminación de zinc de los baños de decapado [Sprang-IG-97].

En la segunda etapa, cuando el material de intercambio iónico se satura de zinc, debe enjuagarse la columna para eliminar el ácido de decapado. El lavado se bombea entonces fuera del depósito de almacenamiento, a través de la columna, a un depósito de almacenamiento separado. La solución así obtenida es una solución de HCl que puede usarse para modificar la fuerza del baño de decapado. En la tercera etapa, el material de intercambio iónico se extrae con una solución alcalina para eliminar el zinc. Si no se realiza el enjuague de la segunda fase, precipita hidróxido de hierro, que interfiere en el proceso. La solución de extracción se utiliza varias veces hasta que se concentra. Cuando alcanza la saturación, puede utilizarse para modificar la composición del baño de mordentado. La solución de extracción contiene sólo ZnCl_2 y NH_4Cl . Una vez extraído y regenerado el material de intercambio iónico, deben eliminarse los últimos restos de la solución. Esto se realiza en la cuarta etapa, enjuagando con agua corriente. Si no se hiciera, el ácido de decapado se quedaría contaminado por NH_4^+ y, aunque se solucionaría el problema inicial de contaminación por zinc, se crearía uno nuevo (contaminación por NH_4^+).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: Se ha comentado que esta técnica requiere considerables costes de inversión y de operación, y que la escala económica es un factor crítico que puede no ser alcanzable en muchas plantas de galvanización en discontinuo de tamaño medio [Com2 UK Galv].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.10 Tratamiento del ácido residual por neutralización

Descripción: No se ha facilitado información.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Lodos neutros en lugar de líquido residual ácido.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Grandes cantidades de lodos mixtos de hidróxido de hierro y zinc [Com2 D].
- No hay recuperación o regeneración de ácido, por lo que se necesita ácido fresco.

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.11 Rango operativo del baño de ácido

Descripción: véase Capítulo D5.6.1.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, especialmente vapores ácidos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.12 Captura y precipitación de las emisiones del decapado

Descripción: véase Capítulos D.5.2 y D.5.3

Captura de las emisiones mediante extracción por el techo, las paredes o los bordes, hacia campanas laterales en combinación con lavadores de platos o rellenos. El líquido de lavado puede recircularse al tanque de decapado.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, especialmente vapores ácidos.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas.
- Instalaciones existentes con algunas limitaciones debido al espacio.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

los lavadores pueden conseguir niveles de emisión de HCl por debajo de 10 mg/m³.

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.3.13 Sección de pretratamiento cubierta (desengrase/decapado)/ extracción de aire y precipitación

Descripción: véase Capítulo D.5.3.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera, en concreto vapores ácidos y vapor de desengrase.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.4 Enjuague

C.4.4.1 Instalación del baño de enjuague / tanque de enjuague estático

Descripción:

Tras el decapado, las piezas de acero se enjuagan en un tanque de enjuague estático (puede aplicarse el mismo procedimiento tras el desengrase). Si el agua está demasiado contaminada para asegurar un enjuague eficiente, el agua se reutiliza en el proceso anterior como agua para compensar las pérdidas por evaporación y arrastre. Con un diseño adecuado y un poco de práctica, todas las aguas de enjuague pueden usarse en la planta de galvanización.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Funcionamiento sin aguas residuales.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas
- Plantas existentes siempre que haya disponible espacio para los tanques de enjuague.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.4.2 Enjuague en cascada

Descripción:

Enjuague a contracorriente (véase abajo para un ejemplo ilustrativo).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reduce la contaminación del baño de mordentado [DK-EPA-93].
- Funcionamiento sin aguas residuales.

Aplicabilidad:

- Instalaciones nuevas.
- Instalaciones existentes si hay espacio disponible (debido al requisito de más de 1 tanque adicional, muy limitada).

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Herning Varmforzinkning A/S, (periodo de experiencia: 1,5 años) [DK-EPA-93].

Datos operativos:

Ejemplo Herning Varmforzinkning:

Sistema de enjuague cerrado de 3 pasos tras el decapado:

En Herning Varmforzinkning se ha iniciado el uso de 3 tanques de enjuague sin salida tras el proceso de decapado. Aquí la contaminación del baño de mordentado se reduce en un 85 – 90%, lo que produce una vida más larga del baño de mordentado y menos residuos de mordentado. Los tanques de enjuague se utilizan para diluir el baño de decapado, tras lo cual se diluye el primer tanque con agua del segundo tanque, que a su vez se diluye con agua del tercer tanque, que se diluye con agua corriente [DK-EPA-93].

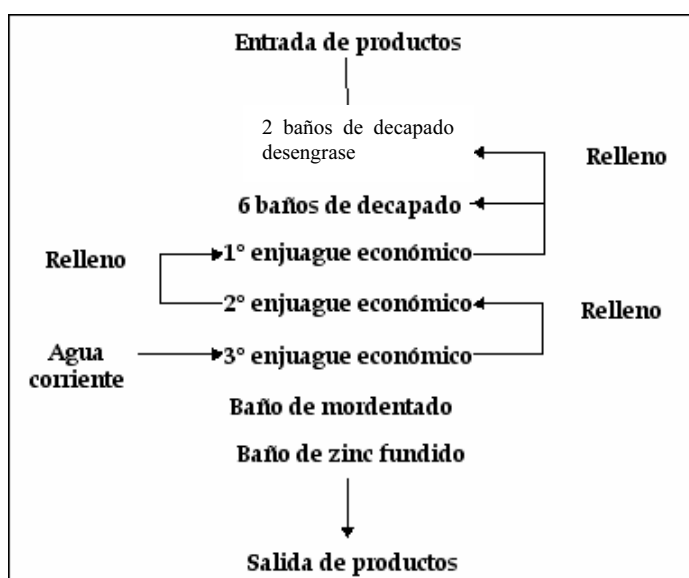


Figura C.4-7: Enjuague en cascada instalado en una planta de galvanización [DK-EPA-93].

Todas las piezas se decapan durante un mínimo de 10 minutos en un baño de decapado-desengrase, que realiza ambas funciones al mismo tiempo. Se trata de ácido clorhídrico al 10% al que se han agregado agentes desengrasantes. Después, se decapan un poco más en ácido clorhídrico de mayor pureza. Tras este decapado final se enjuagan en tres enjuagues económicos consecutivos, tras lo cual las piezas se sumergen en el baño de mordentado y por último en el zinc fundido [DK-EPA-93].

Hay 2 baños de decapado-desengrase de 23 m³ en los que se cambia el líquido cuando el contenido de hierro ha alcanzado los 129 g/l, lo que tarda unos 6 meses. Entonces se forma un nuevo baño de decapado-desengrase a partir de 12 - 15 m³ de agua del primer enjuague económico y 8 - 11 m³ de ácido clorhídrico al 30% [DK-EPA-93].

Hay 6 tanques de 23 m³ con líquido de decapado a base de ácido clorhídrico puro, con un 10% aproximadamente de ácido libre. Estos baños de decapado no se cambian hasta que el contenido de hierro llega a más de 100 g/l, lo que todavía no ha ocurrido (el sistema se implantó el 1 de Diciembre de 1991). Estos baños de decapado tienen una vida algo más larga que los baños de decapado-desengrase, ya que en estos últimos se produce un decapado grueso que satura el baño pronto de hierro. Los baños de decapado propiamente dicho se prevé que tengan una vida útil de 1,5 – 2,0 años. Los nuevos baños de decapado se confeccionan con una mitad de enjuague económico y la otra mitad de ácido clorhídrico al 30% [DK-EPA-93].

En los baños de decapado, tanques de enjuague y baños de mordentado se han medido los siguientes valores de hierro [DK-EPA-93]:

- Baño de decapado: hierro = 75 - 85 g/l
- 1º Enjuague económico: hierro = 40 - 50 g/l
- 2º Enjuague económico: hierro = 25 - 35 g/l
- 3º Enjuague económico: hierro = aprox. 10 g/l
- Baño de mordentado: hierro = aprox. 5 g/l

Cuando la concentración de hierro en el baño de mordentado alcanza los 10 g/l, el baño se evacua a un camión cisterna y se lleva a la fábrica de Vildbjerg, que dispone de un sistema de purificación y regeneración para baños de mordentado. El camión cisterna regresa con 23 m³ de baño de mordentado purificado, de modo que la producción pueda continuar inmediatamente en la fábrica de Herning [DK-EPA-93].

Desde el principio, la empresa había esperado que los baños de decapado limpios pudieran mantenerse libres de zinc, pero esto ha resultado imposible en la práctica. El contenido en zinc del baño de decapado-desengrase es tan elevado que la transferencia a los baños de decapado limpios produce una contaminación considerable de zinc en dichos baños [DK-EPA-93].

Economía:

En la planta de Herning, el sistema requiere 3 tanques de decapado de 23m³ en lugar de pasar directamente desde el baño de decapado al de mordentado. La ventaja es que este último no se contamina tan rápidamente. El baño de mordentado se purifica en su propia planta purificadora en la otra fábrica de la empresa, cerca de Vildbjerg. Es difícil cuantificar los ahorros obtenidos [DK-EPA-93].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.5 Mordentado

C.4.5.1 Mantenimiento del baño

Descripción:

Para compensar las pérdidas por arrastre y mantener constante la concentración de los baños de mordentado, se agregan agentes de mordentado y agua de forma regular. Para evitar el arrastre de cloruros de hierro de los baños de decapado, las piezas a galvanizar deben enjuagarse a fondo antes del mordentado. Es necesario un control estricto del contenido de hierro. No obstante, es inevitable una acumulación de cloruro de hierro, por lo que la solución de mordentado debe cambiarse o regenerarse periódicamente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos, evita el desecho prematuro de los baños de mordentado.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.5.2 Eliminación de hierro de los baños de mordentado mediante aireación y precipitación del hierro

Descripción:

Se airea la solución de mordentado para facilitar la precipitación del hierro, y luego se decanta la solución para eliminar el lodo resultante del fondo del tanque. Esta operación tiene la ventaja de reducir los niveles de hierro, aunque no a niveles muy bajos [Com2 Wedge].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.5.3 Eliminación del hierro de los baños de mordentado mediante oxidación con H_2O_2

Descripción: véase Capítulos D.7.1.1

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos (mordiente consumido).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Plantas existentes siempre que haya espacio disponible.

Efectos sobre otros medios:

- Producción de lodos de hidróxido de hierro (60 % agua, 6.5 % zinc, 20 % hierro), que deben desecharse.

Plantas de referencia: CM Jernvarer A/S, (periodo de experiencia: 0,5 años) [DK-EPA-93].

Datos operativos:

Ejemplo: CM Jernvarer AIS (Dinamarca):

CM Jernvarer AIS ha implantado un sistema de regeneración para su baño de mordentado, que le permite eliminar de forma continua la contaminación por hierro del baño. En el proceso de purificación, el ácido clorhídrico presente es neutralizado, generando cloruro amónico que es uno de los dos componentes del baño. La composición óptima del baño de mordentado se mantiene agregando una dosis extra de cloruro de zinc y de cloruro amónico calculada sobre la base de análisis químicos rutinarios [DK-EPA-93].

El sistema ha sido diseñado para la purificación continua del baño de mordentado, y diariamente se purifican unos 5000 litros. Con esta capacidad, el sistema puede de hecho purificar un baño de mordentado contaminado por hierro correspondiente a una producción de al menos 10.000 toneladas de productos al año. El baño se bombea a través de un reactor al cual se dosifica agua oxigenada y solución acuosa de amoniaco mediante un redox y un controlador redox y de pH. El hierro se oxida y precipita como lodos de hidróxido de hierro. El baño de mordentado con lodos es recogido en un espesador de lodos, en el que se separa el lodo. El lodo es luego deshidratado en filtro prensa, recogiendo el filtrado y el agua de decantación del espesador en un tanque de almacenamiento, desde donde se reutiliza en el baño de mordentado. El baño de mordentado desechado con elevado contenido de hierro puede también ser purificado por este sistema. Se administra lentamente junto con el líquido de mordentado ligeramente contaminado o puede purificarse separadamente mediante varios tratamientos sucesivos. El ácido de descincado agotado también puede ser tratado. En este caso se requiere una dosis reducida para evitar que haya concentraciones demasiado grandes de lodo en el líquido. El ácido de descincado contiene grandes volúmenes de cloruro de zinc que se mezclan en el baño de mordentado en este proceso. No obstante, dado que en el baño de mordentado debe mantenerse una cierta relación entre cloruro amónico y cloruro de zinc, hay un límite máximo en cuanto al volumen de ácido de descincado que puede admitir el sistema si debe mantenerse la concentración de cloruro de zinc al valor óptimo [DK-EPA-93].

En la purificación de los baños de mordentado viejos, no se dosificó agua con amoniaco, ya que el pH se mantuvo en el valor deseado de 4,5. Normalmente, el consumo de amoniaco es de 2,4 g de solución de

amoniaco en agua al 25% por g de hierro II (hierro disuelto). Esto corresponde a un consumo esperado de 1800 kg de solución de amoniaco disuelto en agua para la regeneración de baños de mordentado de 50 m³.

No hubo grandes problemas durante el periodo de implantación, y tras algunos pequeños ajustes el sistema funciona hoy según lo previsto, con un mínimo de tiempo dedicado a su operación y mantenimiento. Tras la purificación de los baños de mordentado viejos, el sistema está hoy conectado al baño de mordentado utilizado en la producción, de modo que se mantiene la concentración de hierro lo más baja posible. Todavía no se ha comenzado a tratar el ácido de descincado desechado en el sistema [DK-EPA-93].

Economía:

El sistema ha costado 310000 DKK incluyendo equipo, instalación, puesta en marcha y asesoramiento, pero excluye dos tanques de almacenamiento para baño de mordentado purificado y no purificado. El sistema ha sido instalado en las dependencias existentes. Durante los primeros 3 meses se han purificado 50 m³ de baño de mordentado consumido con un elevado contenido de hierro (14 - 15 g/l). Los costes han sido:

270 l de peróxido de hidrógeno al 35 % a 7,00 DKK	1890 DKK
4 toneladas de tortas de filtro a 1500 DKK	6000 DKK
Electricidad	<u>1000 DKK</u>
Total	8890 DKK

Ahorro directo en comparación con el envío a Kommunekemi:

50 m ³ de baño de mordentado consumido a Kommunekemi	75000 DKK
Agentes de mordentado: 20 toneladas a 8800 DKK	<u>176000 DKK</u>
Total	251000 DKK

En la práctica, los ahorros ascendieron a unos 100000 DKK solamente, ya que la planta habría limpiado el baño de mordentado manualmente si no hubiera habido un sistema de regeneración. Al limpiar manualmente, sólo se envía el lodo del fondo a Kommunekemi. También hay muchos importantes ahorros económicos que son difíciles de cuantificar. El consumo de zinc cae sustancialmente (5 - 10 %) cuando se utiliza un baño de mordentado con un bajo contenido en zinc, y la producción de matas y de cenizas de zinc se reduce asimismo. El periodo de amortización es probablemente inferior a 1 año [DK-EPA-93].

Ejemplo: Galva 45:

A continuación se presentan los resultados (Enero-Abril 1993) del proceso de regeneración de mordiente utilizado en Galva 45, Francia:

		Primera línea (7 m baño)	Nueva línea automatizada (3,5 m baño)
Contenido total en sal	(g/l)	461	450
%ZnCl ₂ - %NH ₄ Cl		55 - 45	57 - 43
Temperatura	(°C)	46	50
Fe	(g/l)	0,9	0,38
Adición de ZnCl ₂ or NH ₄ Cl		0	

Ventajas de la purificación de los baños de mordentado:

- Mejora de la calidad: Manteniendo muy bajos (por debajo de 1 g/l) los niveles de ácido y de hierro en el baño de mordentado, habrá una fuerte reducción en la formación de matas y, en consecuencia, menos defectos debidos a las inclusiones de matas en el recubrimiento de zinc. El recubrimiento de zinc tendrá un espesor más regular y por consiguiente un aspecto brillante. La reducción del número de piezas galvanizadas con defectos superficiales produce una reducción de las piezas que deben reciclarse.
- Reducción en el consumo de zinc: Se consiguen reducciones en la cantidad de zinc utilizado y en la formación de cenizas y de matas, lo que produce una reducción valiosa del consumo total de zinc.

- Mayor rentabilidad interna, gracias a la producción de mordiente y a la reducción de solución efluente, que compensa los costes de reactivos y los costes de desecho de los residuos sólidos de hierro. Los ahorros directos fueron de aproximadamente 1,7 ECU por tonelada de productos galvanizados.
- Proceso ecológico: Hubo una notable reducción en la producción de residuos, dado que el tonelaje de soluciones efluentes utilizado para producir el mordiente era mayor que la producción de nuevos residuos sólidos de hierro.

Economía:

Los costes operativos pueden cambiar de una planta a otra. También dependen del nivel de producción de cada planta de galvanización y especialmente de la composición química de las soluciones de decapado y de desengrase, la temperatura y la composición requerida del baño de mordentado. No obstante, los beneficios estimados que serían de esperar utilizando la regeneración del mordiente en una planta de galvanización convencional se muestran en la Tabla C.4-1.

Los ahorros debidos a la producción de sales de mordentado, la reducción del consumo de zinc y del número de piezas para reciclar, así como a la supresión del coste de tratamiento de los baños de mordentado deteriorados se estima en 13,79 ECU por tonelada galvanizada. Con un coste de mano de obra de 0,74 ECU/tonelada, el beneficio neto sería de unos 13,0 ECU/tonelada. Para una planta de galvanización que produjera 20.000 toneladas al año, el ahorro anual estimado sería de 261.000 ECU.

	Unidad	Consumo o Producción Específica (unidades/t Fe)	Ahorro (+) o coste específico (-) (ECU/unidad)	Ahorro (+) o coste específico (-) (ECU/t Fe)
Consumos				
NH ₄ OH	l	0,920	-0,183	-0,168
H ₂ O ₂	l	0,345	-0,731	-0,252
Matas	kg	0,310	-0,519	-0,161
Solución de decapado agotadas	kg	8,330	+0,094	+0,783
Producciones				
Mordiente	kg	1800	+0,926	+1,667
Tortas de filtración Fe	kg	0,770	-0,192	-0,148
TOTAL				+1,721
Nota: Fuente de los datos: Estas cifras se basan en los datos operativos de enero a abril de 1993 para la instalación Galva 45. Las cifras de producción/consumo específico y los costes de reactivos pueden variar de una planta a otra.				

Tabla C.4-1: Producciones/consumos específicos y costes/ahorros para un sistema de regeneración de mordiente.

El ahorro en el coste de desecho de la solución de decapado agotada utilizado para este cálculo tiene en cuenta una subvención temporal del 30% de las autoridades francesas. En condiciones normales, sin subvención, el ahorro sería mayor.

Ahorros	ECU/tonelada
(1) Producción de sales de mordentado incluyendo coste de reactivos y reducción de efluentes	1.72
(2) Reducción del consumo de zinc	9.11
(3) Reducción en el regalvanizado de piezas defectuosas	2.28
(4) Supresión del coste de tratamiento del baño de mordentado agotado	0.68
TOTAL:	13.79
Costes:	
(5) Mano de obra	0.74
Beneficio neto:	13.05
Nota: Fuente de datos [PURIFLUX]. Los ahorros son valores estimados esperados por la introducción del proceso de regeneración en una planta de galvanización convencional de 20.000 toneladas/año. Esto varía de una planta a la otra.	

Tabla C.4-2: Resumen de ahorros y costes

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.5.4 Renovación del hierro de los baños de mordentado mediante oxidación electrolítica

Descripción: véase Capítulo D.7.1.2

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos (mordiente agotado).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Plantas existentes siempre que haya espacio disponible.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos y Economía:

Ejemplo: Industrial Galvanizers Corporation (Australia):

Esta planta de galvanización procesa unas 10000 – 12000 toneladas anuales de trabajo general que incluye una proporción razonable de tubos y productos fabricados. El espesor medio del acero procesado por esta planta es de unos 3 mm [CEPT].

Los tres costes operativos identificables asociados con la contaminación por hierro del mordiente son: desecho de efluentes, coste del zinc y coste de los productos químicos. Los costes varían de una planta a la otra y dentro de cada planta según el método empleado para controlar la composición de la solución de pre-mordentado. En el caso estudiado se utilizó un sistema de enjuague para evitar la transferencia de ácido y hierro a la solución de pre-mordentado [CEPT].

Un examen de los costes operativos de la planta antes y después de la introducción de la regeneración muestra los siguientes ahorros de costes:

Desecho de efluentes	20,2 %
Producción de matas	27,6 %
Agentes químicos	10,5 %
Producción de ceniza	39,0 %
Zinc	10,4 % [CEPT].

Ventajas:

- Eliminación de la necesidad de tratar el enjuague o su rebose.
- Minimización del lodo a desechar con respecto al tratamiento convencional del baño de mordentado.

Los ahorros han superado con mucho las expectativas. Estos ahorros se han producido en el desecho de efluentes, en el zinc empleado y en el uso de reactivos y, en el caso estudiado superaron los 12,50 A\$ por tonelada de acero galvanizado. El análisis original de costes y beneficios, en el que se justificaba la implantación de las unidades, predecía un periodo de amortización de 12 a 24 meses. En su aplicación, esta predicción se ha mejorado considerablemente y se ha conseguido la recuperación de los gastos de inversión en un periodo de 6 a 9 meses [CEPT].

Se cree que los ahorros adicionales han sido el resultado de mejoras en la gestión de la planta que no estaban incluidas en la estimación original, pero que se han conseguido mediante una mejor atención al detalle en práctica de producción. Esta mayor atención al detalle ha sido resultado directo de la puesta en práctica de la tecnología. Este sistema de regeneración, junto con el control del estado del baño de pre-mordentado, ha demostrado ser una herramienta de gestión de gran utilidad para el control del comportamiento de las líneas de preparación de metal [CEPT].

Desventajas:

Se ha comentado que el sistema requiere considerable aportación por parte de los operarios, y que se han señalado problemas para encontrar recambios (de Australia) [Com2 EGGA].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.5.5 Eliminación del hierro de los baños de mordentado mediante columnas de intercambio

Descripción: véase Capítulo D.7.1.3

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos (mordiente agotado).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas.
- Plantas existentes siempre que haya espacio disponible.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Ejemplo: Planta holandesa

Ventajas:

- Reducción en la toma de zinc del 9,5 a < 7 %.
- Aumento de la productividad de más del 10%.
- Menor producción de ceniza de zinc.
- Menor producción de humo.
- Menor producción de matas, de 8 t/2 semanas a 2 t/6 semanas.
- Mayor calidad de los productos [Sprang-IG-97].

C.4.5.6 Reutilización/regeneración (externa) de los baños de mordentado agotados

Descripción: Véase Capítulo D.7.2

Los baños de mordentado agotados se envían al exterior, normalmente a productores de agentes de mordentado, para su reciclaje. Las sales de la solución mordiente consumida pueden utilizarse para la producción de agente mordiente.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Th. Goldschmidt, Alemania

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6 Inmersión en zinc fundido

C.4.6.1 Crisoles de galvanización cubiertos

Descripción:

Cerramientos en combinación con lavadores o filtros de tejido.

Las Figuras C.4-8 y C.4-9 muestran algunos ejemplos de diseños de cerramientos.

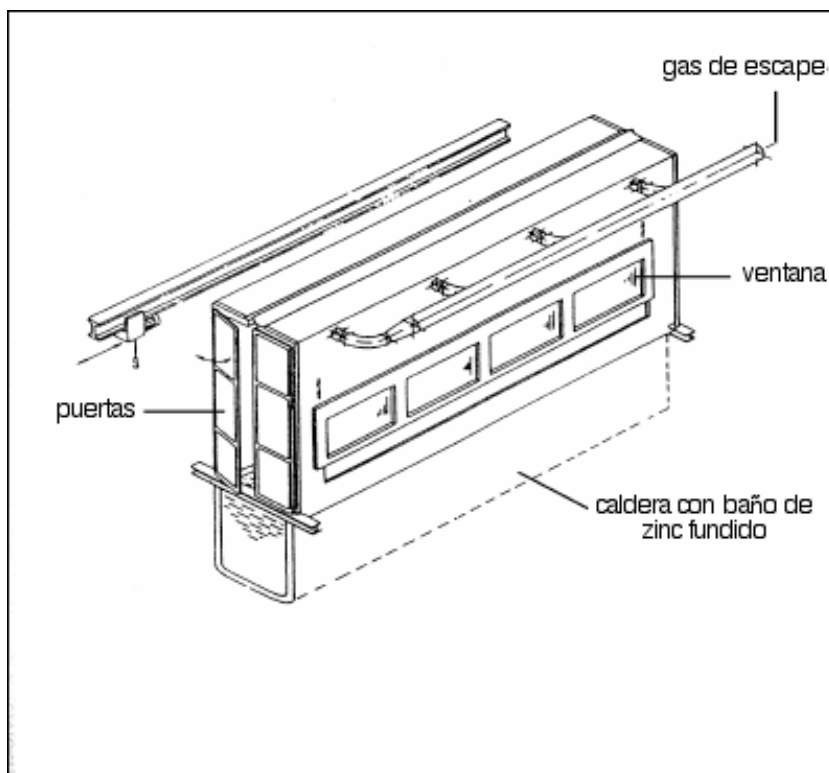


Figura C.4-8: Cerramiento estacionario
[Galva-94-1].

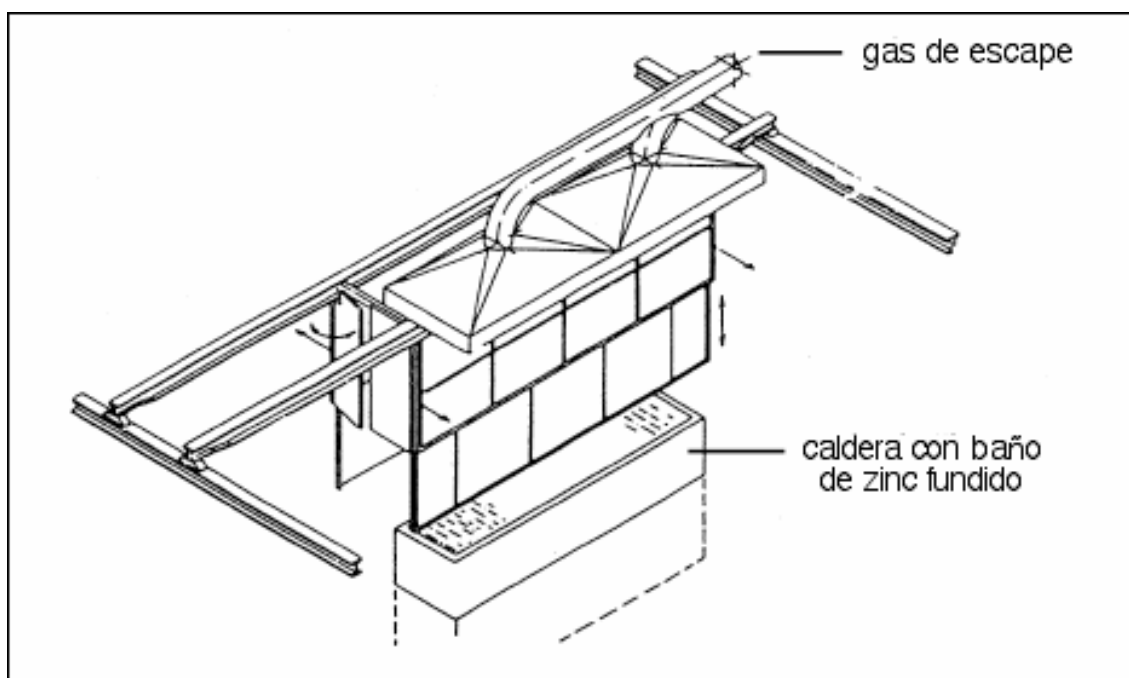


Figura C.4-9: Cerramiento móvil con movimiento vertical de sus paredes laterales móviles
[Galva-94-1].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones fugitivas a la atmósfera (se reporta una reducción del 95 – 98% en la captación de polvo y otras emisiones [Com2 B]).
- Reducción de las salpicaduras.
- Ahorro de energía debido a la menor pérdida de calor de la superficie del baño de galvanización [Com2 EGGA].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.
- Carga en la dirección longitudinal del baño.

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía (se utiliza energía eléctrica para los ventiladores de extracción, limpieza de filtros y posible calentamiento de los filtros), pero en comparación con otros sistemas de aspiración se requiere una aspiración más suave (lo que significa que se consume menos energía) [Com2 B].
- Lavadores húmedos: generan aguas residuales, que requieren tratamiento, menor potencial de reciclaje que el polvo seco de los filtros.

Plantas de referencia: Verzinkerei Rhein-Main GmbH, Groß-Rohrheim, Alemania.

Datos operativos:

La Tabla C.4-3 compara ejemplos de partículas y humo de los baños de galvanización para distintas técnicas de eliminación.

Componente	Emisión [mg/m ³]. Sin precipitación	Emisión [mg/m ³]. Lavador Húmedo ^(1,2)	Emisión [mg/m ³]. Filtro de Mangas ⁽³⁾
Polvo	20	< 1.7	4,2 – 4,6
Zinc	2,3	0,11 – 0,38	0,49 – 0,52
ZnCl ₂	n.a.	0,16 – 0,34	n.d.
NH ₄ Cl	7,4	0,02 – 0,05	n.d.
NH ₃	2,6	n.d.	n.d.
HCl	23	n.d.	n.d.

Nota: Fuente de los datos [Dan-EPA].
¹ Caudal = 39500 m³
² Contenido en Pb: 0,005 – 0,007 mg/m³
 Contenido en Cd: < 0,0002 mg/m³
³ Caudal = 13400 m³

Tabla C.4-3: Concentraciones en las emisiones de los baños de galvanización

Ejemplo: Verzinkerei Rhein-Main GmbH (Alemania)

Datos operativos:

Componente	Emisión ¹⁾ en mg/m ³
Polvo	< 1
Zinc	0,03
ZnCl ₂	0,1
NH ₄ Cl	32
HCl	< 10

a: Fuente de los datos [UBA-Hoesch-87]; caudal = 23400 m³/h; sistema de eliminación: filtro de tejido; 1) Valor medio de 8 medidas individuales; periodo medio de medición: 32 minutos, calculado como periodo absoluto de inmersión, de 5 a 8 inmersiones individuales.

Tabla C.4-4: Concentraciones en las emisiones de los baños de galvanización.

Economía:

En Verzinkerei Rhein-Main, se registraron costes de inversión de 1634167 DM y costes operativos de 309000 DM en 1995 para la instalación de un cerramiento en combinación con un filtro de tejido. Los costes operativos incluyen 259000 DM de servicio de financiación [UBA-Hoesch-87].

Otras fuentes reportaron emisiones de polvo del recubrimiento en caliente de 1 – 3 mg/m³ utilizando filtros de tejido [Flatt/Knupp].

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.2 Extracción por el borde en las calderas de galvanización

Descripción:

Extracción por el borde en combinación con lavadores o filtros de tejido.

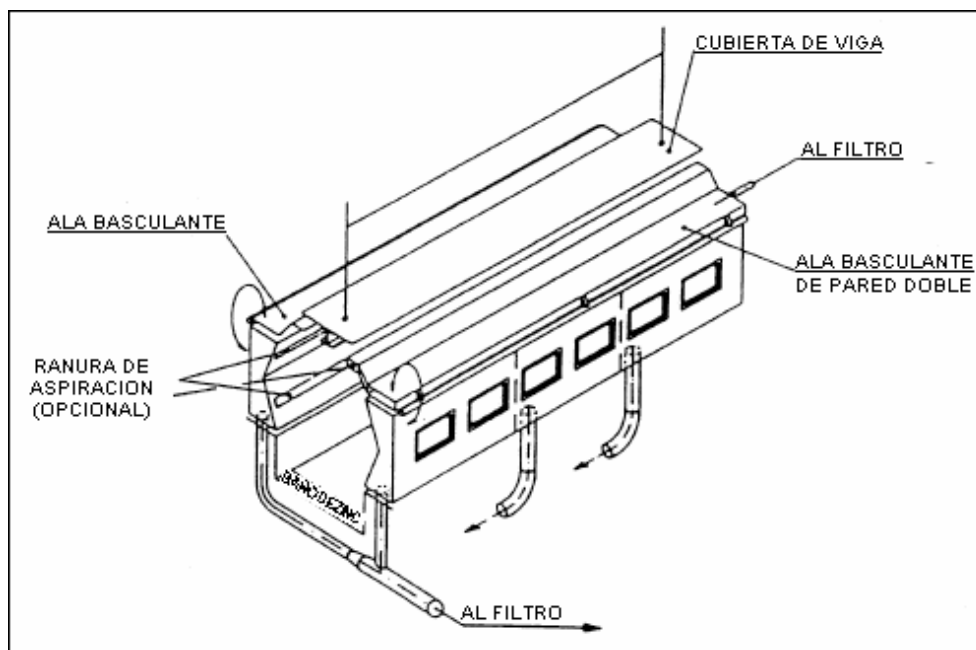


Figura C.4-10: Extracción periférica bilateral con sistemas auxiliares [Galva-94-1].

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- Consumo de energía (se utiliza energía eléctrica para los ventiladores de extracción, limpieza de filtros y posiblemente calentamiento de los filtros).
- Lavadores húmedos: Generan agua residual, que precisa tratamiento, menor potencial de reciclaje que con el polvo seco.

Plantas de referencia: Fa. Wilhelm Hähn, Kreuztal-Ferndorf, Alemania.

Datos operativos:

Ejemplo: Wilhelm Hähn, Alemania

La Tabla C.4-5 da algunos ejemplos de emisiones de un baño de galvanización bajo distintas condiciones.

Punto de medición	As ³⁺ [μg/m ³]	Cd ³⁺ [μg/m ³]	Pb ²⁺ [μg/m ³]	Zn ²⁺ [mg/m ³]	NH ₄ ⁺ [mg/m ³]	Cl ⁻ [mg/m ³]	Polvo [mg/m ³]
Sobre la superficie del zinc sin extracción de aire	106,9	117,2	125,3	44,5	197,9	14,3	384,6
Sobre la superficie del zinc con extracción de aire	1,4	2,9	53,1	0,9	0,2	1,2	0,5
Gas crudo	3,6	5,1	49,0	6,2	17,5	7,4	24,1
Gas limpio	0,1	0,1	1,8	0,017	9,0	2,7	0,1

Nota: Fuente de los datos [UBA-Hähn-83].
 Basado en estudio de caso: extracción por el borde, 3380 m³/m². h = 32958 m³/h; precipitación = filtro de mangas.

Tabla C.4-5: Ejemplos de emisiones desde un baño de galvanización

Los datos de emisiones son valores medios de seis mediciones individuales con un periodo de medición medio de 18 minutos, calculado como periodo de inmersión absoluto de 2 – 4 operaciones de recubrimiento por inmersión en cada uno. La repetición de las mediciones en 1996 confirmó estos datos y mostró los siguientes resultados: Polvo <0.13 mg/m³ y HCl 0.9 mg/m³. Estos valores son valores medios de 4 mediciones individuales con un periodo de medición medio de 28 minutos, calculado como periodo de inmersión absoluta de 3 – 4 operaciones de recubrimiento por inmersión en cada uno.

Los filtros de tejido muestran eficacias de reducción del 99,6%.

Economía:

La carga financiera sobre el producto debida estrictamente a medidas de supresión de contaminación, como ventilación durante el desengrase, enjuague en caliente, baño de mordentado y de zinc, así como filtro de tejido para la eliminación del polvo, fue en promedio de 32 DM/t de producto en 1983 [UBA-Hähn-83].

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.3 Agente de mordentado con bajo nivel de humo

Descripción:

En los agentes de mordentado con bajo nivel de humo, el cloruro amónico es sustituido parcialmente por otros cloruros alcalinos (ej: cloruro potásico).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de las emisiones a la atmósfera.
- Reducción de matas.

La Tabla C.4-6 compara los porcentajes de agente de mordentado emitidos, que quedan en las piezas recubiertas y que pasan a la ceniza de zinc para mordiente común con cloruro amónico y mordiente con cloruro potásico.

Agente mordiente	Emisión	Piezas	Ceniza de zinc
ZnCl ₂ : 89 % NH ₄ Cl: 11 % Contenido de sal: 170 g/l	33 %	2 %	65 %
ZnCl ₂ : 32 % KCl: 68 % Contenido de sal: 170 g/l	19 %	1 %	80 %
Nota: Fuente de los datos [ABAG]			

Tabla C.4-6: Comparación de emisiones de los agentes de mordentado normales y con bajo nivel de humo

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

- La ceniza de zinc puede aumentar (según algunas fuentes).
- Los mordientes de bajo nivel de humo producen vapores menos visibles, pero dado que la visibilidad de los humos es función del tamaño de las partículas, es posible que haya partículas más pequeñas en el aire y por lo tanto una mayor posibilidad de un efecto adverso sobre la salud al respirar el polvo [Com2 UK Galv].

Los resultados de investigaciones recientes, sin embargo, indican que no hay riesgo para la salud con uno u otro tipo de mordiente, ni hay riesgo en relación con el tamaño de las partículas en el aire [Piat 19.9].

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Los agentes de mordentado basados en cloruro de zinc/cloruros alcalinos no producen un efecto decapante adicional durante la inmersión en el zinc y en consecuencia no disuelven más hierro. Esto reduce la generación de matas por una parte, pero también requiere un óptimo decapado en la sección de pretratamiento para obtener recubrimientos de alta calidad [ABAG].

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.4 Reutilización del polvo de los filtros

Descripción:

El polvo precipitado de los filtros de mangas se compone básicamente de cloruro amónico y cloruro de zinc (agente de mordentado). El polvo se recoge, se encierra en bolsas y se envía periódicamente para su reciclaje a productores de agentes de mordentado. El reciclaje puede estar limitado por el contenido de aceite y grasa (debe ser inferior al 3%), o por el contenido en dioxinas.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes con filtros de tejido.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.5 Reducción de la generación de matas

Descripción:

Las siguientes medidas reducen la generación de matas:

- Enjuague suficiente tras el decapado.
- Regeneración continua del baño de mordentado.
- Uso de agentes de mordentado bajos en cloruro amónico, que tienen un bajo efecto decapante (eliminación de hierro).
- Evitar el sobrecalentamiento local en los crisoles de galvanización calentados externamente (reacción con las paredes del crisol) [Com D], [Com2 EGGA].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Menos residuos, uso más eficiente de las materias primas (no hay que reciclar las matas).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.6 Reducción de las salpicaduras

Descripción:

Las siguientes medidas reducen las salpicaduras:

- Secado suficiente tras el baño de mordentado.
- Las zonas circundantes de las calderas de galvanización deben mantenerse limpias para obtener zinc recuperable con un mínimo de impurezas [Com D].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Menos residuos, uso más eficiente de las materias primas (no hay que reciclar las salpicaduras de zinc).

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.7 Reutilización de las cenizas de zinc

Descripción:

Pueden fundirse los granos de zinc contenidos en la ceniza de zinc y reciclarse a la caldera de galvanización. El grado de reducción es del 60 – 70%. El resto de la ceniza de óxido de zinc se refina en la industria especializada [Com FIN].

- Se utilizan crisoles especiales para recoger la ceniza de zinc.
- El crisol se coloca en un horno de Zinkof, en el que la ceniza de zinc se funde a una temperatura de alrededor de 520 °C con un movimiento giratorio. El zinc fundido (60 – 65% en peso) es devuelto a la caldera de zinc fundido. El resto de ceniza de óxido de zinc se muele y se vende a la industria secundaria de zinc.

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción de los residuos.

Aplicabilidad:

- Plantas nuevas y existentes.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia: Cuatro plantas de galvanización en Finlandia, como por ejemplo KS-Sinkki Oy, Lievestuore, Finlandia [Com2 FIN].

Datos operativos:

Con la técnica descrita, la cantidad de zinc reciclado es de 11,5 kg/t de acero galvanizado. El precio del equipo es de unos 200000 FIM. Además de esto, también debe instalarse equipo de molturación para moler la ceniza de zinc, cuyo coste es de unos 60000 FIM. El beneficio neto, incluidos todos los costes excepto los costes de inversión, es de unos 2,20 – 2,80 FIM/kg de Zn reciclado, según el precio en el mercado del zinc.

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.8 Recuperación de calor del calentamiento del crisol de galvanización

Descripción:

Los crisoles de galvanización pueden estar alimentados a gas o con combustibles líquidos. El método más comúnmente utilizado para la recuperación del calor del gas de combustión es su transferencia al aire o al agua. Para recuperar calor del gas de combustión al aire se utilizan intercambiadores de gas fabricados normalmente a base de bancos de tubos de acero inoxidable. Los productos de combustión están normalmente en el lado del tubo. Los gases pueden introducirse a 500 – 700 °C cuando el horno funciona a plena producción. El intercambiador de calor puede colocarse directamente en el canal de salida del horno pero, en ausencia de extracción forzada de los gases de combustión, sólo puede tolerarse una pequeña caída de presión del gas de combustión. Esto limita la velocidad de transferencia del calor.

Los intercambiadores de cascos y de tubos pueden usarse para transferir calor desde los gases de combustión al agua o al vapor, con el gas en el lado del casco. Otro tipo común de intercambiador es un banco de tubos con aletas colocados en el canal de llamas. En este caso, el agua está en el lado del tubo.

Los gases pueden extraerse a través del intercambiador de calor utilizando un ventilador después del intercambiador con objeto de aumentar el coeficiente general. Este es un esquema común para el intercambio de calor de gas a agua. Tanto el intercambiador de calor como el ventilador están situados en un ramal paralelo al canal principal de salida de gases, evitando cualquier efecto de contrapresión en el horno. El ventilador consume una pequeña cantidad de energía.

En unos pocos casos, los gases de combustión entran en contacto directo con la superficie externa de un tanque de pretratamiento, transfiriendo el calor por radiación y convección.

Los intercambiadores de calor para combustibles de aceite y para baños con calentamiento superficial requieren un diseño especial debido a la presencia de SO₂ y ceniza en los gases de combustión [Com2 EGGA].

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

- Reducción del consumo de combustible.

Aplicación:

- Plantas nuevas y existentes
- En principio, puede aplicarse a cualquier instalación sujeta a un análisis económico, que depende del precio del combustible, de la clasificación térmica del horno y de la demanda de calor residual.
- Normalmente no es interesante en sistemas de dos quemadores (calderas pequeñas), dado que no hay bastante calor para ser útil. Los sistemas de recuperación de calor se instalan muy frecuentemente en sistemas de cuatro y seis quemadores.

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía: Ahorro de energía del orden de 15 – 45 kWh/t de acero negro.

Motivo principal de su puesta en práctica: Costes de combustible.

Referencias bibliográficas: Bibliografía del sector.

C.4.6.9 Eficacia del calentamiento/control del horno

Descripción:

La eficiencia de calentamiento del horno debe considerarse en dos partes. Primero, la eficacia con la que se transfiere calor desde la fuente primaria de calor al baño de galvanización y, en segundo lugar, la eficacia con la que se emplea el calor transferido para mantener la temperatura del zinc.

La eficacia de la transferencia del calor a la caldera está gobernada por principios básicos de transferencia de calor y de técnica de combustión. La combustión de gases y combustibles líquidos produce un caudal de gases de combustión que se lleva calor sensible y latente. Esto asciende normalmente a un 45 – 55%

del aporte calorífico bruto máximo del combustible al aporte máximo. Se utiliza una pequeña cantidad de energía eléctrica para impulsar el ventilador del aire de combustión, y la bomba o compresor utilizado en el calentamiento del aceite. El uso de electricidad para el calentamiento comporta una pérdida de energía debido a efectos de reactancia y en ocasiones también debido al enfriamiento de las partes sensibles a la temperatura del sistema de calentamiento. Las pérdidas pueden estar alrededor del 15% de la energía medida. Para todas las pérdidas de energía, hay una pérdida adicional de la carcasa del horno, aunque para un horno bien aislado es pequeña, normalmente un 2% del aporte energético. Todas las pérdidas en esta categoría crecen al aumentar el aporte de calor.

Las pérdidas del sistema son también debidas a radiación y convección de la superficie del metal fundido y de las partes expuestas encima del baño, como el reborde superior del crisol de acero. El grado de estas pérdidas depende de las superficies, condiciones y temperaturas, pero normalmente es de un 15 a un 25% del calor originalmente transferido al baño.

Las pérdidas de calor de los gases de combustión pueden reducirse optimizando el proceso de combustión y reduciendo la entrada de aire al cuerpo del horno. La operación a baja temperatura del proceso de galvanización implica que hay oportunidades limitadas de ahorro de energía por reducción de pérdidas. El sistema de quemadores debe ser capaz de acomodar una relación de reducción de aproximadamente 15:1.

Las pérdidas superficiales pueden reducirse durante el trabajo (sujeto a una ventilación adecuada) mediante el uso de una cobertura sobre el baño, o limitando la parte abierta de la superficie a lo requerido para el tipo de galvanización en curso. Cuando la caldera está en espera caliente, pueden obtenerse reducciones en las pérdidas de calor mediante el uso de tapas aislantes que se extienden sobre el baño. La reducción de la temperatura durante los periodos de espera en caliente raramente ahorra cantidades significativas de energía y, con crisoles de acero, los ciclos de temperatura del baño tienen un efecto negativo sobre la aleación protectora de zinc-hierro, reduciendo con ello la vida útil del crisol.

La eficiencia del horno se ve también afectada por el sistema de control. Se obtienen mayores eficiencias con sistemas de control que ajustan de forma precisa el aporte y la demanda de calor. La determinación del aporte de calor se basa en la temperatura del zinc fundido, medida por termopares sumergidos en el zinc o – para crisoles de acero – posiblemente en contacto con la pared externa del crisol. Según la flexibilidad del sistema de calentamiento, el controlador utiliza muchas veces una lógica de control PID (Proporcional, Integral y Derivativa) o de otro tipo para mantener la temperatura del zinc lo más constante posible.

Los sistemas de combustión pueden ser de tipo Máximo/Mínimo (se aplica el calor máximo o mínimo durante un periodo), Modulado (el aporte de calor varía constantemente en el rango entre el máximo y el mínimo), o Pulsante (se aplica una sucesión continua de aportes de calor máximos y mínimos equivalente a un aporte de calor neto intermedio).

Principales beneficios medioambientales que se consiguen:

Aplicabilidad:

Efectos sobre otros medios:

Plantas de referencia:

Datos operativos:

Economía:

Motivo principal de su puesta en práctica:

Referencias bibliográficas:

C.4.6.10 Captura/tratamiento de emisiones del acabado de tubos

Operaciones

- No se ha facilitado información.

C.5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO

Para la comprensión de este capítulo y de su contenido, se llama la atención del lector al prefacio de este documento, y/o en particular a su sección quinta: “Cómo entender y usar este documento”. Las técnicas y niveles de emisiones y consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo, han sido evaluados a través de un proceso iterativo que comporta los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves de las líneas de galvanización en discontinuo. Entre los más importantes se encuentran las emisiones a la atmósfera (HCl del baño de decapado y polvo y compuestos gaseosos del baño de zinc); las soluciones de proceso agotadas (soluciones desengrasante, baños de decapado y mordientes); los residuos grasos (ej: de la limpieza de los baños desengrasantes) y los residuos que contienen zinc (polvo de los filtros, ceniza de zinc y matas).
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estos aspectos clave.
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, sobre la base de los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo.
- Examen de las condiciones en las que se consiguen estos niveles de comportamiento, como costes, efectos sobre otros medios o razones principales de la puesta en práctica de estas técnicas.
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en un sentido general, todo ello de acuerdo con el Artículo 2(11) y el Anexo IV de la Directiva.

La evaluación experta por parte de la Oficina Europea de IPPC y el Grupo Técnico de Trabajo correspondiente han desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en el modo en que se presenta la información en este documento.

Sobre la base de estas técnicas de evaluación, y en la medida de lo posible, en este capítulo se presentan niveles de emisiones y consumo, asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiados para el sector en su conjunto y en muchos casos reflejan el funcionamiento real de algunas instalaciones del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo “asociados con las mejores técnicas disponibles”, debe entenderse que ello significa que tales niveles representan el comportamiento medioambiental que podría preverse como resultado de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el equilibrio de costes y ventajas inherentes a la definición de las MTD. No obstante, no son valores límite de consumo o emisión ni deben entenderse como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible conseguir mejores niveles de emisiones o consumo, pero debido a los costes involucrados o a consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su conjunto. No obstante, tales niveles pueden ser considerados justificados en casos más específicos en los que existan motivos especiales para su puesta en práctica.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben ser contemplados en el contexto de las condiciones de referencia que se especifiquen (ej: periodos de promedio).

El concepto de “niveles asociados con las MTD” arriba descrito debe distinguirse del término “nivel obtenible” utilizado en otros lugares de este documento. Cuando un nivel se describe como “obtenible” usando una técnica particular o una combinación de técnicas, debe entenderse que significa que puede esperarse conseguir el nivel a lo largo de un periodo de tiempo sustancial en una instalación o proceso bien mantenido y gestionado mediante tales técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se facilitan datos relativos a costes junto con las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Estos dan una indicación aproximada de la magnitud de los costes involucrados. No obstante, el coste real de la aplicación de una técnica dependerá mucho de la situación específica relativa, por ejemplo, a los impuestos, tasas y características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar con detalle estos factores específicos de cada centro de producción. En ausencia de datos relativos a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen a partir de observaciones de las instalaciones existentes.

La intención es que las MTD generales de este capítulo sean un punto de referencia en relación al cual se juzgue el comportamiento presente de una instalación o se estudie una propuesta de una nueva instalación. De este modo servirán de ayuda en la determinación de las condiciones apropiadas “basadas en las MTD” para la instalación, o en el establecimiento de reglamentos de aplicación general conforme

al Artículo 9(8). Esta previsto que las nuevas instalaciones puedan diseñarse para tener un comportamiento igual o incluso mejor que los niveles generales de las MTD aquí presentados. También se considera que las instalaciones existentes podrían acercarse a los niveles generales de las MTD o incluso mejorarlos, según la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREFs no establecen normas de cumplimiento legal, tienen por finalidad facilitar información que sirva de referencia a la industria, los Estados Miembros y el público acerca de los niveles obtenibles de emisiones y consumo al utilizar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en consideración los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

Este capítulo discute las mejores técnicas disponibles para reducir el impacto medioambiental de la conformación *galvanización en discontinuo*. Cuando es posible, la estructura sigue la lógica de la línea de producción e identifica las MTD para las fases individuales del proceso. No obstante, algunas medidas, especialmente las medidas primarias o preventivas, no pueden ser asignadas a un solo paso del proceso y deben asignarse a la planta en su conjunto. En la medida de lo posible y cuando lo permiten los datos disponibles, se facilitan niveles de emisiones, eficacias o índices de recirculación como indicación de la mejora que cabe esperar con la aplicación de las técnicas. Para una serie de técnicas, el efecto positivo obvio no puede describirse mediante una cifra exacta, pero algunas de dichas técnicas se consideran no obstante como MTD.

A menos que se indique lo contrario, la cifras de emisiones presentadas en los siguientes capítulos sobre mejores técnicas disponibles son valores diarios medios. Para las emisiones a la atmósfera se basan en las condiciones normales de 273 °K, 101.3 kPa y gas seco.

Las evacuaciones al agua se indican como valor diario medio de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo de 24 horas, o de una muestra compuesta relativa al caudal a lo largo del tiempo de funcionamiento real (para las plantas que no trabajan en tres turnos).

Para las operaciones de **desengrase** en plantas de *galvanización en discontinuo*, las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Inclusión de una etapa de desengrase, a menos que las piezas estén totalmente exentas de grasa, lo que suele ser raro en la galvanización para terceros.
- Operación óptima del baño para mejorar su eficacia, por ejemplo mediante agitación.
- Limpieza de las soluciones de desengrase para alargar su vida útil (mediante desespumado, centrifugado, etc.), así como recirculación; reutilización de los lodos grasos, por ejemplo térmicamente.

o bien

- ‘Desengrase biológico’ con limpieza *in situ* (eliminación de grasa y aceite de la solución desengrasante) con bacterias.

Una medida básica para minimizar el impacto medioambiental del **decapado** y el **descincado** es realizar estas operaciones por separado, dado que las ‘mezclas de ácidos’ (con elevado contenido de hierro y zinc) causan problemas en su regeneración o reutilización. Mientras no haya opciones de tratamiento adecuadas para la mezcla de ácidos, el decapado y el descincado por separado y la reutilización de la solución agotada de descincado (externa o internamente individuales, por ejemplo para recuperar el agente mordiente) se consideran como MTD para las plantas nuevas y existentes.

Si no es posible la separación del decapado y del descincado ácido, por ejemplo si no hay suficiente espacio para instalar tanques adicionales de decapado/descincado ácido, la reutilización externa de la mezcla de ácidos para la producción de agente mordiente se considera como MTD.

Se ha informado del funcionamiento de una planta de tratamiento centralizado de soluciones de decapado mixtas mediante extracción con disolventes, y una planta de galvanización que utiliza este proceso (ver Capítulo C.4.3.8). Si se halla disponible alguna planta de tratamiento (externo) de este tipo, la recuperación de HCl de las soluciones de decapado mixtas agotadas mediante extracción con disolventes puede considerarse una alternativa viable a la recuperación del agente mordiente (véase arriba).

En el **decapado con HCl**, las siguientes técnicas se consideran como BAT para reducir los impactos medioambientales:

- Control estricto de la temperatura del baño y de los parámetros de concentración, así como operación dentro de los límites dados en la Parte D/Capítulo D.5.1 “Operación del Baño de Decapado Abierto”.
- Si se desea trabajar fuera del rango indicado en D.5.1, por ejemplo si se utilizan baños de HCl calientes o más concentrados, la instalación de una unidad de extracción y el tratamiento del aire de extracción (ej: mediante lavado) se consideran como MTD. El nivel de emisión de HCl asociada es de 2 – 30 mg/Nm³.
- Atención especial al efecto decapante real del baño y al uso de inhibidores de decapado para evitar un sobredecapado.
- Recuperación de la fracción de ácido libre de la solución de decapado agotada.
- o Regeneración externa de la solución de decapado.
- Eliminación del Zn del ácido.
- Utilización de la solución de decapado agotada para la producción de sales mordientes.

La neutralización de la solución de decapado agotada y su utilización para la separación de emulsiones no se consideran como MTD.

Generalmente se aboga por un buen drenaje entre los tanques de pretratamiento. Además, es esencial el **enjuague** tras el desengrase y tras el decapado para evitar transferencias de materias a los siguientes baños del proceso y así prolongar la vida útil de dichos baños. Es MTD es:

- El enjuague estático o enjuague en cascada.
- La reutilización del agua de enjuague para rellenar los baños del proceso precedente.
- La operación libre de aguas residuales (pueden generarse aguas residuales en casos excepcionales, haciendo necesario el tratamiento de las mismas).

En el **mordentado**, el control de los parámetros del baño y la optimización de la cantidad de mordiente son importantes para reducir también las emisiones en los pasos de proceso subsiguientes de la línea de producción. En el mismo baño de mordiente en sí, es posible la regeneración colateral de la solución (utilizando, por ejemplo, H₂O₂, oxidación electrolítica o intercambio iónico) o, si no es posible la instalación de una unidad de regeneración, la regeneración por una empresa externa. Tanto la regeneración interna como externa del baño de mordiente se consideran como MTD.

El principal problema asociado a la fase de inmersión de zinc fundido son las emisiones a la atmósfera resultantes de la reacción del agente mordiente durante la inmersión. Las siguientes técnicas se consideran como MTD:

- Captura de las emisiones del baño de zinc mediante el enclaustrado del crisol o mediante extracción por el borde seguida de captura del polvo (mediante filtros de tejido o lavadores húmedos). El nivel de polvo asociado con estas técnicas es < 5 mg/Nm³.
- Reutilización interna o externa del polvo recogido para la producción de mordiente. Dado que este polvo puede contener ocasionalmente concentraciones bajas de dioxinas debido a condiciones inadecuadas en la planta (mal desengrase de las piezas a galvanizar), sólo los procesos de recuperación que permiten obtener agentes mordientes sin dioxinas se consideran como MTD.

Aunque las oportunidades de ahorro de energía por transferencia de calor de los gases de combustión a las calderas de galvanización son limitadas debido a los bajos volúmenes y las temperaturas relativamente bajas (450 °C), es buena práctica recuperar calor de esta fuente y utilizarlo bien sea para calentar agua utilizada en otros puntos de la planta, o para calentar el aire de secado.

Para todos los **residuos que contengan zinc** (cenizas, matas y salpicaduras), el almacenamiento separado a resguardo de la lluvia y el viento, así como su reutilización en la industria de metales no férreos u otros sectores para recuperar las valiosas sustancias que contienen se consideran como MTD.

C.6 TÉCNICAS EMERGENTES PARA LA GALVANIZACIÓN EN DISCONTINUO

El proceso de galvanización requiere el contacto de los artículos de acero en el zinc fundido durante suficiente tiempo para que el zinc y el acero reaccionen formando el recubrimiento galvanizado. El espesor y la naturaleza del recubrimiento están controlados por normas europeas. En los últimos años, la calidad de los activos de la industria ha mejorado notablemente, pero la naturaleza fundamental del proceso no ha cambiado debido a las limitaciones impuestas por la necesidad de poner en contacto las piezas de acero pesadas con el zinc fundido. Por consiguiente, no hay una técnica emergente que se base en principios fundamentalmente distintos.

No obstante, se han realizado y se siguen realizando esfuerzos considerables para mejorar el comportamiento en el control de las emisiones al agua y al aire.

La separación del Zn y del Fe de las soluciones de decapado mixtas ha sido objeto de interés durante algún tiempo. Se han desarrollado y señalado varios procesos en la bibliografía pública. Estas técnicas cumplen con los requisitos de las MTD hasta el momento, ya que potencian al máximo la recuperación y reciclaje de los valores contenidos mientras siguen limitando las emisiones. Globalmente, el balance hídrico del proceso de galvanización es tal que se requiere una cantidad considerable de agua para la confección de soluciones. En todos los casos estudiados por el EGGA, las purgas acuosas se reciclan internamente como parte del agua de confección. La acumulación de componentes no deseados no parece ser una dificultad. A corto o medio plazo es probable que aparezca una serie de procesos que cumplan los requisitos de MTD.

De forma similar, se hallan en curso investigaciones acerca de la reducción de emisiones de humos en origen, bien mediante el uso de mordientes de bajo nivel de humo basados en los mordientes actuales, bien mediante el uso de nuevos sistemas de mordentado. El beneficio teórico de la reducción de humos en origen es la posible sustitución del filtro de tejido por un dispositivo más simple como es una caja de separación, con una reducción significativa en la caída de presión y por consiguiente en los requisitos energéticos. Estas investigaciones son recientes y sólo han sido indicadas en la bibliografía pública de forma limitada. Los primeros indicios apuntan a que la técnica produce un bajo nivel de emisión de partículas, aunque de todos modos algo superior al del sistema de mordiente estándar más filtro de tejido, pero que precisa bastante menos energía. Es posible que la evaluación del balance de las emisiones de partículas *in situ* y las emisiones de gases de efecto invernadero en la central de producción de energía térmica sea tal que pueda considerarse que esta técnica cumple con los requisitos de MTD [EGGA 7/00].

Se ha indicado el desarrollo de una nueva formulación de mordientes (Thermaflux, patente USA) que asegura que reduce el contenido de plomo en el baño y las salpicaduras de metal durante el recubrimiento por inmersión. Su viabilidad técnica todavía debe verificarse; no se conoce ninguna aplicación de esta técnica en la *galvanización en discontinuo*.

C.7 OBSERVACIONES FINALES

Esta sección de conclusiones y recomendaciones se divide en varios epígrafes: cronología de los trabajos, fuentes de información, disponibilidad y calidad de los datos, consenso entre los expertos del Grupo de Trabajo Técnico y recomendaciones para futuros trabajos.

Cronología de los trabajos

Se ha tardado dos años y medio en redactar el presente documento técnico de referencia, habiéndose cumplido las siguientes etapas principales:

- Primera reunión del grupo de trabajo (reunión de partida): 11-12.12.97
- Presentación de informes por el grupo de trabajo:
 - Capítulo 2: febrero-octubre de 1998
 - Capítulo 3: abril-octubre de 1998
 - Capítulo 4: julio-octubre de 1998
- Primer borrador: diciembre de 1998
- Primera ronda de consultas: 16.12.98-12.2.99
- Evaluación de los comentarios y nueva redacción: mayo-julio de 1999
(respuesta a los comentarios, aclaraciones y peticiones de información adicional)
- Presentación de informes complementarios: septiembre-noviembre de 1999
- Segundo borrador: diciembre de 1999
- Segunda ronda de consultas: 17.12.99-17.02.00
- Segunda reunión del grupo de trabajo: 22-24.03.00
- Presentación de informes sobre cuestiones controvertidas surgidas durante la segunda reunión del grupo de trabajo: 28.03.00 19.07.00
- Consultas sobre los “nuevos” capítulos: 21.07.00-18.08.00
- (revisión de los capítulos 5, capítulo 7 sobre Conclusiones y Recomendaciones, Resumen General, capítulo 4 sobre técnicas de RCS y RNCS)
- Borrador definitivo.

Fuentes de información

Se han presentado 65 informes sobre los diversos aspectos del sector de transformación de metales ferrosos. Estos informes contienen informaciones de muy diferente naturaleza (datos estadísticos, descripciones de tecnologías de producción, información sobre medidas de carácter medioambiental, incluidos estudios de casos prácticos y datos de emisiones y consumos). Se han preparado desde distintos puntos de vista y casi todos ellos se centran en aspectos medioambientales concretos. Sólo algunos tienen carácter general.

Durante el periodo de elaboración del documento de referencia sobre las MTD para este sector, ciertos grupos industriales de laminación en frío, laminación en caliente y galvanización en continuo, así como la Asociación Europea de Galvanización General (EGGA), facilitaron informes y documentos relativos tanto a las técnicas de producción que se aplican en sus ámbitos de actividad como a determinadas medidas medioambientales. Alemania presentó un informe titulado “MTD en la Industria Alemana de Transformación de Metales Féreos”.

Estos informes son esenciales para la calidad del presente documento, pero su utilidad puede quedar comprometida si no se reciben al principio del proceso. El retraso en la presentación de información crucial, especialmente sobre las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, ha causado retrasos en la elaboración de los borradores de este documento.

Mejores técnicas disponibles

Se han establecido las MTD para los tres subsectores de la industria de transformación de metales ferrosos y para cada una de sus fases de producción. Los tres capítulos 5 contienen descripciones detalladas con información de contexto y, en su caso, la justificación para su elección como MTD y para los niveles de emisión asociados. El resumen general comprende todas las conclusiones al respecto.

Grado de consenso

La parte A de este documento de referencia señala ciertas discrepancias en las opiniones. El grupo de trabajo técnico no ha podido llegar a un acuerdo en tres aspectos:

- Niveles de polvo asociados con las MTD para la aplicación de filtros de tejido o precipitadores electrostáticos,
- Técnicas de RCS y RNCS para la reducción de NOx en los hornos de recalentamiento,
- Contenido de azufre en el fuel-oil.

Con respecto a las emisiones de polvo, el grupo de trabajo acordó que la captura y los filtros textiles son MTD, pero con dos puntos de vista diferentes en cuanto a lo que se puede conseguir con los filtros de tejido. Los representantes del sector proponían, de acuerdo con su experiencia y conocimientos de los niveles de polvo emitidos, un nivel de 20 mg/Nm³. Algunos Estados Miembros y ONG ecologistas creían que el nivel adecuado era de 5 mg/Nm³, pero las cifras disponibles eran muy escasas y no se presentaron datos que apoyasen esta opinión para la mayoría de las aplicaciones (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

La información sobre las técnicas RCS y RNCS en los hornos de recalentamiento se recibió en una de las últimas fases del trabajo, durante y después de la segunda reunión del grupo de trabajo técnico. Algunos miembros del grupo de trabajo creían que estas técnicas eran MTD, mientras otros consideraban que la información disponible sobre sus detalles técnicos y económicos no era suficiente para poder tomar una decisión final al respecto. Como esta controversia surgió prácticamente al final del proceso, no hubo tiempo para resolver las cuestiones pendientes (véanse también las recomendaciones para futuros trabajos).

Otro punto de desacuerdo fue la limitación del contenido de azufre en el fuel-oil. Aunque una concentración inferior al 1% puede producir emisiones de hasta 1.700 mg de SO₂ /Nm³, algunos miembros del grupo de trabajo creían que debía considerarse MTD. Otros pensaban que era necesario aplicar un límite de azufre inferior o medidas adicionales de reducción del SO₂.

Las partes B y C de este documento disfrutaron de un alto grado de consenso. No se registraron discrepancias. Todos los participantes en el proceso de intercambio de información consideran que el resultado es aceptable.

Recomendaciones para futuros trabajos

Una de las carencias que tiene este documento es la falta de información sobre los resultados obtenidos con las técnicas a considerar en la determinación de las MTD, especialmente niveles de emisión y consumo y datos económicos. En futuras revisiones, todos los miembros del grupo de trabajo y partes interesadas deben recopilar y proporcionar estos datos cuanto antes.

En bastantes casos, no se dispone de información alguna o tan sólo de una descripción de la técnica. No hay apenas información sobre instalaciones de referencia ni datos reales de funcionamiento. De cara a la revisión de este documento, deberán resolverse estas carencias. A continuación se enumeran algunas de las técnicas en cuestión:

Parte A:

- Bombas de agua optimizadas para flujos laminares.
- Instalación de cascadas de baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Aprovechamiento del calor para calentar el baño de desengrase.
- Engrase electrostático.
- Optimización de la pulverización de aceite.
- Optimización de la operación de acabado.
- Limpieza y reutilización de la emulsión de desbaste
- Sistema de extracción (PRETEX/STB).
- Aprovechamiento externo de la solución de decapado ácido agotada.

Parte C:

- Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares.
- Captura y tratamiento de las emisiones procedentes de las operaciones de acabado de los tubos.

Parte D:

- Instalación de cascadas para baños desengrasantes.
- Desengrase preliminar con agua caliente.
- Adsorción de surfactantes y aceites (precipitación seguida de filtración).
- Decapado electrolítico.
- Tratamiento de las aguas de lavado por intercambio iónico, eliminación electrolítica del hierro, ósmosis inversa, eliminación del hierro por oxidación.

En los capítulos 6 se presentan varias técnicas nuevas. Deberá valorarse la posibilidad de trasladar estas técnicas al capítulo 4 sobre técnicas a considerar en la determinación de las MTD o al capítulo 5 sobre mejores técnicas disponibles, en función de su evolución e idoneidad para su aplicación en el sector de transformación de metales ferreos.

Se ha criticado que algunas técnicas se hayan presentado de forma excesivamente positiva, debido a que la información disponible procede sobre todo de los proveedores, y que sólo se han destacado sus ventajas. Esta crítica afecta principalmente a los procesos de recuperación y regeneración de los baños de tratamiento agotados, por ejemplo, las soluciones de decapado agotados o los baños de mordentado o de desengrase agotados. En estos casos se solicita al sector que facilite información sobre los resultados obtenidos con determinadas técnicas, junto con explicaciones de los problemas que hayan podido experimentar.

Hace falta disponer de más datos de emisiones y consumos con carácter general, pero en particular de las emisiones de NOx (concentraciones y emisiones específicas) que generan los hornos que utilizan aire de precalentamiento y los que no. Con este tipo de datos sería posible evaluar la eficiencia de las medidas de reducción de forma más minuciosa y comparar las ventajas y desventajas del ahorro de energía frente a las emisiones de NOx.

Es necesario obtener más información sobre los niveles de emisión de polvo que se registran en las diversas fases de producción de laminación en frío y en caliente (parte A), caso en el que hubo que consignar una discrepancia en el documento de referencia. En especial, las partes que defienden el nivel de 5 mg/Nm³ deben intentar obtener datos que apoyen su punto de vista.

Se ha apuntado la probabilidad de que aumente el número de instalaciones que aplican la técnica de RCS (hornos de empuje). A la hora de revisar el presente documento, deberá disponerse de más información sobre el rendimiento y aplicabilidad de las técnicas de RCS y RNCS en los hornos de recalentar. Las instalaciones que ya aplican estas técnicas dispondrán de un largo historial de servicio, lo cual permitirá responder a la crítica de que se ha trabajado con información correspondiente a un período de explotación demasiado corto. Es posible que el desacuerdo sobre si estas técnicas son MTD pueda resolverse entonces.

Durante la segunda reunión del GTT, se planteó la cuestión de que el calentamiento inductivo era la MTD para varias aplicaciones en los hornos. En este documento de referencia, se ha incluido como técnica a considerar, pero se ha señalado que la información disponible no es suficiente para decidir al respecto. Será necesario recopilar más información para poder tomar esta decisión.

Otra cuestión fue el contenido de dioxinas en el polvo generado por el proceso de galvanización en discontinuo y el posible riesgo de acumulación de las primeras durante el reciclaje de este último. Será necesario seguir trabajando para recopilar datos reales en condiciones de funcionamiento normal de la instalación. Los datos disponibles deberán facilitarse a la Oficina de IPPC y al Grupo de Trabajo Técnico para que puedan opinar al respecto y evaluar los riesgos.

Se recomienda realizar una revisión del presente documento de referencia para el año 2005.

PARTE D

Técnicas Comunes a Varios Subsectores

Técnicas a considerar en más de un subsector en la determinación de las MTD

Con el fin de evitar repeticiones en la descripción de ciertas técnicas a considerar en la determinación de las MTD, la Parte D contiene descripciones técnicas detalladas e información sobre técnicas que pueden aplicarse a varios subsectores. Los aspectos de las técnicas específicos de cada sector (principales beneficios medioambientales, aplicabilidad, efectos sobre otros medios, plantas de referencia, datos operativos, economía, motivo principal de su puesta en práctica y referencias bibliográficas) se cubren en la parte correspondiente de este documento (A, B o C), donde se incluyen referencias a la Parte D cuando procede.

Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en el Proceso de Metales Férricos

D.1 HORNO: EFICACIA TÉRMICA	377
D.1.1 Quemadores regenerativos.....	377
D.1.2 Recuperadores y quemadores recuperativos.....	378
D.2 HORNO: MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE NO_x.....	381
D.2.1 Quemadores de bajo nivel de NO _x	381
D.2.2 Limitación de las temperaturas de precalentamiento del aire.....	383
D.2.3 Recirculación externa de los gases de combustión (RGC).....	385
D.2.4 Reducción catalítica selectiva (RCS).....	386
D.2.5 Reducción no catalítica selectiva (RNCS).....	387
D.2.6 Comparación de los métodos de reducción de NO _x para hornos.....	388
D.3 EMULSIONES DE ACEITE.....	391
D.3.1 Limpieza y reutilización de las emulsiones	391
D.3.2 Tratamiento de las emulsiones consumidas / separación de emulsiones.....	391
D.4 DESENGRASE ALCALINO	395
D.4.1 Aplicación de cascadas en los baños de desengrase	395
D.4.2 Predesengrase con agua caliente.....	395
D.4.3 Mantenimiento y limpieza de los baños de desengrase	395
D.4.4 Tratamiento del baño desengrasante consumido	397
D.4.5 Tratamiento del agua residual alcalina	397
D.4.6 Recogida y tratamiento de los vapores de desengrase	397
D.5 DECAPADO	399
D.5.1 Baño de decapado abierto	399
D.5.2 Control / extracción de emisiones del decapado.....	400
D.5.3 Técnicas de precipitación para gases ácidos, vapores y aerosoles del decapado (y regeneración del ácido)	401
D.5.4 Decapado con ácido clorhídrico	405
D.5.5 Decapado con ácido sulfúrico.....	405
D.5.6 Decapado electrolítico	406
D.5.7 Decapado con mezcla de ácidos	406
D.5.8 Medidas de reducción de NO _x para decapado con mezcla de ácidos	406
D.5.9 Recuperación del ácido libre.....	412
D.5.10 Regeneración de ácidos	415
D.5.11 Tratamiento de residuos ácidos / aguas residuales ácidas	422
D.6 CALENTAMIENTO DE LÍQUIDOS DE PROCESO (ÁCIDOS, EMULSIONES...)	423
D.7 MORDENTADO.....	427
D.7.1 Regeneración <i>in situ</i> de los baños de mordentado (eliminación de hierro).....	427
D.7.2 Reutilización externa de los baños de mordentado consumidos	429
D.8 ENJUAGUE	431
D.8.1 Uso eficiente (múltiple) del agua de enjuague	431
D.8.2 Tratamiento del agua de enjuague	432
D.9 TRATAMIENTO DEL AGUA DE PROCESO Y DEL AGUA RESIDUAL	433
D.9.1 Tratamiento del agua de proceso con aceite y cascarilla.....	433
D.9.2 Sistemas de refrigeración y tratamiento del agua de refrigeración.....	438

Lista de figuras

Figura D.1-1: Posibles ahorros de combustible con el precalentamiento del aire de combustión	377
Figura D.1-2: Esquema de un sistema de quemadores regenerativos	378
Figura D.1-3: Esquema de un quemador autorrecuperativo.....	379
Figure D.1-4: Recuperadores típicos de gases de escape	379
Figura D.2-1: Esquema de un quemador de bajo nivel de NOx con recirculación intena de los gases de combustión.....	382
Figura D.2-2: Esquema de un quemador con bajo nivel de NOx con graduación del aire	382
Figura D.2-3: Influencia de las temperaturas de precalentamiento del aire (rango bajo) sobre las emisiones de NOx	384
Figura D.2-4: Influencia de las temperaturas de precalentamiento del aire (rango alto) sobre las emisiones de NOx ¹	384
Figura D.2-5: Efecto de la recirculación de los gases de compustión sobre las emisiones de NO _x	385
Figura D.3-1: Principio de la ultrafiltración	394
Figura D.4-1: Ejemplo de diagrama de flujo para filtración cerámica de solución desengrasante	396
Figura D.5-1: Curva limitante para la operación de los baños de decapado con HCl abiertos.	399
Figura D.5-2: Distintos sistemas de extracción	400
Figura D.5-3: Principios de diseño para tanques de decapado cerrados	401
Figura D.5-4: Principio operativo de los lavadores rellenos	402
Figura D.5-5: Principio de un lavador de flujo transversal	403
Figura D.5-6: Principio de los lavadores de platos.....	404
Figura D.5-7: Principio del filtrado de vapores.....	405
Figura D.5-8: Esquema para la inyección de H ₂ O ₂ en el circuito de recirculación de ácido de decapado.....	408
Figura D.5-9: Esquema de inyección de H ₂ O ₂ en los baños de decapado a través de un tubo rociador	408
Figura D.5-10: Proceso de cristalización con refrigeración por vacío para H ₂ SO ₄	412
Figura D.5-11: Recuperación de ácido por evaporación	413
Figura D.5-12: Principio de la diálisis por difusión	415
Figura D.5-13: Proceso de regeneración de HCl de lecho fluidizado	416
Figura D.5-14: Proceso de regeneración de HCl mediante tostación por pulverización.....	417
Figura D.5-15: Diagrama de flujo para la producción de óxidos de gran pureza	418
Figura D.5-16: Proceso de tostación por pulverización para regeneración de mezcla de ácidos.....	419
Figura D.5-17: Principio de disociación de sales mediante membrana bipolar	420
Figura D.5-18: Proceso de Evaporación para la Regeneración de Mezcla de Acidos	421
Figura D.6-1: Principio de los intercambiadores de calor	425
Figura D.6-2: Principio de la combustión sumergida.....	426
Figura D.7-1: Diagrama de flujo de la regeneración de mordiente	427
Figura D.7-2: Esquema del proceso de oxidación electrolítica	428
Figura D.8-1: Sistemas de enjuague	431
Figura D.9-1: Tanque de Sedimentación Circular (vertical)	433
Figura D.9-2: Tanque de Sedimentación de Flujo Horizontal.....	434
Figura D.9-3: Esquema de un separador de láminas	434
Figura D.9-4: Clarificador de hélice.....	435
Figura D.9-5: Ejemplo de un filtro de grava con indicación de lavado a contracorriente	436
Figura D.9-6: Ejemplo de filtros de malla con indicación de lavado a contracorriente	436
Figura D.9-7: Trampa de cascarilla fina aireada	437
Figura D.9-8: Filtración magnética (ejemplo de elevado gradiente de FM)	438

Lista de tablas

Tabla D.2-1: Porcentaje calculado de aumento del consumo de combustible de por el precalentamiento con reducción de aire [ETSU-45].....	385
Tabla D.2-2: Comparación de los métodos de reducción de NOx.	388
Tabla D.2-3: Costes estimados de la técnicas de reducción de NOx para un horno de 50 MW	389
Tabla D.5-1: Comparación de las distintas medidas de reducción de NOx para decapado con mezcla de ácidos	411
Tabla D.5-2: Resumen de los procesos de regeneración y recuperación (según [DFIU99])	420
Tabla D.8-1: Comparación del consumo de agua para distintos sistemas de enjuague	432
Tabla D.9-1: Ejemplo de niveles de emisiones para trampas de cascarilla fina aireadas	437

D.1 HORNOS: EFICACIA TÉRMICA

Para mejorar el rendimiento térmico de los hornos, los gases de escape del horno puede utilizarse para precalentar el aire de combustión. La eficacia térmica aumenta con la temperatura del aire precalentado y al disminuir la temperatura del gas residual. El diagrama de la Figura D.1-1 muestra los posibles ahorros de combustible conseguidos mediante el precalentamiento del aire de combustión. Los valores reales pueden diferir de estas cifras teóricas, ya que están sujetos a una serie de otras influencias.

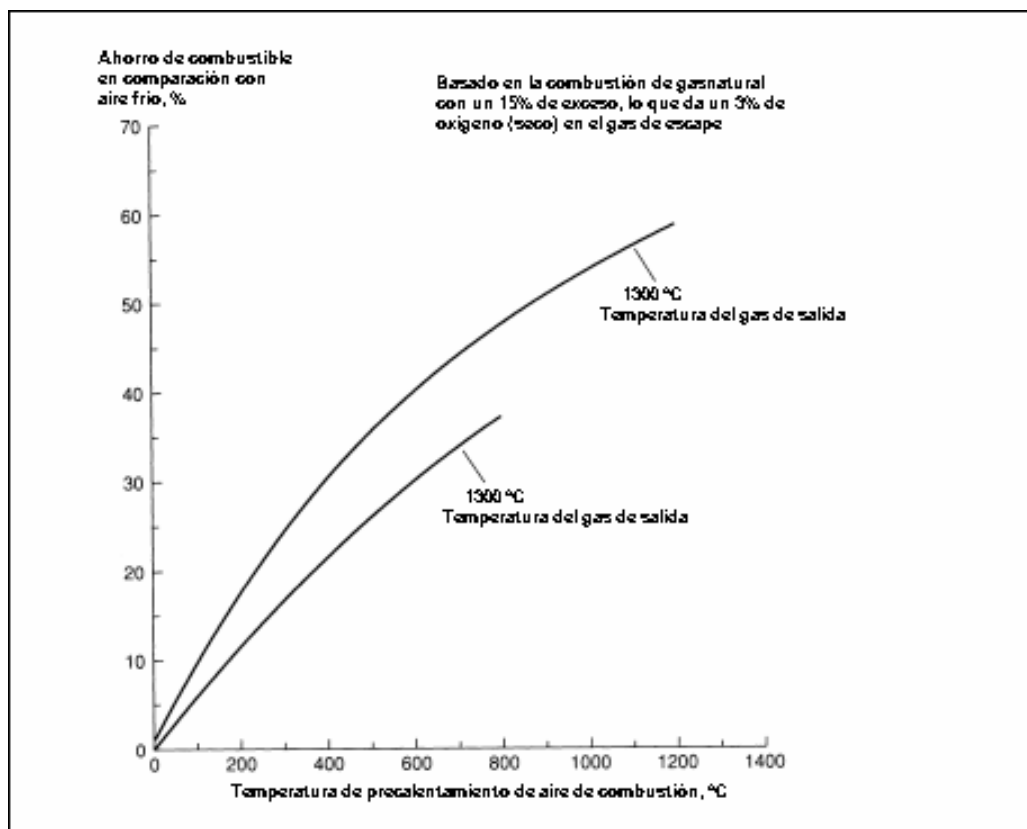


Figura D.1-1: Posibles ahorros de combustible con el precalentamiento del aire de combustión [ETSU-G76].

En general, existen dos sistemas: los sistemas con quemadores regenerativos y recuperativos.

D.1.1 Quemadores regenerativos

Los sistemas regenerativos utilizan dos conjuntos de intercambiadores de calor, que contienen por ejemplo un aparato de aire caliente de ladrillo o bolas de cerámica. La Figura D.1-2 muestra un ejemplo de un sistema con quemadores regenerativos de este tipo. Mientras un quemador está en modo de combustión, el regenerador del otro quemador es calentado por contacto directo con el gas de escape, y el otro calienta el aire de combustión entrante. Tras un periodo, los flujos cambian para invertir el proceso. Estos sistemas pueden alcanzar temperaturas de precalentamiento del aire de hasta 1100 °C (y 1300 °C), pero las temperaturas reales dependen de la temperatura de entrada del gas residual. Sobre la base de las temperaturas de precalentamiento del aire, las emisiones de NO_x pueden ser de hasta 3000 mg/m³ [CITEPA].

Un tipo especial de quemador regenerativo es el quemador de lecho integral, que tiene un diseño más compacto, ya que el lecho regenerativo está integrado en el cuerpo del quemador. Este tipo de quemadores son especialmente adecuados para la modernización de hornos en casos en los que las limitaciones de espacio pueden ser un problema, y para hornos pequeños.

Los sistemas regenerativos son los preferidos para altas temperaturas de gases residuales para lograr temperaturas de precalentamiento de aire por encima de 600 °C. La temperatura de precalentamiento del aire está limitada por la temperatura de proceso y está generalmente de 150 a 200 °C por debajo de la temperatura de proceso. Puede alcanzarse una eficacia térmica del horno del 80% y un ahorro de combustible de hasta un 60% [EUROFER HR], [EUROFER CR].

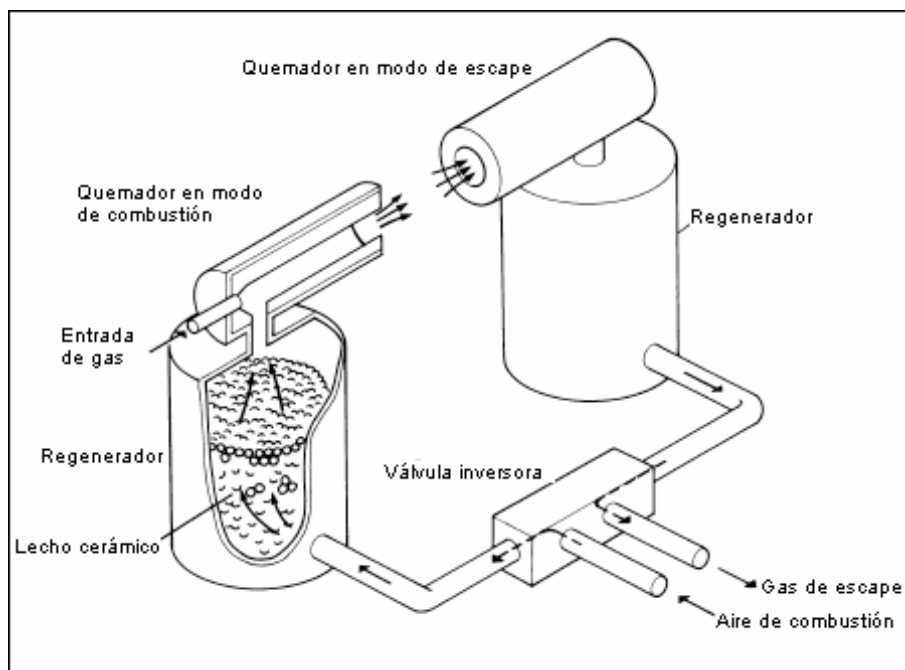


Figura D.1-2: Esquema de un sistema de quemadores regenerativos
[ETSU-G76].

Un sistema regenerativo es particularmente atractivo para los procesos en discontinuo, ya que éstos normalmente no incluyen zona de precalentamiento. En los hornos en continuo equipados con un sistema recuperador central, se consigue una eficacia térmica similar mediante una zona larga sin calentar (de precalentamiento), en la que el calor de los gases de combustión se transmite por convección al material frío [EUROFER HR].

D.1.2 Recuperadores y quemadores recuperativos

Un recuperador es un intercambiador de calor equipado en la salida de gases de escape, que permite la transferencia continua de calor al aire de combustión entrante a través de las superficie de calentamiento. Se hallan disponibles diversos diseños. Los quemadores (auto-) recuperativos tienen intercambiadores de gas integrales para el precalentamiento del aire de combustión.

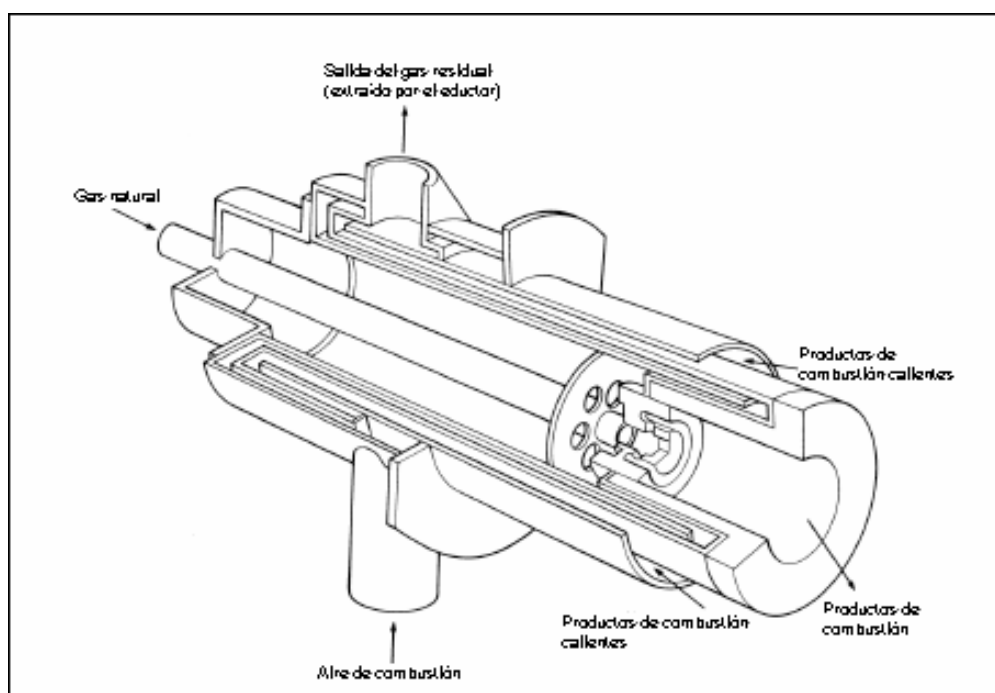


Figura D.1-3: Esquema de un quemador autorrecuperativo [ETSU-G76].

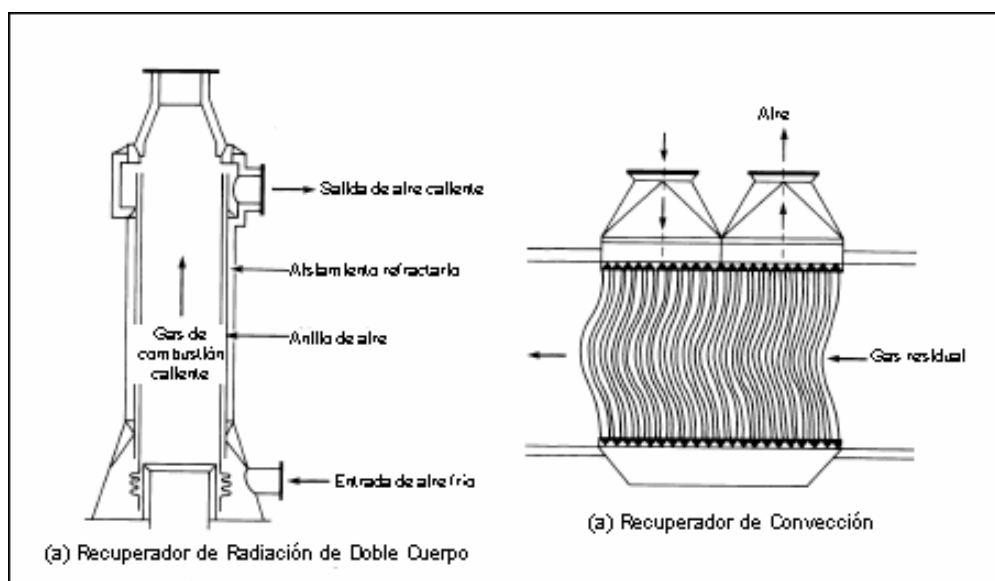


Figure D.1-4: Recuperadores típicos de gases de escape [ETSU-G76].

La recuperación del calor de los gases de combustión permite obtener una temperatura de precalentamiento del aire de 550 o 620 °C, según la temperatura de proceso. Técnicamente son posibles mayores temperaturas de precalentamiento del aire, pero entrañan un coste excesivo debido a los materiales de construcción refractarios que serían necesarios. Puede alcanzarse una eficacia térmica de aproximadamente el 65% [EUROFER HR].

D.2 HORNOS: MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE NO_x

El método más simple de reducir las emisiones de NO_x es cambiar de un combustible ‘sucio’ a uno ‘limpio’, lo que de hecho significa cambiar a gas. No obstante, esto puede que no sea posible para las plantas existentes y, en la práctica, los gases disponibles en la planta determinan el tipo de combustible utilizado en los hornos. Asimismo, para los combustibles líquidos y sólidos, el contenido en azufre es normalmente motivo de mayor preocupación que el nitrógeno [HMIP-95-003].

Otro método simple es limitar la temperatura de precalentamiento del aire de combustión, que reduce las emisiones de NO_x en el gas de combustión, pero que al mismo tiempo produce un mayor consumo de combustible y causa mayores emisiones de CO₂. En este caso, debe encontrarse un compromiso equilibrado entre el rendimiento energético y la reducción de las emisiones.

Los métodos de reducción de NO_x pueden clasificarse como primarios y secundarios. Los métodos primarios modifican el proceso de combustión en sí para limitar el NO_x formado en la cámara de combustión. Esto se hace normalmente controlando el oxígeno disponible para el combustible y/o la temperatura máxima de la llama. Este control puede lograrse equipando los quemadores convencionales con ‘quemadores de bajo nivel de NO_x’, en los que se controla cuidadosamente la mezcla de combustible y aire para producir una combustión por etapas. Otros métodos, como los denominados quemadores sin llama, la recirculación externa de gases de combustión o la inyección de agua, están sólo en desarrollo y se describen en el Capítulo 6 [HMIP-95-003].

Las medidas secundarias ‘limpian’ el gas de combustión o de escape destruyendo el NO_x que se ha formado durante el proceso de combustión. Los métodos para eliminar el NO_x (NO y NO₂) de los gases de escape se dividen en dos categorías. Los procesos secos comportan la conversión del NO_x a N₂ mediante la inyección de un agente reductor, y pueden contar o no con la presencia de un catalizador. Los procesos secos más ampliamente utilizados son selectivos en su funcionamiento, es decir, están diseñados para eliminar sólo el NO_x, pero algunas técnicas también eliminan el SO₂. Los procesos húmedos comportan el paso del gas a través de una solución acuosa que normalmente elimina el NO_x y el SO₂ simultáneamente [HMIP-95-003].

El problema de los métodos húmedos es la acumulación de grandes cantidades de agua residual que debe ser tratada antes de ser desechada. Por el contrario, los procesos secos no generan subproductos que haya que desechar aparte del catalizador consumido, y normalmente son más simples y económicos de aplicar que los procesos húmedos. No obstante, algunos métodos secos son sensibles a la presencia de SO₂ y partículas en la corriente de gas [HMIP-95-003].

D.2.1 Quemadores de bajo nivel de NO_x

Quemador de bajo nivel de NO_x es un término general para una serie de nuevos tipos de quemadores que combinan diversas características de diseño para reducir el nivel de emisiones de NO_x. Los principios básicos de estos quemadores son la reducción de la temperatura máxima de la llama, la reducción del tiempo de estancia en la zona de alta temperatura y la reducción de la disponibilidad de oxígeno en la zona de combustión. Esto se consigue mediante la graduación del aire, la graduación del combustible y/o la recirculación interna de los gases de combustión [HMIP-95-003]. Dado que hay multitud de distintos diseños de quemadores, y que también varían de un proveedor a otro, la Figura D.2-2 muestra sólo una selección de los distintos quemadores de bajo nivel en NO_x disponibles.

La recirculación de los gases de combustión del horno a la llama puede verse favorecida por el diseño del horno como se muestra en la Figura D.2-1. Esto reduce la concentración de O₂ en la mezcla de aire/combustible y crea una llama estable con una temperatura menor. La circulación también consigue una reducción química del NO_x de los gases de combustión por los hidrocarburos presentes en el combustible [EUROFER HR].

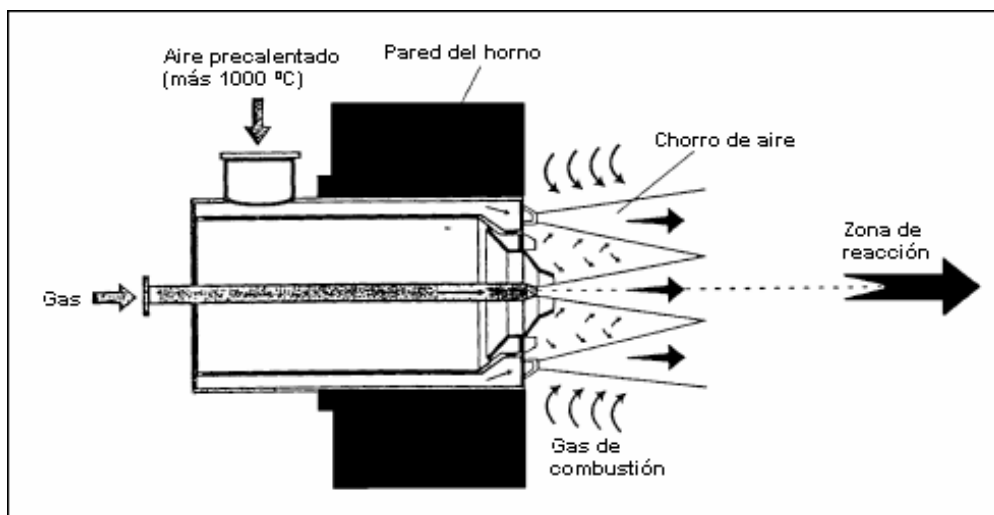


Figura D.2-1: Esquema de un quemador de bajo nivel de NOx con recirculación interna de los gases de combustión [ETSU-45].

Una ulterior reducción del nivel de NOx y de la dependencia del nivel de NOx de la temperatura de precalentamiento del aire puede conseguirse con quemadores con un mayor caudal de los surtidores del quemador, en los que la llama en muchos casos no está fijada a la teja del quemador, o en los que las entradas de gas y de aire de combustión están separadas [EUROFER HR].

Un modo de operación común de los quemadores de bajo nivel de NOx se basa en la creación de una zona rica en combustible dentro de la llama. Esto favorece la conversión del nitrógeno fijado, es decir el nitrógeno unido químicamente al combustible, en N₂. También tiene el efecto de reducir la temperatura máxima de la llama. Los dos mecanismos de producción de NOx, a través del combustible y a través del efecto térmico, se ven retardados, lo que reduce la cantidad de NOx. Existen dos tipos principales de quemadores de bajo nivel de NOx, y ambos incorporan el uso de la combustión por etapas para conseguir el efecto deseado. Son los quemadores con graduación del aire y con graduación del combustible.

En los **quemadores con graduación del aire**, la primera etapa de combustión ocurre en una zona ligeramente rica en combustible, con una relación óptima combustible/aire (1,1 – 1,3) para la conversión del nitrógeno del combustible en N₂. La segunda etapa de la combustión se hace pobre en combustible, mediante la adición de aire secundario de modo que se complete la combustión del combustible, con un control cuidadoso de la temperatura para minimizar la formación térmica de NO en esta zona.

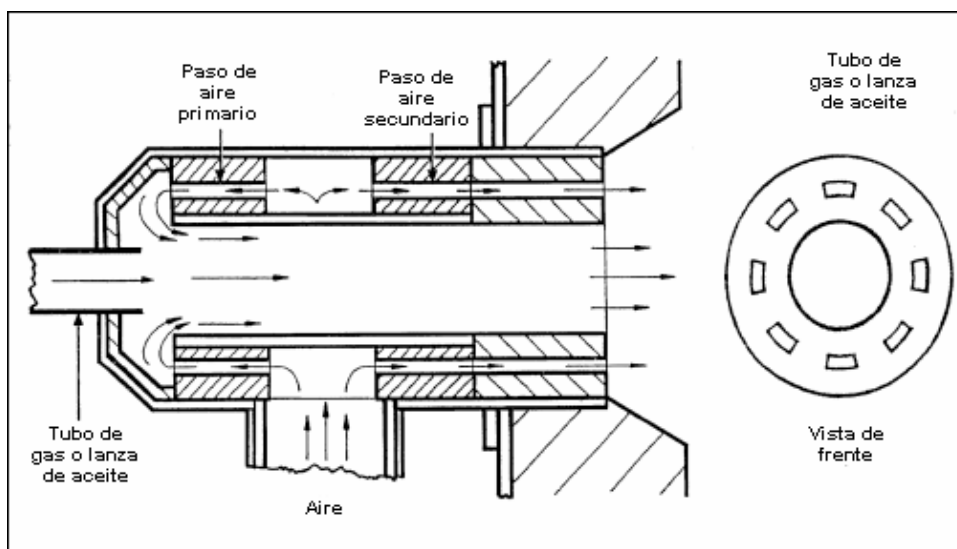


Figura D.2-2: Esquema de un quemador con bajo nivel de NOx con graduación del aire [HMIP-95-003].

Existen diversos diseños de quemadores con graduación del aire, que difieren en la forma en que se crean las dos zonas de combustión. En los quemadores con graduación de aire aerodinámicos, todo el aire de combustión fluye a través de la misma abertura del quemador, de modo que se utiliza la aerodinámica para crear la primera zona rica en combustible. Los quemadores con graduación de aire externos utilizan una corriente de aire separada para completar la combustión. En los quemadores con graduación de aire antes de la cámara de combustión, la zona rica en combustible se establece en una sección separada antes de la cámara de combustión. Los factores clave de diseño que controlan la eficacia de los quemadores por etapas con graduación de aire son la temperatura y el tiempo de estancia en cada etapa. Los fabricantes generalmente indican una reducción en las emisiones incontroladas de NO_x con combustión a gas del 50 – 60% mediante la graduación del aire [HMIP-95-003].

En los quemadores con graduación del combustible, se deja que se forme NO en la zona de combustión primaria, pero se inyecta combustible más adelante para crear una segunda zona rica en combustible o de ‘recombustión’ en la que el NO se reduce a N₂. Más adelante se añade más aire para completar la combustión del exceso de combustible en una zona de combustión terciaria, de nuevo con un estricto control de la temperatura para minimizar la formación térmica de NO. El combustible de recombustión pueden ser gas natural o carbón.

Las reacciones clave responsables de la conversión del NO a N₂ en las zonas ricas en combustible de ambos tipos de quemadores de bajo nivel de NO_x son las que tienen lugar entre el NO y los radicales de hidrocarburos pequeños y los que contienen nitrógeno (como CH, CH₂, NH, NH₂, NCO) que se encuentran presentes en estas condiciones. Los mecanismos de la química del NO_x son complejos, y la eficacia de los métodos aquí descritos para reducir la formación de NO_x depende de una serie de factores como el diseño de los quemadores, su funcionamiento, la calidad del combustible (particularmente el contenido de componentes volátiles y de combustible con nitrógeno), el tamaño de las partículas (especialmente para combustibles líquidos y sólidos) y la escala de operación.

Las cámaras de combustión por etapas de bajo nivel de NO_x ofrecen las técnicas de control más aplicables para hornos industriales y no presentan muchas dificultades de instalación. Algunos diseños, aunque no todos, de cámaras de combustión por etapas producen bajas velocidades de salida del quemador, y esta reducción del momento de inercia puede causar cambios en la aerodinámica del horno y por consiguiente problemas con la distribución de la transferencia de calor. De modo similar, las llamas tienden a alargarse, lo que puede requerir un aumento en los niveles de exceso de aire para evitar el contacto directo de la llama con el material que se está calentando [HMIP-95-003].

Los quemadores de bajo nivel de NO_x pueden ser más complejos y/o voluminosos que los quemadores convencionales y pueden originar problemas en el diseño del horno o en su adaptación a hornos existentes. Los costes de inversión para la adaptación dependen del tipo y del tamaño del horno, así como del grado de compatibilidad del equipo de combustión existente. No hay aumento de los costes operativos en conexión con los quemadores de bajo nivel de NO_x [ETSU-45].

D.2.2 Limitación de las temperaturas de precalentamiento del aire

Los niveles de emisión de NO_x dependen del aumento de NO_x con las temperaturas de precalentamiento del aire de combustión, como se muestra en las Figuras D.2-3 y D.2-4. Así, la limitación del precalentamiento del aire puede ser una medida para limitar las emisiones de NO_x.

Por otra parte, el precalentamiento del aire de combustión es una medida comúnmente aplicada para aumentar el rendimiento energético de los hornos y para reducir el consumo de combustible, como se ha descrito en el Capítulo D.2. El aumento del consumo de combustible que cabe esperar de la reducción de las temperaturas de precalentamiento del aire puede verse en la Tabla D.2-1.

Generalmente, las plantas tienen interés en reducir el consumo de combustible puesto que implica un beneficio monetario, pero la reducción del consumo de combustible puede además reducir otros contaminantes del aire, como CO₂, SO₂ y partículas. Por consiguiente, debe hacerse una elección entre el rendimiento energético y la reducción de las emisiones de CO₂ y SO₂ por una parte y el aumento de las emisiones de NO_x por la otra. Manteniendo altas las temperaturas de precalentamiento del aire, podría ser necesaria la aplicación de medidas secundarias de reducción de NO_x.

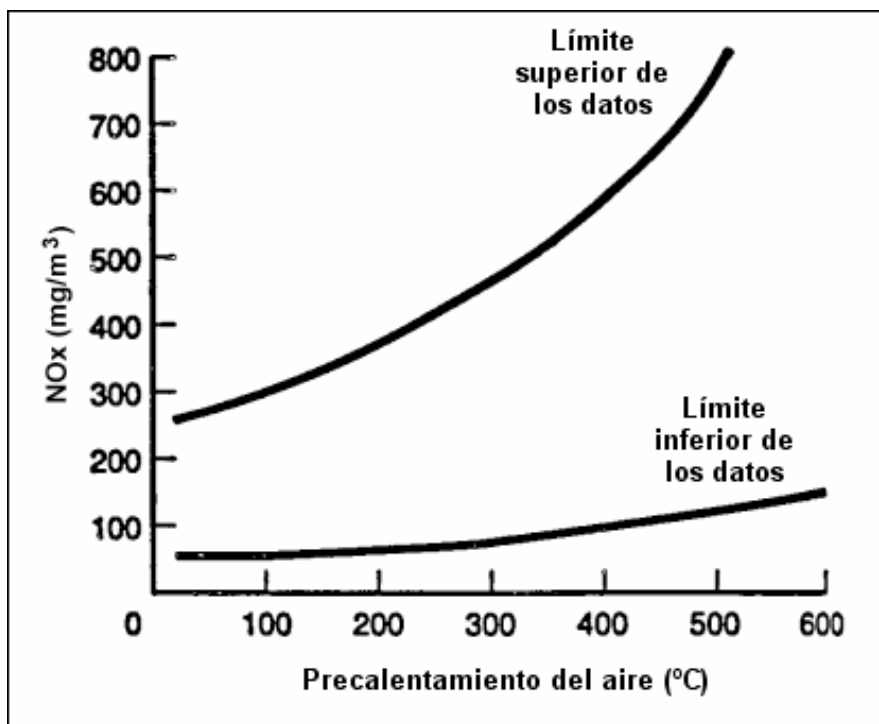


Figura D.2-3: Influencia de las temperaturas de precalentamiento del aire (rango bajo) sobre las emisiones de NOx¹ [ETSU-45].

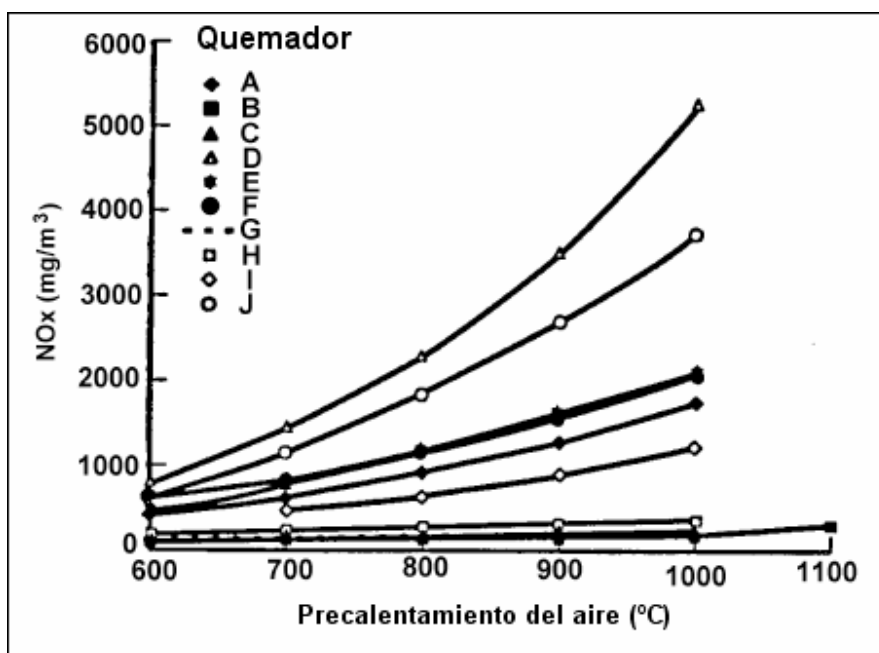


Figura D.2-4: Influencia de las temperaturas de precalentamiento del aire (rango alto) sobre las emisiones de NOx¹ [ETSU-45].

¹ Concentraciones de NOx expresadas en mg/m³, corregidas al 3 % de oxígeno sobre base seca, a 0°C y 101.3 kPa

Precalentamiento inicial del aire [°C]	Precalentamiento final del aire [°C]								
	1000	900	800	700	600	500	400	300	200
1000	0,0	6,0	12,6	19,9	28,3	37,7	48,6	60,4	74,5
900		0,0	6,3	13,1	21,1	30,0	40,3	51,4	64,7
800			0,0	6,4	13,9	22,2	31,9	42,3	54,9
700				0,0	7,0	14,9	24,0	33,8	45,6
600					0,0	7,4	15,9	25,0	36,0
500						0,0	7,9	16,4	26,7
400							0,0	8,4	17,4
300								0,0	8,8
200									0,0

Tabla D.2-1: Porcentaje calculado de aumento del consumo de combustible de por el precalentamiento con reducción de aire [ETSU-45].

D.2.3 Recirculación externa de los gases de combustión (RGC)

La recirculación de los gases de combustión (RGC) es una técnica para limitar la temperatura máxima de la llama. La recirculación de los gases de combustión al aire de combustión rebaja el oxígeno a un 17 – 19% y reduce la temperatura de la llama, lo que limita la formación térmica de NO_x [HMIP-95-003], [HR].

Las reducciones de NO_x conseguidas con la RGC se muestra en la Figura D.2-5. El diagrama se basa en una serie de datos de ensayo.

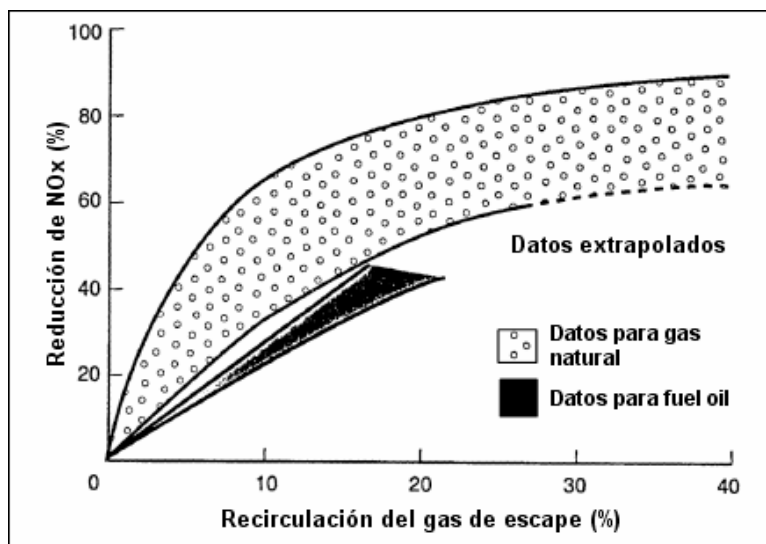


Figura D.2-5: Efecto de la recirculación de los gases de combustión sobre las emisiones de NO_x [ETSU-45].

Algunos datos de varios bancos de ensayo muestran que la RGC puede conseguir reducciones de NO_x cercanas al 70 – 80% según la fracción del gas de combustión que se recircule (RGC del 20 al 30%), la temperatura de los gases recirculados, y si la RGC se aplica a no a un sistema con quemadores de bajo nivel de NO_x. Las reducciones fraccionales, comparadas directamente con un quemador de combustión por etapas deben ser algo inferiores, pero las reducciones globales con respecto a la referencia deben ser mayores, aunque no se dispone suficientes resultados experimentales para poderlo cuantificar para quemadores industriales de alta temperatura [HMIP-95-003].

En principio, la RGC debería ser aplicable a la mayoría de procesos de recalentamiento y tratamiento térmico. No obstante, para realizar la adaptación en la práctica, puede haber dificultades físicas para instalar los conductos, así como problemas de accesibilidad [HMIP-95-003].

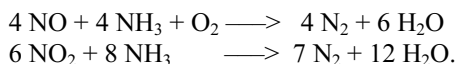
Al menos un fabricante ofrece RGC en conjunción con su gama de quemadores de bajo nivel de NO_x, y puede que haya otros.

Por lo que respecta a problemas operativos, existe la preocupación de que puedan darse problemas de estabilidad de la llama a bajo régimen y que el mayor contenido de vapor de agua en los productos de combustión pueda aumentar por ejemplo el decapado del acero que se está calentando [HMIP-95-003].

Existen algunas dudas acerca del modo en que la RGC pueda aplicarse realmente en un sistema de combustión con quemadores múltiples. Combustibles de composición variable (y por lo tanto volúmenes variables de gas residual) podrían también producir problemas de control de la combustión [EUROFER HR].

D.2.4 Reducción catalítica selectiva (RCS)

El proceso de RCS es el método más desarrollado y ampliamente usado de eliminación de NO_x de los gases de extracción. El proceso comporta la reducción del NO y NO₂ a N₂ con amoníaco sobre un lecho catalítico. Las reacciones generales:



El margen de temperatura óptimo para estas reacciones es de 300 – 400 °C. Normalmente el amoníaco se agrega en proporción ligeramente subestequiométrica (0,0 – 1,0 moles / mol de NO_x) para evitar que se arrastre [HMIP-95-003], [ETSU-45], [HMIP-95-003].

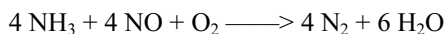
El catalizador más eficaz y ampliamente usado es el pentóxido de vanadio, V₂O₅, sobre soporte de TiO₂. Otras sustancias que presentan actividad catalítica son el Fe₂O₃ y el CuO; los metales nobles (Pt, Pd, Ru, Rh); óxidos de los metales W, Mo, Cr, Co y Ni; ciertas zeolitas y el carbón activado. El catalizador puede emplearse en una serie de estructuras y configuraciones para aliviar el problema de bloqueo por partícula, según la gravedad del problema. Un catalizador en forma de nido de abeja es adecuado en una configuración de lecho fijo, dado que permite el paso de las partículas sin obstrucciones. Un lecho móvil permite la regeneración constante del catalizador desactivado u obstruido. También es adecuado un esquema de flujo paralelo [HMIP-95-003].

La desactivación por empobrecimiento (Na, K, As), erosión o contaminación por sólidos puede limitar la vida útil del catalizador [EUROFER HR].

La eficacia de la reducción de NO_x mediante RCS depende del catalizador empleado y de la concentración inicial de NO_x. Se han señalado valores de hasta un 95%, siendo el rango típico de 70 – 90 % [HMIP-95-003], [ETSU-gir-45].

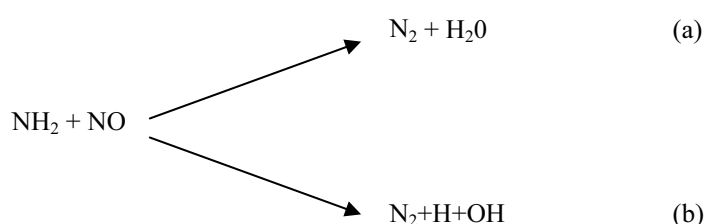
D.2.5 Reducción no catalítica selectiva (RNCS)

En este proceso, también conocido como proceso de eliminación del NO_x térmico, se inyecta amoníaco directamente en el gas de combustión a temperaturas más elevadas para reducir el NO a N₂, sin ayuda de catalizador. Para asegurar la máxima reducción posible del NO_x, es necesario inyectar el reactivo en un punto del proceso en el que la temperatura del gas de escape esté dentro del rango óptimo. Para el amoníaco, el rango está entre 850 y 1000 °C, y para urea el rango es de 950 a 1110 °C. La reacción general es:



Se requiere la presencia de un exceso de O₂ en el gas de escape, así como un tiempo de estancia de 0,1 a 0,4 segundos. Una característica de este proceso es que sólo es eficaz en un estrecho margen de temperatura [HMIP-95-003].

El mecanismo de reacción es una fase gaseosa homogénea, y la etapa clave es:



La vía de apertura de cadenas (b), que produce radicales, es crucial para mantener la reacción: sin él la reacción terminaría rápidamente. Esta reacción está en competencia con reacciones del NH₂ con radicales oxidantes (O, OH) que llevan a la formación de NO. Esta competencia explica la existencia del margen de temperatura. A temperaturas por debajo del límite inferior de temperatura, la reducción del NO se ve limitada por pasos de cierre de cadenas de radicales en el mecanismo que compite efectivamente con las etapas de apertura de cadenas; a temperaturas por encima del límite superior de temperatura, la oxidación del NH₂ domina sobre la reducción del NO, lo que produce una formación neta de NO. Los aditivos influyen sobre este margen, al alterar el equilibrio entre estos dos procesos [HMIP-95-003].

D.2.6 Comparación de los métodos de reducción de NOx para hornos

Técnica	Ventajas	Desventajas
Quemadores de bajo nivel de NOx	- Reducción moderada a media de NOx - Sin cambios en el consumo de combustible - Bajo o nulo aumento de los costes operativos	- Elevados costes de inversión - Llama más larga (¿) - Forma pobre de la llama (¿) - Menor velocidad de la llama (¿) - Mala uniformidad de la temperatura del horno (?) - Menor estabilidad de la llama (?) - Quemadores grandes (?) - Problemas a bajo régimen (?)
Limitación del precalentamiento de aire	- Puede ser simple, con costes de inversión bajos o nulos. - Reducción moderada a alta de NOx	- Aumento de los costes de combustible - Degradación del equipo de combustión. - Menor estabilidad de la llama - Menor velocidad de los quemadores, es decir, menor uniformidad de la temperatura en el horno.
Recirculación de los gases de combustión	- Reducción moderada a alta de NOx - Mejora de la uniformidad de la temperatura (?) - Costes de inversión medios (si no se requiere mejora)	- Aumento de los costes de combustible y electricidad. - Se requiere más espacio. - Menor estabilidad de la llama. - Degradación del sistema de combustión existente
RCS	- Alto nivel de eliminación de NOx - No degrada el sistema de combustión	- Costes de inversión muy elevados - Aumento de los costes energéticos y operativos - Desprendimiento de amoníaco - Problemas de conservación del amoníaco - Sensible a los cambios de temperatura/ caudales - Requiere una temperatura específica del gas residual
RNCS	- Reducción moderada a alta de NOx - No degrada el sistema de combustión	- Costes de inversión muy elevados - Aumento de los costes energéticos y operativos - Desprendimiento de amoníaco - Problemas de conservación del amoníaco (a menos que se use urea) - Sensible a los cambios de temperatura/ caudales/estequiometría - Requiere un horno específico
Nota: Fuente [ETSU-gir-45]. (?) Indica un efecto posible o probable		

Tabla D.2-2: Comparación de los métodos de reducción de NOx.
(según [ETSU-gir-45])

Técnica	Rango típico de reducción de NOx	Costes de inversión inicial (miles de GBP)	Costes operativos (miles de GBP)	Coste total de la técnica (miles de GBP/año para horno de 50 MW)					
				2000 horas/año	3000 horas/año	4000 horas/año	5000 horas/año	6000 horas/año	8000 horas/año
Quemadores de bajo nivel de NOx	Hasta 97	328	0,0	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7
Precalentamiento con limitación de aire		ND	0,0257 para reducción de NOx del 50%	92,5	139	185	231	278	370
Recirculación del gas de combustión	Hasta 93 (44,74 15 % RGC)	75,6 (631)*	0,098 (0,072)*	47,6 (129)*	65,2 (142)*	82,9 (154)*	101 (167)*	118 (180)*	153 (206)*
RCS	Hasta 95 (valor típico 70 - 90)	1100 - 2530	0,0722	205 - 438	218 - 451	231 - 464	244 - 477	257 - 490	283 - 516
RNCS (con NH ³)	Hasta 85 (valor típico 50 - 60)	350 - 650	0,0361	69,9 - 119	76,4 - 125	82,9 - 132	89,4 - 138	95,9 - 145	109 - 158
Nota: Fuente de los datos [ETSU-45] ND: No disponible y, a efectos de cálculo, se supone que es pequeño en comparación con los costes operativos. * Las cifras entre paréntesis hacen referencia al caso en que los quemadores y regeneradores necesitaran mejorarse. NB1 Las cifras de recirculación de los gases de combustión se basan todas en un 15% de RGC. Coste adicional estimado de combustible = 3,2 % Aumento de los costes de funcionamiento de los ventiladores (basado en quemadores regenerativos) = 1,6 de los costes de combustible (0,32 % si mejoraran los quemadores y regeneradores). NB2 Las cifras de costes de inyección de agua se basan en 15 kg (agua)/GJ (combustible): Coste adicional estimado de combustible = 11,8 % Coste del agua no incluido									

Tabla D.2-3: Costes estimados de las técnicas de reducción de NOx para un horno de 50 MW (según [ETSU-gir-45])

D.3 EMULSIONES DE ACEITE

D.3.1 Limpieza y reutilización de las emulsiones

Las emulsiones de laminación de los trenes de laminación, lubricantes del trefilado húmedo de alambre, etc. recogen partículas, virutas de acero, cascarilla y polvo durante el funcionamiento. A medida que aumenta el grado de contaminación, estas impurezas afectan la calidad del producto y producen fallos en el proceso. Para que los sistemas de emulsión puedan utilizarse como sistemas de circulación y prolongar la vida útil de las emulsiones, la limpieza debe controlarse estrictamente.

Los sólidos pueden eliminarse de las emulsiones por gravedad, en **tanques de sedimentación, separadores, filtros de malla, filtros magnéticos, etc.**

Para eliminar sólidos, la **centrífuga** se basa en la fuerza centrífuga. El líquido sucio se alimenta al rotor o en la vasija de centrifugación, donde el líquido se acelera y distribuye sobre las paredes internas de la vasija. Los sólidos se separan y compactan en el perímetro de la vasija. Los sólidos permanecen en la vasija mientras el líquido sale, desplazado por el líquido entrante.

Una vez la vasija está llena a su máxima capacidad de sólidos residuales, se activa el ciclo de limpieza automática. En este punto, se interrumpe la alimentación de líquido sucio y el rotor se para por completo. Las hojas de rascado internas giran entonces adelante y atrás contra el rotor mientras desprenden los sólidos, que caen en una tolva de recogida [El-Hindi].

Según el tamaño de partícula de los sólidos, pueden usarse **filtros de malla o medios de filtración** con papel desechable. El líquido se fuerza a través de los medios de filtración, que extraen los finos por gravedad, presión o vacío.

No obstante, puede ser necesario extraer del sistema parte del caudal para mantener la calidad.

D.3.2 Tratamiento de las emulsiones consumidas / separación de emulsiones

El caudal parcial desechado de los circuitos de emulsiones requiere tratamiento antes de su evacuación. Este tratamiento sustituye básicamente la separación de la fase acuosa y la fase de aceite. El agua purificada es evacuada. El aceite o el lodo con aceite separado puede reutilizarse, por ejemplo térmicamente mediante incineración. Existen muchos distintos sistemas de separación de emulsiones, cada uno de los cuales se compone de varios pasos de proceso. Los tratamientos disponibles son:

- Térmicos: mediante evaporación y separación con agentes químicos.
- Químicos: separación de ácidos, separación de sales, dosificación combinada de coagulantes y polielectrolitos.
- Flotación.
- Adsorción.
- Electrolíticos.
- Filtración con membrana (ultrafiltración, ósmosis inversa).

D.3.2.1 Separación térmica de emulsiones/evaporación

La separación térmica utiliza una fuente de calor, como un tubo de calentamiento interno o un quemador a gas de inmersión, para elevar la temperatura de la emulsión y acelerar la velocidad de evaporación, separando el contenido de agua. El agua sale en forma de vapor, dejando el aceite cada vez más concentrado para ser evacuado por separado [El-Hindi].

El aire saturado con vapor de agua se pasa a través de elementos aglutinantes para retener las posibles gotas de refrigerante en la corriente de aire antes de su evacuación. Como opción, puede instalarse una unidad de condensación con un serpentín refrigerado por agua en la chimenea de evacuación para recuperar el agua como condensado. Este caudal de agua puede utilizarse luego como agua de confección para su reintroducción en el sistema de emulsión [El-Hindi].

El aceite concentrado que queda en la cámara es sometido a un ciclo de enfriamiento para extraer más contenido de agua. Mediante la separación térmica, una emulsión con una concentración inicial del 5 al 7 por ciento de aceite puede reducirse en última instancia a un 90 por ciento de aceite y un 10 por ciento de agua. Con la mayor parte del agua eliminada, el volumen y el coste de desecho es mucho menor. Con una mayor concentración de aceite, la opción de reutilización por incineración es más viable [El-Hindi].

D.3.2.2 Separación química de emulsiones

En la separación con ácido/sal, el aceite emulsificado se adsorberá en su mayoría al lodo y no se separará como fase de aceite. La adición de ácidos, sales de hierro/aluminio o polielectrolitos causa la desestabilización de la emulsión de aceite debido a la neutralización de las partículas coloidales cargadas. La separación de emulsiones de aceite con ácidos o sales no es una técnica avanzada, debido a que genera grandes cantidades de lodos de neutralización que contienen aceite y contamina el agua residual con sal. Los ácidos/sales pueden usarse como postratamiento en procesos combinados si sólo deben eliminarse pequeñas cantidades de aceite residual.

Los polielectrolitos solubles en la fase de aceite (denominados “separadores orgánicos”, como poliaminas terciarias o cuaternarias) no producen lodo durante el proceso de separación en sí, sino que generan una fase de aceite líquido que puede extraerse y utilizarse. Est proceso puede utilizarse para tratar emulsiones con un elevado contenido de aceite emulsificado (una técnica de pretratamiento bastante adecuada si se aplica una combinación de procesos). Los polielectrolitos (utilizados a menudo en combinación con absorbentes) a través de los cuales se fija la porción de aceite emulsificado dentro de flóculos y que producen un lodo extraíble (flotación o sedimentación) deben usarse solamente cuando el contenido de aceite es bajo (menos de 300 mg/l), con el fin de reducir el consumo de floculantes, el volumen de lodo y por consiguiente los costes. Si se aplica una combinación de procesos, la floculación puede usarse como postratamiento [Com2 D].

D.3.2.3 Flotación

La flotación es un proceso de separación por gravedad que aprovecha la distinta densidad de los dos medios. El medio más ligero (ej: aceite) se recoge en la superficie del medio más pesado (ej: agua) en un tanque con baja turbulencia. Incluso los medios más pesados (ej: flóculos) pueden recogerse en la superficie si son aligerados por burbujas de gas que se fijan a ellos. Las burbujas de aire deben ser menores que los flóculos, de lo contrario no se fijan. Las burbujas pequeñas se producen generalmente presurizando juntos agua y gas (flotación por aire disuelto), electrolíticamente (el agua se disocia en burbujas de hidrógeno y oxígeno) o por grandes fuerzas de agitación (dispersión mecánica del gas en el agua) [Com2 A].

La separación de la emulsión por flotación es normalmente un proceso de dos etapas que consiste en primer lugar de la ruptura química de la emulsión (dosificando ácido, floculantes y polielectrolitos, o electroquímicamente, disolviendo el ánodo), y en segundo lugar la flotación para la separación de los flóculos del agua [Com2 A].

La capa de lodo flotante que se forma en la superficie del agua (flotado) se elimina mecánicamente. En general, las técnicas de flotación pueden distinguirse entre otras cosas por el modo en que se producen las burbujas de gas:

- Flotación por alivio de presión (introducción de agua presurizada saturada de aire).
- Electroflotación (descomposición electrolítica del agua con formación de burbujas de hidrógeno y oxígeno).
- Flotación por dispersión (generación de microburbujas mediante inyección de aire a través de un cañón hueco).

No aparecen sólidos adicionales en el lodo del flotado si se utilizan electrolitos para la separación de emulsiones en lugar de ácidos/sales [Com2 D].

D.3.2.4 Adsorción

Adsorción significa adherir las partículas de aceite a la superficie de un adsorbente sólido o semisólido. El adsorbente puede ser un lecho fijo de sólidos (ej: carbón activado) a través del cual fluye la emulsión, o puede ser un sólido en polvo (ej: carbón activado) o flóculos semisólidos (ej: hidróxido de hierro) distribuidos en el líquido. El polvo o los flóculos deben separarse en última instancia del líquido por sedimentación, flotación o filtración [Com2 A].

El adsorbente contaminado por aceite debe ser evacuado cuando esté consumido, y tratarse como lodo, o debe quemarse (a veces regenerarse, en caso de lechos fijos).

Los adsorbentes de lecho fijo y los adsorbentes en polvo sólo son utilizables para concentraciones de aceite muy bajas, de lo contrario el adsorbente se agota demasiado rápido y por consiguiente es demasiado caro. No es común como tratamiento básico de emulsiones, pero en ocasiones se utiliza como paso de limpieza final de otros tipos de separación de emulsiones. La adsorción a flóculos semisólidos es parte de la separación química de emulsiones [Com2 A].

Un tipo especial de adsorción son los filtros aglutinantes. Estos filtros están rellenos de malla de alambre regular o irregular y relleno plástico o cerámico, que hacen que las gotitas de aceite se aglutinen y se adhieran a este relleno. Si el volumen de aceite recogido aumenta, las gotas de aceite (ahora de mayor tamaño) se escapan y ascenderán a la superficie, desde la que serán eliminadas. Los filtros aglutinantes se utilizan en ocasiones como pretratamiento de emulsiones para eliminar las gotitas de aceite libre de la emulsión [Com2 A].

El uso de adsorbentes para el tratamiento de las emulsiones usadas consume grandes cantidades de agentes químicos y genera cantidades considerables de lodo residual con aceite [Com2 D].

D.3.2.5 Separación electrolítica de emulsiones

En la separación electrolítica de emulsiones se disuelven ánodos de aluminio; los copos del lodo resultante fijan el aceite y flotan. Para mejorar el efecto de separación puede agregarse polielectrolito. Además, se mantiene el control del valor del pH y de la conductividad eléctrica.

Todo el aceite contenido en la emulsión debe eliminarse como lodo. El proceso no produce una fase de aceite adecuada para ser usada [Com2 D].

D.3.2.6 Ultrafiltración

Una buena alternativa para emulsiones con una baja concentración inicial de aceite (< 2%) es el uso de ultrafiltración (UF), véase Figura D.3-1, para separar mecánicamente los aceites o jabones. El aceite se separa a nivel molecular, forzando el paso de la emulsión a través de filtros de membrana. Las membranas bloquean el paso de las moléculas de aceite, mientras que las moléculas de agua pasan. El agua que pasa a través se denomina permeado, mientras que el aceite retenido se denomina concentrado. Normalmente, la concentración del concentrado (aceite) no supera el 25% y está limitada por el taponamiento de las membranas. Dado que las membranas se taponan, los cartuchos de ultrafiltración deben ser sometidos periódicamente a lavado a contracorriente [El-Hindi].

La eficacia media de separación de la UF, en relación con el agua industrial normal, es de unos 40 l/h por m² de superficie del filtro [EUROFER HR].

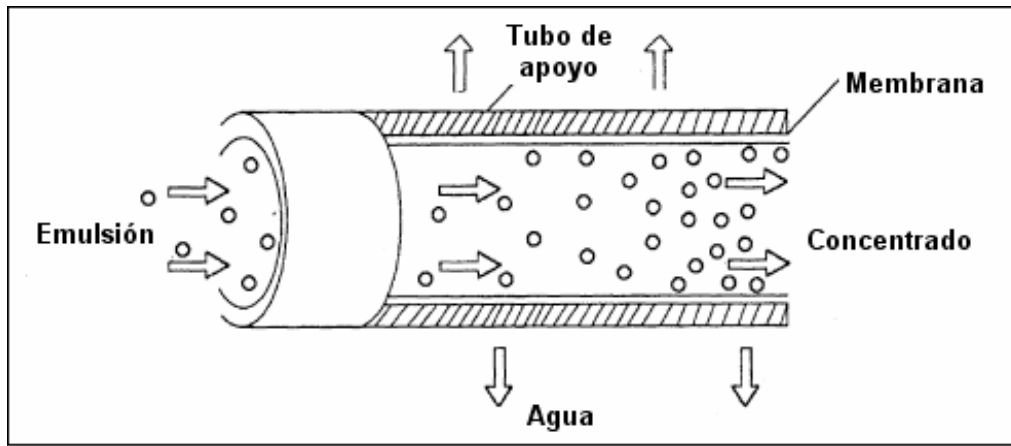


Figura D.3-1: Principio de la ultrafiltración
[Fichtner].

D.3.3 Extracción de la niebla de aceite / vapores de emulsión y aceite

Precipitación

Los vapores de las emulsiones de los trenes de laminación se extraen y se hacen pasar a través de separadores para su limpieza. Se utilizan eliminadores que contienen rellenos deflectores y placas de choque o paneles de malla para separar el aceite del caudal de aire extraído, y en algunos casos precipitadores electrostáticos. La eficacia de reducción es $> 90\%$.

D.4 DESENGRASE ALCALINO

D.4.1 Aplicación de cascadas en los baños de desengrase

➔ No se ha facilitado información.

D.4.2 Predesengrase con agua caliente

(desengrase con agua caliente a 60 – 80 °C, puede eliminar el 99% del aceite).

➔ No se ha facilitado más información.

D.4.3 Mantenimiento y limpieza de los baños de desengrase

Un elevado contenido en aceite hace que las soluciones desengrasantes no puedan utilizarse, por lo que se aplican medidas de limpieza para prolongar la vida útil del baño. Pueden aplicarse las siguientes medidas:

D.4.3.1 Limpieza mecánica

El lodo, mezcla de aceite, otras impurezas y desengrasante consumido, que sedimenta en el fondo de los baños de desengrase, puede eliminarse mediante **rascadores**. Las partículas suspendidas también pueden eliminarse mediante sedimentación en **separadores gravitatorios**.

Dado que las emulsiones de agentes desengrasantes y aceite/grasa de la superficie del metal son normalmente inestables, flotan en las zonas calmas de la superficie al cabo de un tiempo. Las zonas calmas pueden conseguirse mediante un diseño especial del tanque de desengrase o, si esto no es posible, por ejemplo cuando la solución de desengrase se pulveriza, introduciendo un tanque calmo especial en el que la solución puede asentarse. El aceite y la grasa que flotan en la solución pueden eliminarse mediante **desespumadores, lavadores de desagüe**, etc..

Con estas medidas, utilizando simplemente la gravedad natural (tiempo de separación: un par de horas), la vida útil de los baños de desengrase puede prolongarse de 2 a 4 veces. El lodo extraído contiene, aceites, grasa, agente desengrasante, cascarilla, óxido, polvo, etc. y normalmente se desecha [ABAG], [Fichtner].

La separación es más eficaz con **separadores centrífugos** o hidrociclones, que separan las fases de aceite y agua en segundos. Las gotas muy pequeñas de aceite y grasa se separan más fácilmente; la parte rica en aceite contiene sólo un 5 – 10% de agua y se evita la transferencia no deseada de agentes químicos desengrasantes. La vida de los baños puede prolongarse hasta 16 veces [ABAG].

D.4.3.2 Separadores magnéticos / filtros

Pueden usarse separadores magnéticos para eliminar la mezcla de finos de hierro y aceite de los baños de desengrase.

- No se ha facilitado más información.

D.4.3.3 Adsorción de surfactantes y aceite (Precipitación seguida de filtración)

- No se ha facilitado información.

D.4.3.4 Filtración con membranas

En la **micro y ultrafiltración** (véase también Figura D.3-1: Principio de la ultrafiltración), el baño de desengrase se impulsa a través de membranas (3 – 8 bar) en las que quedan retenidos el aceite, la grasa y el surfactante consumido debido al tamaño de las moléculas. Para proteger las membranas, el líquido desengrasante se limpia normalmente antes de partículas en un tanque de sedimentación o por otro medio. La micro y ultrafiltración aumentan la vida del baño en hasta 20 veces [ABAG].

La Figura D.4-1 muestra el diagrama de flujo de una planta de filtración de este tipo; en la producción normal, el líquido desengrasante se bombea fuera del baño a un filtro estándar de platos en el que se eliminan todas las partículas sólidas. El filtrado pasa luego a un recipiente de almacenamiento, también conocido como recipiente de circulación. Este recipiente contiene la solución desengrasante concentrada [Sprang-IG-97].

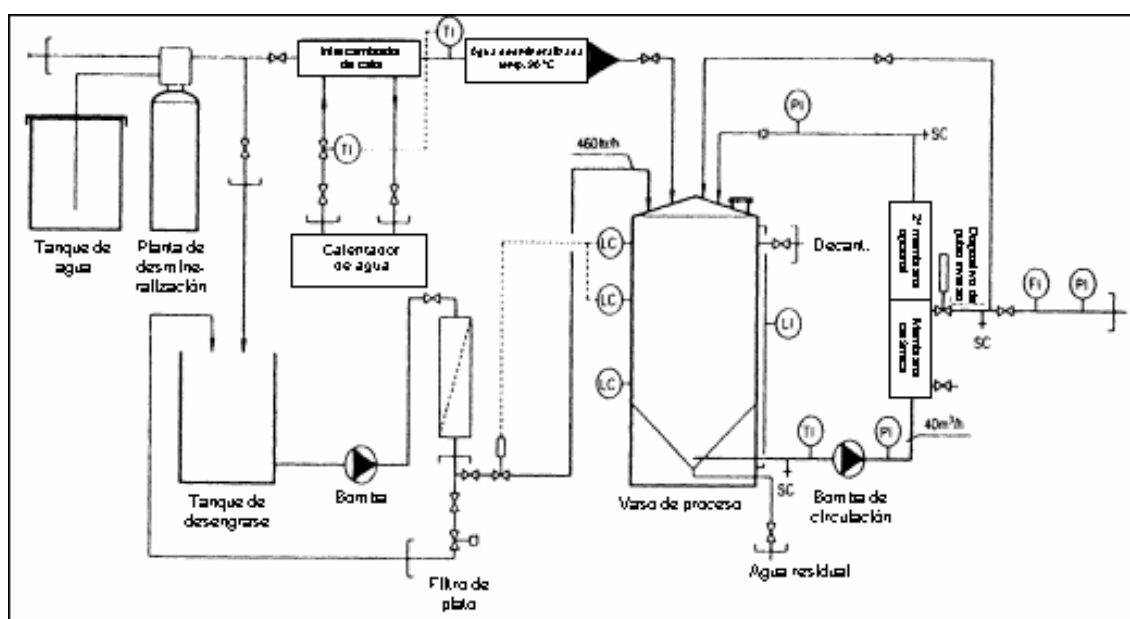


Figura D.4-1: Ejemplo de diagrama de flujo para filtración cerámica de solución desengrasante [Sprang-IG-97].

Una segunda bomba impulsa la solución desengrasante a través de la sección de la membrana a alta velocidad y presión (unos 2,5 bar). El aceite libre y el aceite disuelto por el surfactante son filtrados por la membrana mientras que el líquido limpio y los surfactantes libres fluyen a través de la misma y vuelven al baño de desengrase. De este modo se elimina todo el aceite que se produce en el curso de la producción normal. El líquido circula a través del recipiente de almacenamiento y se concentra con el tiempo. Cuando la concentración de aceite es lo bastante elevada, se apaga la unidad y se deja que sedimente el líquido (aceite y agua) del recipiente de almacenamiento. Al cabo de un periodo de tiempo se produce un proceso de dos etapas; el aceite es separado de la fase acuosa y, para reciclar los surfactantes activos, un componente básico de la solución desengrasante, se aplica un choque térmico en la segunda etapa. Este choque hace que el surfactante libere el aceite atrapado en el mismo y se separe en dos fases. La separación es muy eficaz y se recupera un aceite de alta calidad [Sprang-IG-97].

D.4.4 Tratamiento del baño desengrasante consumido

Aunque se apliquen medidas de limpieza a los baños de desengrase y la solución desengrasante pueda circularse/utilizarse durante algún tiempo, los baños desengrasantes eventualmente deben desecharse, o deben desecharse caudales parciales de forma continua para mantener la calidad del desengrase. Para reducir la carga de aceite, pueden aplicarse las mismas medidas descritas para la separación de emulsiones en los sistemas de emulsiones de aceite (véase capítulo anterior).

El residuo aceitoso generado puede reutilizarse, según la concentración de aceite, por ejemplo mediante incineración. El filtrado de la fase acuosa de la que ya se ha eliminado el aceite es luego tratado ulteriormente en una planta de tratamiento de aguas (véase Capítulo siguiente D.4.5).

D.4.5 Tratamiento del agua residual alcalina

Los caudales parciales del circuito de limpieza de la solución desengrasante, el agua de enjuague del desengrase electrolítico y el agua residual del tren de laminación de efecto superficial, que no pueden reutilizarse en los trenes de laminación, deben tratarse antes de su evacuación. Normalmente se neutralizan con cal o HCl en una planta de neutralización, se pasan a través de filtros y por último se evacúan. El lodo es deshidratado en prensas filtrantes y se evacúa para su desecho en vertedero.

D.4.6 Recogida y tratamiento de los vapores de desengrase

Los vapores generados por las operaciones de desengrase pueden recogerse y extraerse con medidas de uso común, como tanques de desengrase abiertos, recintos, campanas de extracción, etc.. El aire extraído puede entonces limpiarse mediante **eliminadores de niebla**. La separación se basa en la inercia de masa. Las partículas (líquidos o sólidos) con una cierta masa o velocidad siguen su dirección original. Cuando chocan con obstáculos, debido a su inercia de masa, son separadas de la corriente de gas portador. Los obstáculos se crean mediante paredes simples, rellenos (ej: malla de alambre), laberintos, etc. [Com-CC-2].

D.5 DECAPADO

D.5.1 Baño de decapado abierto

El contenido de cloruro de hidrógeno de la fase gaseosa sobre un baño de decapado con ácido clorhídrico depende en gran medida de la temperatura y la concentración del baño, y está determinado por el equilibrio termodinámico y la presión de vapor del ácido.

La Figura D.5-1 muestra la curva limitante para la operación de los baños de decapado con HCl abiertos indicada en [VDI-RL-2579]¹.

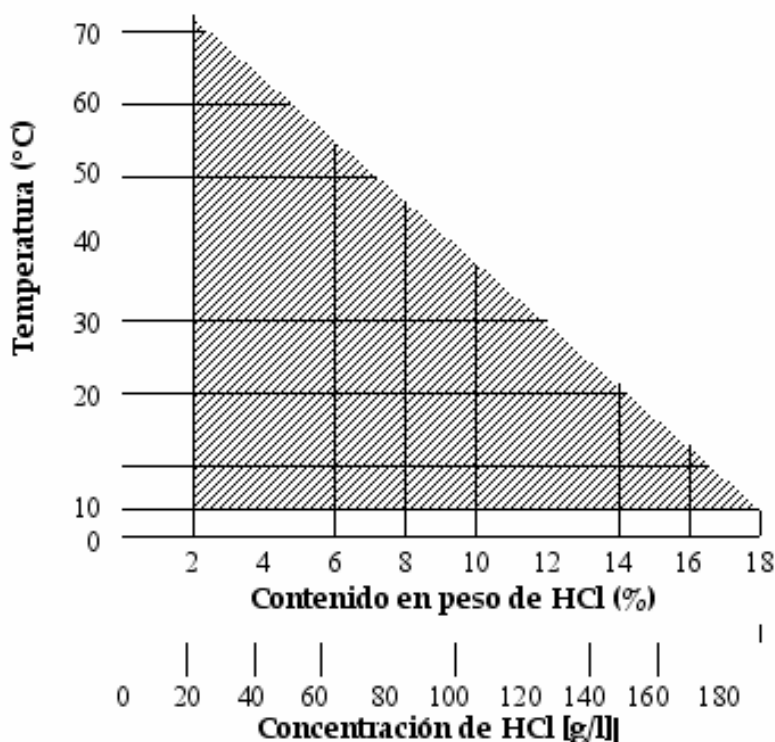


Figura D.5-1: Curva limitante para la operación de los baños de decapado con HCl abiertos. [VDI-RL-2579], [Galv-BAT-E].

Se indica que las emisiones de los baños de decapado están por debajo de 10 mg/m³ cuando el punto operativo (temperatura y concentración de HCl) de los baños está dentro de la zona sombreada de este diagrama [VDI-RL-2579].

Mediante un control estricto de los parámetros de proceso (temperatura, concentración) y asegurando que las condiciones operativas de los baños estén dentro de estos límites dados, los sistemas de extracción de vapor y las técnicas de precipitación subsiguientes pueden llegar a ser redundantes.

Durante la operación, la concentración de cloruro férrico en los baños aumenta: Esto produce un aumento del efecto de decapado. Al mismo tiempo, el cloruro ferroso en el ácido clorhídrico afecta la presión de vapor del ácido del mismo modo que si aumentara la concentración del ácido: la presión de vapor aumenta. Comparando una solución de decapado con un 1% de HCl y un 6% de hierro a 60 °C (140 °F) con una solución normal de ácido al 10%, la presión de vapor se quintuplica [Esco 3].

Así pues, a la hora de determinar el rango operativo óptimo con respecto a la reducción de las emisiones, debe tenerse en cuenta el contenido en cloruro férrico.

Otro aspecto que influye en la cantidad de vapor de ácido emitido es el caudal de aire sobre el baño de

¹ Guía de Referencia de Control de Emisiones para Plantas de Galvanización en Caliente de la Asociación de Ingenieros Alemanes (Verein Deutscher Ingenieure).

decapado. Suponiendo una atmósfera absolutamente calma sobre el baño, la evaporación de ácido se detendría al alcanzar el equilibrio, determinado por la presión de vapor. Un flujo más o menos fuerte y constante de aire sobre el tanque de decapado aparta el vapor de ácido y mantiene el proceso de evaporación en marcha. El resultado no es sólo un mayor consumo de ácido, sino también mayores emisiones ácidas. El movimiento del aire y, en el caso de sistemas de extracción, la velocidad de extracción, deben mantenerse lo más bajos posible.

D.5.2 Control / extracción de emisiones del decapado

Con el fin de extraer las emisiones de aire del decapado y/o otros baños de proceso, se hallan disponibles diversos diseños y técnicas. La Figura D.5-2 muestra una colección de posibles diseños de extracción aplicados a operaciones convencionales de decapado abierto.

Cuanto más abierto y más alejado está el aparato de extracción de la fuente de emisión, menor es la eficacia de captura y mayores los volúmenes que deben extraerse para alcanzar una eficacia de captura de emisiones aceptable. Los sistemas de extracción de techo y murales son normalmente fáciles de instalar y más económicos, pero los grandes caudales generados requieren grandes ventiladores y dispositivos de supresión de emisiones. Además, el edificio en sí y los techos actúan como campanas de recogida de emisiones ácidas, con el consiguiente deterioro. Asimismo, los equipos, como grúas y elevadores situados en las proximidades de los tanques de decapado sufrirán una rápida corrosión.

La extracción por los bordes y las campanas laterales están diseñadas para extraer sólo desde el área del tanque de decapado, por lo que los caudales resultantes son mucho menores.

Los procesos es discontinuo requieren normalmente tanques abiertos y accesibles para cargar y extraer los artículos a decapar, por lo que sólo son aplicables las primeras medidas.

No obstante, la forma más eficaz de capturar las emisiones del decapado es el uso de tanques completamente cerrados y herméticos, como se muestra en la Figura D.5-3. Este tipo de tanques pueden aplicarse en procesos continuos (ej: para el decapado de chapa y alambre) en los que el acero/alambre entra al tanque de decapado a través de aberturas. Los tanques se mantienen bajo una presión ligeramente negativa para evitar el escape de vapores.

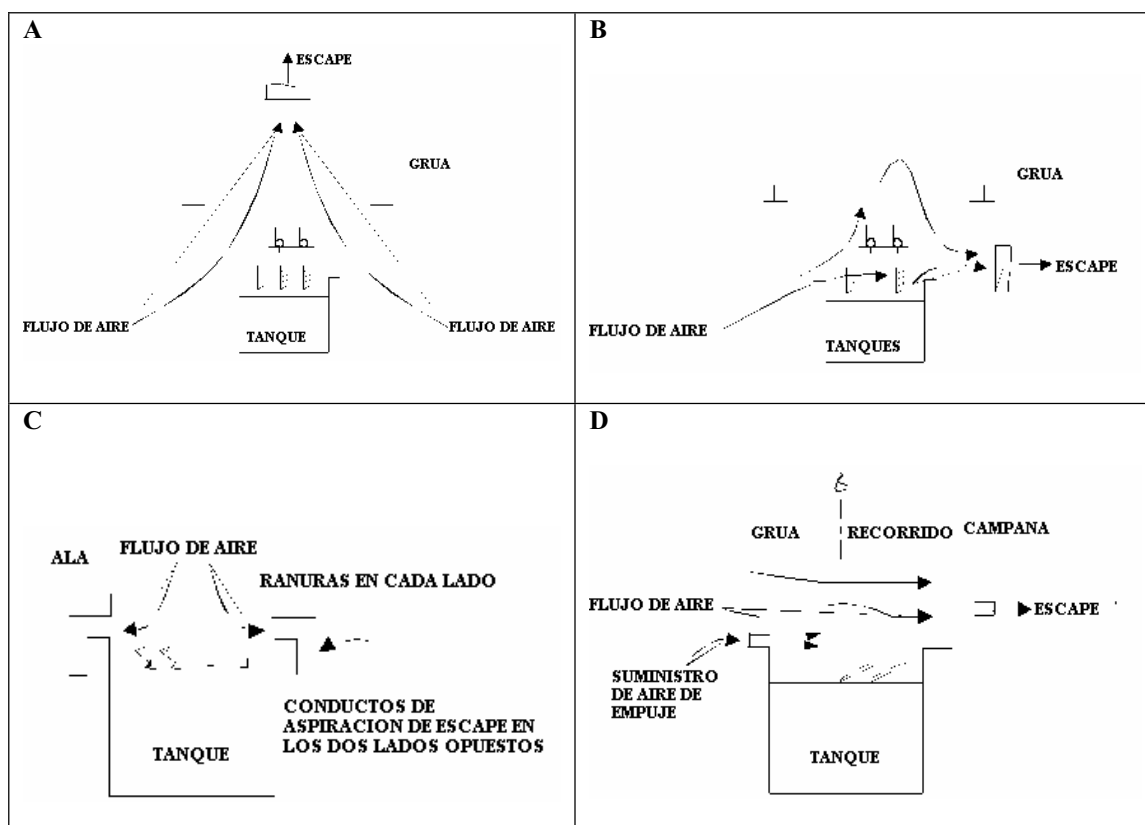


Figura D.5-2: Distintos sistemas de extracción según [Stone].

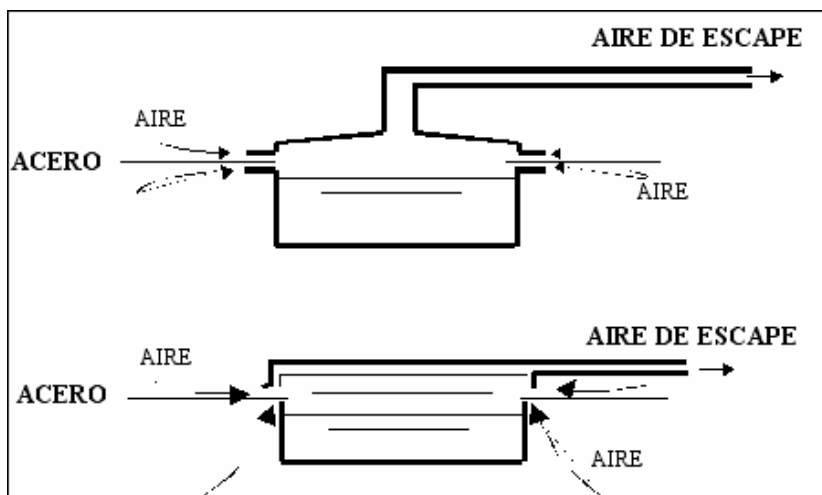


Figura D.5-3: Principios de diseño para tanques de decapado cerrados [ESCO x].

D.5.3 Técnicas de precipitación para gases ácidos, vapores y aerosoles del decapado (y regeneración del ácido)

Los sistemas de lavado húmedo se utilizan para eliminar el gas, los aerosoles o el vapor ácido de los gases residuales. La función principal del lavado húmedo es la absorción de gas o líquido en el medio de lavado mediante un contacto estrecho entre el gas y el líquido. Los sistemas de absorción pueden tener fases líquidas acuosas o no acuosas. La selección de los reactivos apropiados depende de las propiedades del contaminante a eliminar de la corriente de gas.

El agua es adecuada para absorber los gases ácidos solubles como cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno, así como para absorber amoníaco. Las soluciones alcalinas son adecuadas para absorber gases ácidos de menor solubilidad, como el dióxido de azufre, el sulfuro de hidrógeno y el cloro [Martin].

El absorbente de gas necesita una interfase líquido/gas de gran superficie a través de la cual pueda producirse la transferencia de materia. Esto se consigue normalmente utilizando materiales de relleno recubiertos de líquido o mediante la formación de gotitas/burbujas. El diseño del sistema de absorción debe también proporcionar un medio para renovar el absorbente líquido, de forma que se mantenga un gran impulso para la transferencia de materia.

La absorción de gas es un proceso que depende del caudal, y en consecuencia el gradiente de concentración (fuerza impulsora de la reacción) y la superficie de contacto entre las fases líquida y gaseosa son parámetros cruciales del diseño. La superficie viene determinada por el material de relleno o el tamaño de las gotitas. Los caudales de gas y de líquido, así como la caída de presión a través del sistema de absorción influyen en la fuerza impulsora, la eficacia y en algunos casos la superficie (formación de gotitas). En las siguientes secciones se describen los principales sistemas de lavado húmedo en conexión con el lavado del gas residual del decapado con ácido.

Los **lavadores rellenos** (Figura D.5-4) consisten en una carcasa externa que contiene un lecho de material de relleno sobre rejillas de apoyo, distribuidores de líquido, entradas y salidas de gas y líquido, y un eliminador de niebla.

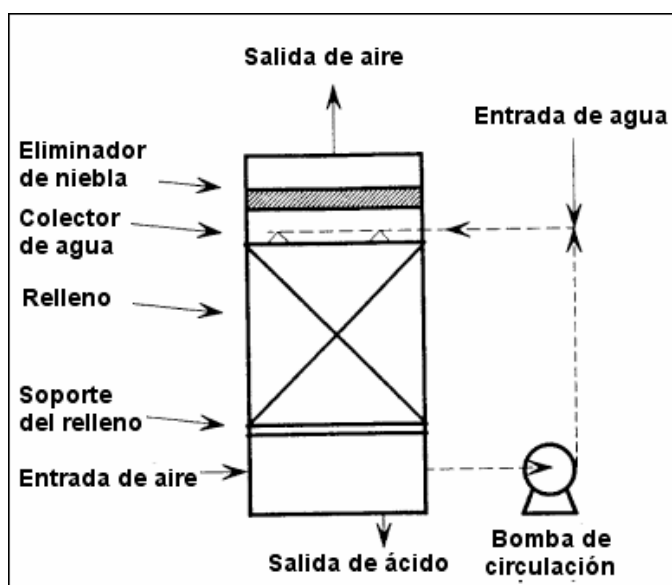


Figura D.5-4: Principio operativo de los lavadores rellenos [ESCO 2].

El agua se aplica normalmente en la parte superior del lecho relleno, y cae por gravedad, chapoteando sobre el relleno, mientras que el gas residual entra por la parte inferior del lavador y es lavado por el agua al pasar ésta hacia arriba a través del lecho. Con este diseño de flujo a contracorriente, el gas más contaminado entra en contacto con el agua más contaminada en la parte inferior del lavador, y el gas más limpio contacta con el agua más limpia en la parte superior del lavador. Son posibles otros diseños en los que los flujos de líquido y gas pueden ser concurrentes o de flujo transversal [ESCO 2].

Para obtener un caudal uniforme y un buen contacto del aire y el agua, el agua debe distribuirse uniformemente por la parte superior del lecho relleno, lo cual se hace habitualmente con un cabezal de distribución equipado con boquillas de pulverización. Asimismo, para asegurar que el gas pueda fluir por todo el lecho, el relleno está sujeto por un soporte. Este soporte de relleno debe ser suficientemente abierto para permitir el paso de agua y aire a través suyo sin crear una caída de presión excesiva, y a la vez ser lo suficientemente fuerte para sujetar el relleno, incluso cuando está sucio e inundado de agua [ESCO 2].

Una desventaja de los lavadores rellenos es que, para funcionar correctamente, el relleno necesita un caudal de agua bastante elevado – unos 200 gpm de agua por 20000 cfm de aire (equivalente a $1,34 \text{ l/m}^3$). Así, en lugar de usar agua fresca, la mayoría de lavadores rellenos tienen bombas de recirculación que impulsan el agua desde la parte inferior del lavador a la parte superior del relleno. Debe agregarse un caudal pequeño y continuo de agua al lavador para purgar el ácido eliminado de la corriente de gas, mediante rebose. Las desventajas de esta práctica son: [ESCO 2].

- La bomba requiere mantenimiento.
- El agua de la parte superior del relleno está ahora contaminada, por lo que ya no se obtienen las ventajas del flujo a contracorriente.
- La suciedad existente en el agua es bombeada de nuevo al relleno, donde puede separarse y bloquear el cabezal de distribución del relleno [ESCO 2].

De todos modos, en comparación con los lavadores de platos, los lavadores rellenos generan un gran caudal del ácido de baja concentración.

En los lavadores rellenos puede obtenerse un alta eficacia de lavado aumentando la profundidad del lecho relleno [ESCO 2].

Los puntos fuertes de los lavadores rellenos son su construcción simple, su tolerancia de una mala instalación, y su capacidad de operar en una amplia gama de caudales. No obstante, mantener un lavador relleno funcionando a su eficacia diseñada (en contraste con sólo “funcionar”, es decir, que pase el aire a través de él) requiere un considerable esfuerzo de mantenimiento para mantener la bomba de circulación en marcha, asegurar que la distribución de agua al relleno sea uniforme, y mantener el relleno limpio [ESCO 2].

El lavador relleno convencional es una columna vertical, con el aire fluyendo hacia arriba, y el agua hacia abajo. Una variación del mismo es el **lavador de flujo transversal** (Figura D.5-5). En el lavador de flujo transversal, el gas residual fluye horizontalmente a través del relleno, mientras que el líquido sigue fluyendo hacia abajo, a través del flujo del gas residual. El esquema básico es el mismo que para los lavadores rellenos convencionales, y sigue siendo necesaria una bomba de circulación para mantener mojado el relleno [ESCO 2].

La ventaja de un lavador de flujo transversal es que necesita menos altura, y que los conductos son normalmente más simples y económicos que para un lavador vertical. No obstante, los lavadores de flujo transversal son ligeramente menos eficaces que los de flujo vertical a contracorriente para la eliminación de los gases solubles [ESCO 2].

Un tipo avanzado de lavador de flujo transversal emula el lavado de etapas múltiples de un lavador de platos. Cada lecho tiene un suministro de agua o sistema de circulación separado, y puede utilizar un relleno estructurado en lugar de aleatorio. Este tipo avanzado de lavador tiene una caída de presión bastante alta, y no se utiliza actualmente en aplicaciones de decapado. Las unidades de flujo transversal con relleno aleatorio son ampliamente utilizadas [ESCO 2].

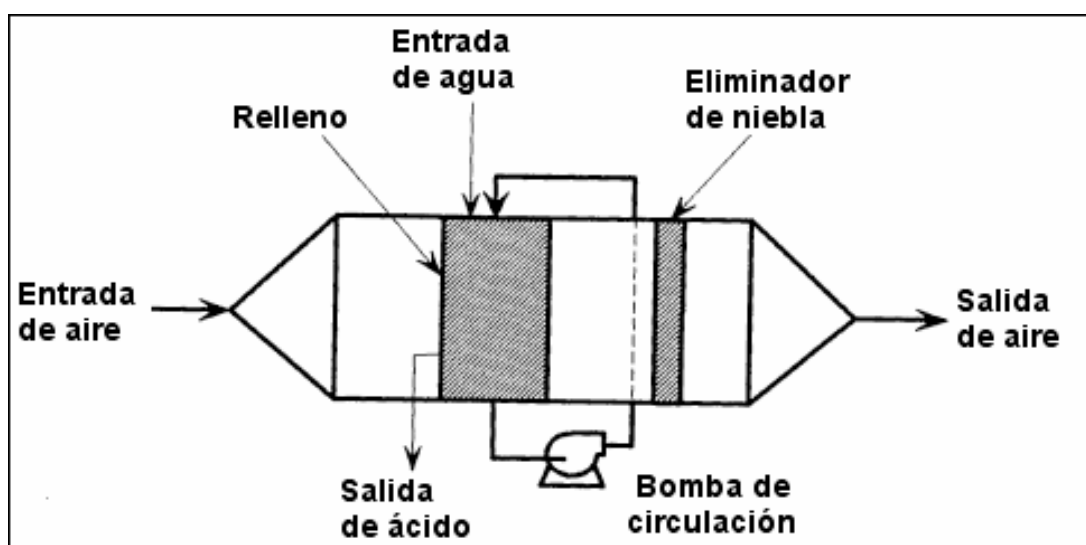


Figura D.5-5: Principio de un lavador de flujo transversal [ESCO 2].

Los lavadores de platos (Figura D.5-6) consisten en una columna vertical con varios platos horizontales perforados (platos de extracción) apilados en la misma. Hay deflectores situados a una corta distancia sobre las aberturas de los platos. El líquido de lavado entra por la parte superior de la columna y fluye sucesivamente por los distintos platos. El gas sucio entra por la parte inferior de la columna y fluye hacia arriba, pasando a través de las perforaciones de los platos. La velocidad del gas es suficiente para evitar que el líquido rezume a través de las perforaciones [Martin].

La eficacia de absorción puede aumentarse añadiendo más platos al sistema de absorción (aumentando la altura de la columna) y aumentando el caudal del líquido [Martin].

Dado que el agua forma una balsa en cada plato, sólo se requiere un pequeño caudal de agua para un contacto eficiente. El caudal también se requiere para enjuagar los vapores disueltos, y también para compensar un poco de rezume que se produce por los orificios, debido a efectos de tensión superficial. En general, las bombas de recirculación son innecesarias en los lavadores de platos, y estos lavadores operan con un verdadero flujo a contracorriente [ESCO 2].

Los lavadores de platos son simples y no tienen partes móviles, pero requieren una instalación cuidadosa, para asegurar que los platos estén horizontales, y que el caudal de aire sea constante [ESCO 2]. Pueden ser susceptibles de taponamiento y formación de incrustaciones, y no son adecuados para líquidos que formen espuma [Martin].

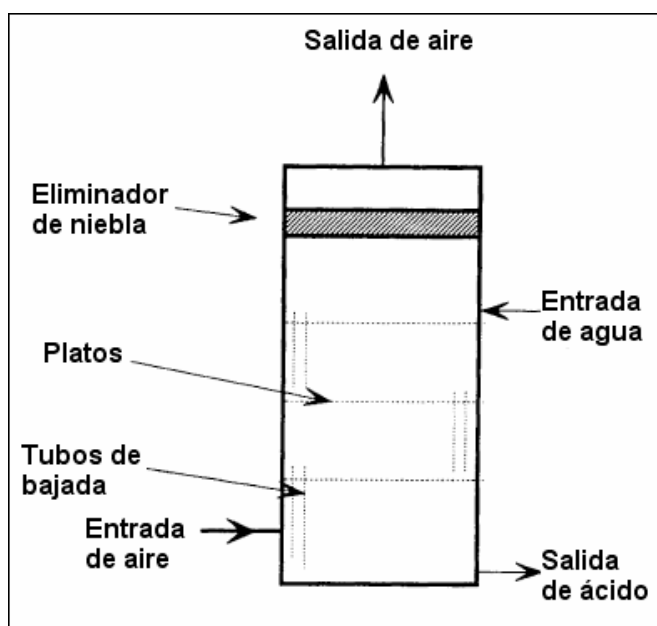


Figura D.5-6: Principio de los lavadores de platos
[ESCO 2].

Las ventajas de los lavadores de platos son sus bajos requisitos de mantenimiento, y el flujo de agua directo en un solo paso, que resulta útil para crear soluciones de gran fuerza ácida adecuadas para su reciclaje en el tanque de decapado. No obstante, los lavadores de platos requieren una cuidadosa instalación (para equilibrar los platos) y tienen un rango limitado de variación del caudal de aire [ESCO 2].

Todo lo que se necesita para mantener un lavador de platos funcionando a la eficacia prevista es un caudal adecuado de agua en el plato superior, y un caudal de aire dentro del rango previsto. Los consumos de agua indicados están entre 0,06 y 0,13 l/m³ [ESCO 2].

Un elemento clave de los lavadores – como se ha indicado arriba – es el **eliminador de niebla** (separador de suspensiones, eliminador de nieblas). Se trata de un dispositivo que asegura que el aire que sale del lavador esté lo más libre posible de gotitas de agua [ESCO 2].

Todos los eliminadores de niebla se basan en el principio de que el aire puede cambiar de dirección mucho más rápidamente que las gotas de agua. Guiando el aire a través de un canal o laberinto con varios cambios de dirección, las gotitas de agua impactan contra una superficie sólida, donde se acumulan para formar gotas mayores, que son demasiado pesadas para ser transportadas por el aire [ESCO 2].

Existen dos tipos principales de eliminadores de niebla: de malla y de espiga.

Los de malla son fáciles de manipular e instalar, y separan el agua aglomerándola sobre fibras finas de plástico. Tienen la desventaja de que tienden a eliminar el polvo además del agua, y que las fibras finas de plástico se deterioran con el tiempo. Eventualmente (al cabo de 3 – 5 años), el polvo acumulado y los restos de las fibras taponan el eliminador de niebla, que debe ser sustituido [ESCO 2].

Los eliminadores de niebla de espiga constan de una serie de hojas paralelas en forma de S, a través de las cuales pasa el gas, y el agua es eliminada al impactar en la superficie de la hoja. Este tipo de eliminador de niebla no es susceptible de taponarse, y tiene una vida prácticamente ilimitada [ESCO 2].

Ambos tipos de eliminadores de niebla eliminan más del 99,99% de las gotitas creadas en los lavadores húmedos [ESCO 2].

En un filtro de **vapores** (véase Figura D.5-7), el aire pasa a baja velocidad a través de un lecho fibroso compactado. A medida que lo atraviesa, las gotas impactan con las fibras, se aglomeran, y eventualmente se hacen lo bastante grandes para caer por gravedad. Dado que este tipo de filtro también elimina el polvo del aire, debe ser lavado a intervalos regulares para estar limpio. No obstante, mientras que los lavadores

rellenos y de platos utilizan normalmente varios gpm de agua de forma continua, el filtro sólo emplea 30 – 50 gal/día (equivale a 114 – 190 l/d) para enjuague, y el agua puede devolverse al tanque de decapado (lavador ‘sin efluentes’) [ESCO 2].

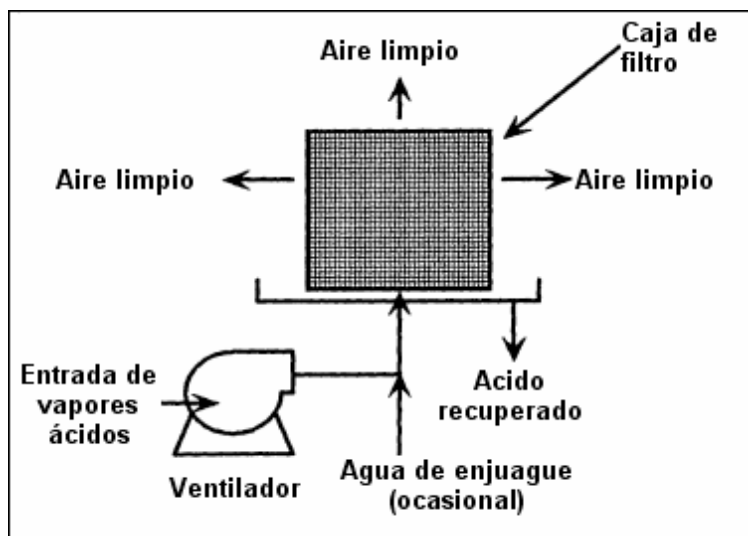


Figura D.5-7: Principio del filtrado de vapores [ESCO 2].

D.5.4 Decapado con ácido clorhídrico

Para el lavado de HCl los lavadores de platos y rellenos son ampliamente usados y resultan adecuados, pero los lavadores de platos presentan la ventaja de que producen un pequeño volumen de ácido bastante fuerte, que puede devolverse al tanque de decapado como ácido recuperado. Esto recupera el ácido que de lo contrario se desecharía, y con ello se reduce el coste del tratamiento de residuos [ESCO 2].

Un problema que puede surgir en ocasiones en el decapado con HCl es la formación de aerosoles, gotitas muy finas de líquido que fluyen como un gas, pero que son ya líquidas. Estas partículas pueden pasar a través de un lavador convencional sin verse afectadas en absoluto. Los motivos de la formación de estos aerosoles no se comprenden demasiado bien, pero suelen aparecer si el gas de escape de la línea de decapado está muy caliente y se enfría repentinamente, por ejemplo, al mezclarse con una corriente de aire más fría. Esto normalmente sólo ocurrirá en líneas de decapado a alta temperatura que tienen cubiertas antivapores muy herméticas, o en plantas de regeneración de ácidos [ESCO 2].

Las condiciones del proceso deben diseñarse de modo que se evite la formación de aerosoles de HCl. Si ello no es posible, será necesario instalar zonas de pulverización o utilizar lavadores de alta energía (como el de Venturi), un lavador refrigerante o un filtro aglomerante [ESCO 2], [Rituper-93].

Los lavadores rellenos consiguen niveles de emisiones de HCl inferiores a 10 mg/m³ [Rituper-93].

D.5.5 Decapado con ácido sulfúrico

Los tanques de ácido sulfúrico no emiten vapores ácidos, pero generan gotitas muy finas – casi del tamaño de aerosoles –. Estas gotitas se producen por la ruptura de burbujas de hidrógeno muy finas que se crean en el proceso de decapado por la acción del ácido sobre el acero, en la superficie del tanque. Estas gotitas son el vapor ácido que puede olerse cerca de los tanques de decapado con ácido sulfúrico [ESCO 2].

Las gotitas no son lo bastante finas para ser auténticos aerosoles, pero son demasiado finas para ser eliminados en un eliminador convencional de suspensiones. La eliminación de estas gotitas es un proceso puramente mecánico: las gotitas de agua deben impactar sobre una superficie, y hacer que se aglomeren hasta que sean lo bastante grandes para separarse del aire. A este efecto se han utilizado con éxito lavadores de rellenos y de platos y, en esta aplicación, los lavadores de flujo transversal son igual de eficaces que las columnas verticales de flujo a contracorriente. Otro dispositivo que se ha utilizado con éxito para la eliminación de ácido sulfúrico es el filtro de vapores [ESCO 2].

Una combinación de zona de pulverización y separador de gotitas (eliminador de niebla) consigue niveles de emisión de H_2SO_4 de 5 – 10 mg/m^3 [Rituper].

D.5.6 Decapado electrolítico

➔ No se ha facilitado información.

D.5.7 Decapado con mezcla de ácidos

El acero inoxidable es decapado por una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico. El ácido nítrico es un líquido de bajo punto de ebullición, y el fluoruro de hidrógeno (HF) es un gas, como el HCl; por consiguiente, estos tanques emiten vapores. Además emiten gotitas, generadas por la ruptura de las burbujas de óxido de nitrógeno (NO_x). No obstante, estas gotitas no son tan pequeñas como las gotitas de ácido sulfúrico del decapado de acero, y no suponen tanto problema [ESCO 2].

Los vapores y gotitas de ácido nítrico y de HF son eliminados fácilmente en un lavador relleno o de platos, utilizando un pequeño caudal de agua [ESCO 2]. No obstante, si hay aerosoles presentes, puede ser necesaria la aplicación de una zona de pulverización intensiva para una precipitación eficaz de los aerosoles [DFIU].

No obstante, los gases de NO_x no se eliminan fácilmente, ya que no son muy solubles en agua (véase Capítulo D.6.8.3 – D.6.8.5 para la supresión de NO_x) [ESCO 2].

Un problema que puede ocurrir en los lavadores de HF es la formación de incrustaciones, causadas por el depósito de fluoruro cálcico insoluble. Este se produce por la reacción de agua dura (con calcio) con el ácido fluorhídrico, y puede obstruir el relleno, los conductos de salida, los tubos de bajada o los conductos de recirculación. La mejor manera de evitar este problema es instalar un aparato para reducir la dureza del agua para eliminar el calcio del suministro de agua al lavador [ESCO 2].

D.5.8 Medidas de reducción de NO_x para decapado con mezcla de ácidos

Si se decapa acero inoxidable con mezcla de ácidos, el ácido nítrico reacciona con el metal o los óxidos metálicos y es reducido a ácido nitroso (HNO_2) que, a su vez, está en equilibrio con una mezcla de óxidos de nitrógeno:



En el caso de operaciones de decapado en discontinuo (ej: para tubo de acero inoxidable), el decapado se realiza a temperatura ambiente. Los procesos en discontinuo utilizan normalmente tanques abiertos, en los que una temperatura baja y tiempos de decapado más largos (ej: 60 – 90 minutos) reducen el índice de emisiones de vapores de NO_x .

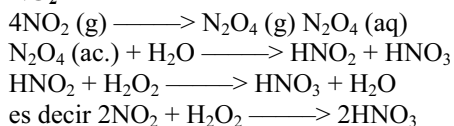
El decapado de bobinas, chapa o alambre, si se realiza continuamente, requiere temperaturas más elevadas del ácido para mantener un decapado efectivo que acorte los tiempos de decapado (normalmente a 2 – 4 minutos). Dado que una mayor temperatura del ácido genera mayores emisiones de vapores de NO_x , se instalan tanques cerrados. Se hallan disponibles las siguientes medidas de supresión y reducción de NO_x :

D.5.8.1 Supresión de NOx mediante inyección de peróxido de hidrógeno (o Urea)

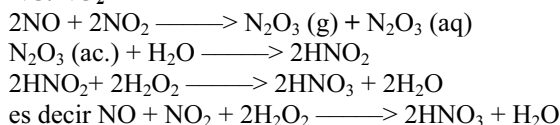
La reacción entre el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el NOx se produce en la fase acuosa, en la que el NOx reacciona con agua para dar ácido nitroso (HNO_2).

El HNO_2 es relativamente inestable y se descompone fácilmente en NO_2 , NO y H_2O . El proceso emitirá en último término NOx. No obstante, la presencia de H_2O_2 oxida rápidamente el HNO_2 dando HNO_3 , más estable, y evitando así que se vuelva a formar y emitir NOx. Se comportamiento se detalla en las siguientes reacciones químicas:

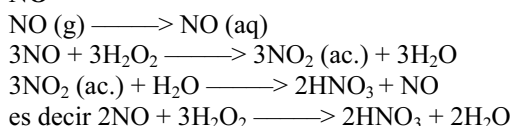
NO₂



NO/NO₂



NO



La clave para un uso eficaz del peróxido de hidrógeno en la supresión de NOx, mediante su adición al baño de decapado, radica en una mezcla eficaz.

Cuando se agrega peróxido de hidrógeno a la solución de decapado que contiene óxidos de nitrógeno e iones de metales de transición, oxidará el NOx, según la reacción química arriba detallada, o sufrirá una descomposición catalítica mediante reacción con los iones metálicos.

Supresión de NOx mediante inyección de H₂O₂ en un circuito de recirculación

Los aceros austeníticos son generalmente endotérmicos en cuanto a su carácter de decapado, mientras que los aceros ferríticos son exotérmicos debido a diferencias en la composición química. Por consiguiente, se aplica alguna forma de control de temperatura. El método normal es incorporar un circuito de recirculación, en el cual se recircula la solución del baño de decapado a través de un calentador o enfriador.

Un método de mezcla eficaz del H_2O_2 y la solución del baño de decapado es inyectar el peróxido de hidrógeno en la solución de decapado recirculada. El contenido del baño se bombea alrededor de un circuito de recirculación a una velocidad de hasta diez cambios de baño por hora. El peróxido de hidrógeno (35%) se agrega a este circuito a una dosis de hasta 1 litro por minuto, según las condiciones de proceso pertinentes. La Figura D.5-8 muestra un esquema de esta operación.

Los ensayos realizados han mostrado que con esta técnica se han alcanzado eficacias de supresión de NOx de más del 90%.

Supresión de NOx mediante inyección de H₂O₂ en el baño de decapado a través de un tubo rociador

Los costes de inversión para la nueva instalación de un circuito de recirculación en un baño de decapado pueden ser elevados si se está utilizando un baño de decapado estático. Por consiguiente, un método alternativo de adición de H_2O_2 al baño es inyectar directamente H_2O_2 en el baño de decapado a través de un tubo rociador bifurcado situado en el baño de decapado. Se inserta en el baño un simple tubo rociador, hecho de tubo de polipropileno de 30 mm de Ø, con orificios de 3 mm perforados a intervalos de 150 mm [WireInd-10-97].

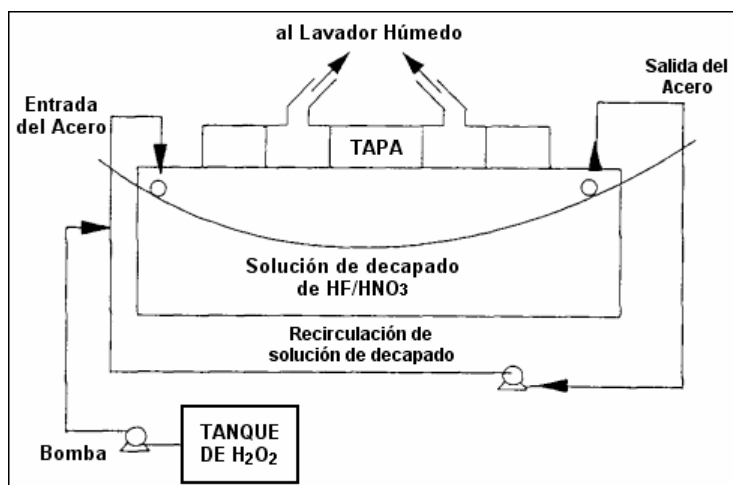


Figura D.5-8: Esquema para la inyección de H_2O_2 en el circuito de recirculación de ácido de decapado [WireInd-10-97].

Debido a la gran cantidad de incrustaciones insolubles que se acumulan en el baño de decapado, el tubo de rociado se dispone con los orificios apuntando a un ángulo de 45° hacia abajo con respecto a la horizontal, para minimizar su bloqueo. El tubo rociador se sitúa en el lado de entrada del acero al baño, justo al lado de la chapa de acero en movimiento, para evitar chocar accidentalmente con ella y también para utilizar el movimiento constante de la chapa de acero como método de mezcla del H_2O_2 en el baño de decapado. En la Figura D.5-9 se presenta un esquema del sistema de tubo rociador.

Los ensayos realizados han mostrado que con esta técnica se han alcanzado eficacias de supresión de NO_x de más del 90% [WireInd-10-97].

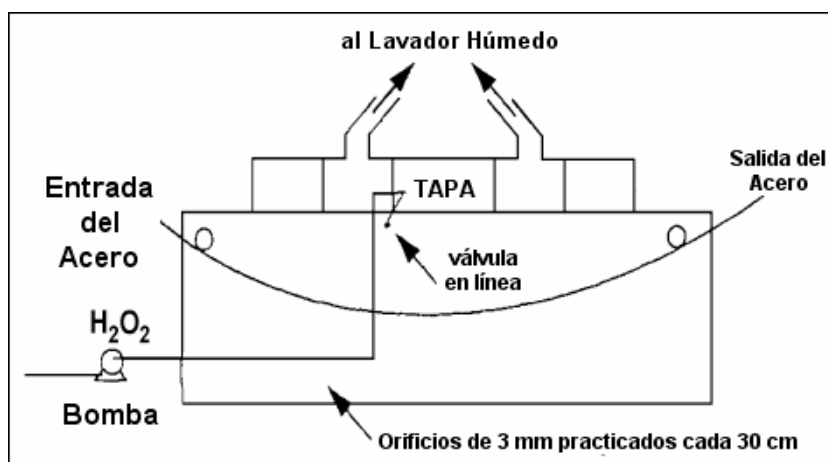


Figura D.5-9: Esquema de inyección de H_2O_2 en los baños de decapado a través de un tubo rociador [WireInd-10-97].

Supresión de NO_x mediante inyección de H_2O_2 en una instalación de decapado por pulverización

Otro ejemplo de la supresión de NO_x con peróxido de hidrógeno es el utilizado para el decapado de lámina de acero inoxidable en una cámara de pulverización. La solución de ácido nítrico/ácido fluorhídrico se pulveriza en ambas caras de la chapa de acero inoxidable; la solución de decapado es luego devuelta desde la cámara de pulverización al tanque de la solución de decapado, desde donde se recicla a la cámara de pulverización [WireInd-10-97].

Se realizó un ensayo piloto en una instalación inyectando peróxido de hidrógeno en la línea de recirculación de la solución de decapado inmediatamente antes de su bifurcación. Se observó que se suprimían más del 90% de las emisiones de NO_x al cabo de diez minutos de la introducción del peróxido de hidrógeno, lo que indicaba que la reacción de supresión del NO_x se producía en el lugar de generación de NO_x [WireInd-10-97]. Otras fuentes indican una reducción de NO_x de hasta un 70% [fmp012].

La supresión de NOx mediante peróxido de hidrógeno no tiene efectos adversos sobre la calidad de los productos de acero inoxidable [WireInd-10-97].

Ventajas de la supresión de NOx con peróxido de hidrógeno

- El peróxido de hidrógeno convierte el NOx en ácido nítrico *in situ*, y por consiguiente reduce el consumo de ácido nítrico, en muchos casos en un 20 – 30%.
- No se requieren reformas importantes en la planta.
- Puede usarse el lavador existente de ácido fluorhídrico sin que se requiera neutralización de la solución del lavador, ya que la solución débil de ácido fluorhídrico que se forma puede ser devuelta al proceso.

D.5.8.2 Decapado de acero inoxidable sin ácido nítrico

En el decapado de acero inoxidable con mezcla de ácidos, el ácido nítrico contribuye con un ácido y un oxidante al proceso de decapado del metal. En teoría, por consiguiente, la sustitución de la contribución del ácido por otro ácido, por ejemplo ácido sulfúrico, y de la contribución del oxidante por peróxido de hidrógeno, producirá una solución de decapado de metal sin ácido nítrico.

Se han realizado ensayos en varias acerías de Europa, donde esta técnica se ha utilizado con éxito para el decapado de acero inoxidable [WireInd-10-97].

Estos procesos se basan en la naturaleza oxidante del ión férrico; el contenido en iones férricos de la solución de decapado se mantiene a una concentración mínima de 15 g/l. Esto se consigue mediante la introducción de un agente oxidante para oxidar el ión ferroso (Fe^{2+}), formado durante la reacción de decapado, a ión férrico (Fe^{3+}).

El agente oxidante escogido es normalmente peróxido de hidrógeno, ya que no introduce iones extraños en el baño de decapado y tiene un método de adición esencialmente idéntico al utilizado en las técnicas de supresión de NOx. Este tratamiento puede usarse en todo tipo de instalaciones de producción, es decir, en decapado en continuo o discontinuo [WireInd-10-97].

Las acciones de las mezclas de $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$ sobre el acero inoxidable son considerablemente menos agresivas que las de HF/HNO_3 a temperaturas de decapado elevadas (unos 50 – 60 °C), aunque se ha observado el efecto inverso cuando se ha realizado el decapado a temperaturas ambiente de unos 20 – 25°C [WireInd-10-97].

También se agregan al baño de decapado aditivos, como surfactantes no iónicos y aceleradores de corrosión, para mantener la eficacia del decapado. Asimismo se agregan estabilizadores para prolongar la vida del peróxido de hidrógeno en el baño de decapado [WireInd-10-97].

Los ensayos piloto realizados muestran que el proceso de decapado sin ácido nítrico presenta una serie de ventajas en comparación con el proceso convencional con ácido nítrico/ácido fluorhídrico [WireInd-10-97].

Ventajas señaladas del decapado sin ácido nítrico a base de H_2O_2

- En ciertos casos, tiempos de decapado más cortos.
- Reducción de la formación de lodos.
- Vida más larga del baño.
- Gran reducción de la corrosión intergranular.
- Decapado menos agresivo, lo que significa un ataque reducido de la superficie del metal y reducción de las pérdidas de acero.
- Reducción de las emisiones de NOx y de las emisiones de nitratos en el efluente (de hecho, hay una reducción global en el volumen de efluente por tonelada de producto por baño).
- Todos los efluentes pueden precipitarse mediante tratamiento con cal.
- A veces no se requieren modificaciones importantes para utilizar el proceso en las plantas de decapado existentes; no se requiere ningún equipo importante excepto un simple sistema de control.
- Hay una reducción en la disolución del producto y un potencial de mejora de la calidad de los productos.

El proceso de decapado sin ácido nítrico a base de ácido nítrico puede operar de forma eficaz a bajas temperaturas, con lo que se produce un ahorro de costes de calefacción en comparación con el proceso convencional de ácido nítrico/ácido fluorhídrico, que normalmente debe funcionar a unos 60 °C para ser eficaz [WireInd-10-97].

D.5.8.3 Lavado por absorción

Los absorbentes húmedos, descritos en el Capítulo D.6-3, se utilizan para precipitar los vapores de NO_x del decapado con mezcla de ácidos. Dado que el NO y el NO₂ son insolubles o sólo parcialmente solubles en agua, se utilizan otros medios de lavado, como NaOH, H₂O₂ o urea.

La eficacia de los absorbentes con NaOH depende de la concentración de NO_x y de la relación NO: NO₂ en el gas residual. Para alcanzar reducciones satisfactorias son necesarios tiempos de oxidación largos o lavadores de múltiples etapas.

Para mejorar la eficacia de supresión del NO_x, pueden instalarse dos o más columnas rellenas; una parte funcionará como columna de reducción, y la otra como columna de oxidación. Las columnas de reducción operan a contracorriente con NaOH y un reductor: solución de hidrosulfuro de sodio (NaHS). El reductor, junto con el elevado pH, reduce el NO₂ que entra por la parte inferior de la columna a nitrógeno, y lava y neutraliza el ácido libre que pueda haber suspendido en la corriente de gas. Se agregan NaOH y NaHS frescos al líquido de lavado según el valor del pH y el potencial químico de oxidación-reducción (POR) [LUDL].

La corriente de gas de la columna de reducción entra en la columna de oxidación, en la que el NO se oxida a NO₂. El gas entra en la columna por la parte superior y fluye concurrentemente con la solución oxidante (ej: clorito sódico, NaClO₂) a pH bajo. El clorito sódico forma dióxido de cloro (ClO₂), que oxida el NO. Se agregan ácido fresco y NaClO₂ según el pH y el POR. El ciclo de reducción y oxidación puede repetirse hasta conseguir un índice suficiente de supresión de NO_x [LUDL].

Si se utiliza H₂O₂ para lavado, la solución de lavado normalmente se compone de una mezcla de HNO₃ y H₂O₂ a concentraciones típicas de 20% y 0,5% en peso respectivamente. Una ventaja de usar H₂O₂ es que el subproducto del proceso de lavado es ácido nítrico, en lugar de nitrato sódico cuando se utiliza hidróxido sódico. Este ácido se recupera en concentraciones utilizables y se recicla de nuevo al proceso de decapado. Así no sólo se elimina el coste de desecho del nitrato sódico, sino que se reduce el consumo global de ácido nítrico [CITEPA].

D.5.8.4 Reducción catalítica selectiva (RCS)

- Para su descripción, véase D.2.4.

D.5.8.5 Reducción no catalítica selectiva (RNCS)

- Para su descripción, véase D.2.5.

D.5.8.6 Comparación de los métodos de reducción de NO_x para el decapado con mezcla de ácidos

La Tabla D.5-1 compara las distintas medidas de reducción de NO_x y ofrece un resumen de costes.

	Supresión de NOx por Inyección	Decapado de acero inox. sin ácido nítrico ²	Lavado por Absorción		Reducción Catalítica Selectiva	Reducción No Catalítica Selectiva
			NaOH	H ₂ O ₂		
Costes de Inversión	H ₂ O ₂	Urea ¹	altos	altos	muy altos	
Costes variables	bajos	bajos	bajos	altos	bajos	
Consumo de HNO ₃	altos	bajos	altos	altos	bajos	
Reducción de NOx	bajos	altos	no influye	bajo	no influye	
Subproductos	muy alta	muy alta	baja	muy alta	muy alta	
	recuperados	sin problemas	difíciles de evacuar	recuperados	sin problemas	
Calidad de la Superficie del Acero	mejor ³	mejor ³	no influye	no influye	no influye	

¹ Comentario: La inyección de urea puede producir compuestos amónicos en el efluente [Com2 CR].

² Comentario: Sólo aplicación limitada [Com2 CR].

³ Comentario: Ni la inyección de peróxido urea ni de peróxido de hidrógeno dan lugar a un mejor acabado de la superficie[Com2 CR].

Tabla D.5-1: Comparación de las distintas medidas de reducción de NOx para decapado con mezcla de ácidos (según [CITEPA])

D.5.9 Recuperación del ácido libre

D.5.9.1 Cristalización (H_2SO_4)

El proceso de recuperación de ácido sulfúrico por cristalización se basa en las relaciones de solubilidad del agua, el ácido sulfúrico y el sulfato de hierro. El sulfato de hierro es más soluble al aumentar la temperatura, y cristaliza separándose de las soluciones saturadas cuando se enfría. Para la recuperación del ácido sulfúrico libre de la solución consumida de las líneas de decapado con H_2SO_4 , suele aplicarse en la industria el proceso de cristalización de heptahidrato, que da $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Con respecto al tipo de refrigeración, se hallan disponibles los siguientes procesos de cristalización de heptahidrato para regeneración: cristalización con refrigeración indirecta, cristalización con ciclón y cristalización con refrigeración por vacío. El tratamiento por cristalización de la solución de decapado consumida evitar tener que neutralizar el ácido libre; además, el hierro precipita como heptahidrato y tampoco tiene que neutralizarse. Con los procesos de neutralización se consigue una considerable mejora de las emisiones de aguas residuales y una reducción del contenido de sal. A modo de ejemplo, la Figura D.5-10 muestra el proceso de cristalización con refrigeración por vacío.

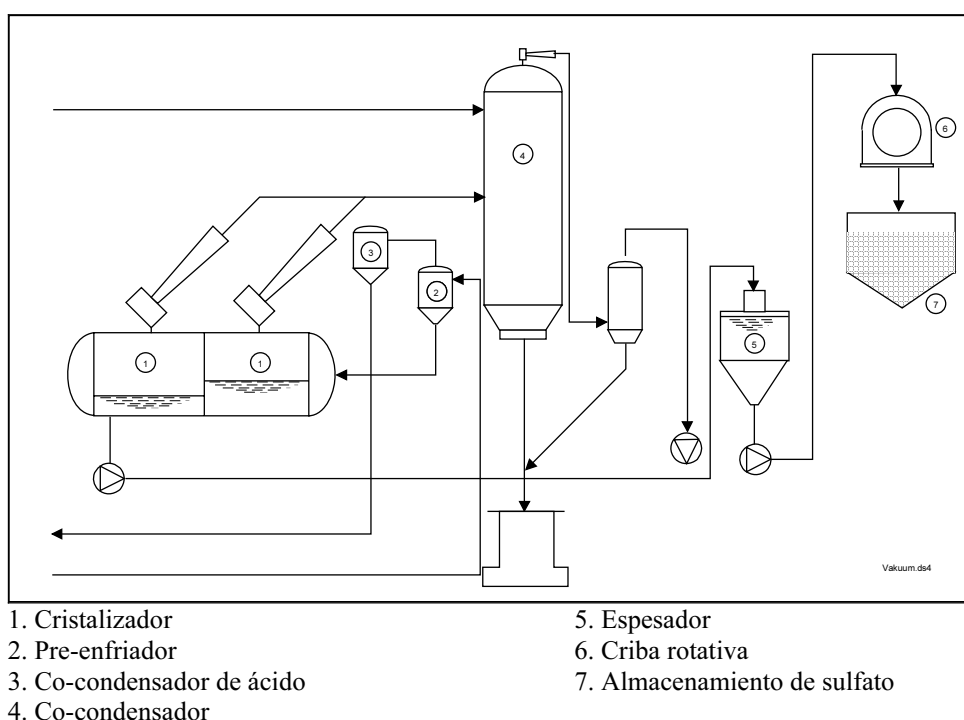


Figura D.5-10: Proceso de cristalización con refrigeración por vacío para H_2SO_4 [DFIU98].

D.5.9.2 Recuperación por evaporación (HCl)

El sistema de recuperación por evaporación de ácido clorhídrico es un vaporizador instantáneo con circulación forzada con condensación/separación controlada en dos etapas. La solución de ácido consumida se calienta agresivamente para extraer el ácido y el agua del residuo consumido. Sólo queda una solución concentrada de cloruro ferroso.

La solución de ácido consumida es enviada al recuperador a través de un filtro y un intercambiador de precalentamiento, utilizando el calor remanente de los vapores de ácido y agua generados en el proceso de evaporación. La solución ácida precalentada entra en la sección de evaporación, donde circula rápidamente a través del intercambiador de calor principal y pasa al vaso de separación, donde el agua y el ácido son vaporizados. Los vapores de ácido y agua son extraídos continuamente de la solución residual hasta que la temperatura de la solución alcanza unos 110 °C. A esa temperatura, la solución ha alcanzado la saturación y esta lista para su eliminación del evaporador. Un controlador lógico programable (PLC) ajusta automáticamente el caudal de ácido que se introduce en el proceso y el volumen de concentrado de cloruro ferroso que se elimina del circuito y se almacena en un tanque de almacenamiento [Cullivan-IG-97].

Forzados por los vapores en expansión del separador, los vapores de ácido y agua son impulsados a través del intercambiador de alimentación hasta el condensador de ácido. El vapor de ácido que condensa se combina con parte del vapor de agua condensado a medida que desciende por el condensador de ácido. En este paso se controla la concentración del ácido para devolver la calidad correcta al proceso de decapado. El vapor de agua restante es enviado al condensador de agua, donde se enfría y se lava, para eliminar cualquier vapor ácido residual. No sale ningún vapor del sistema, ya que el proceso enfría el vapor restante dando un condensado. El condensado final puede reutilizarse, por ejemplo como agua de enjuague, en el proceso de decapado.

Puede agregarse un circuito opcional de calentamiento a la sección de condensación de ácido, para obtener una concentración precisa del ácido de decapado. Dado que la concentración del ácido recuperado está normalmente entre el 5 y el 15%, este coste adicional no está normalmente justificado. El ácido recuperado es lo bastante fuerte para el decapado y se combina con una mezcla más concentrada de HCl cuando se añade ácido fresco [Cullivan-IG-97].

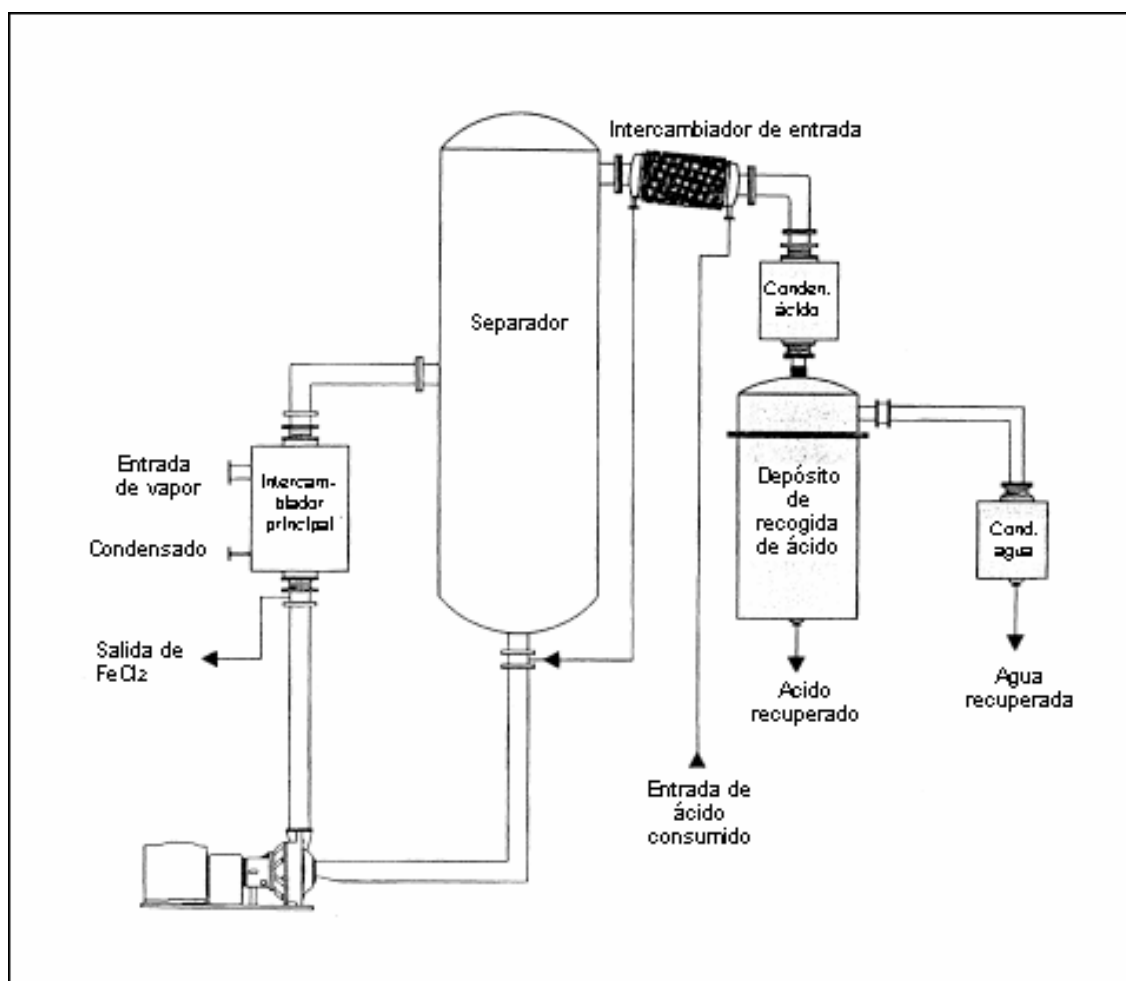


Figura D.5-11: Recuperación de ácido por evaporación
[Cullivan-IG-97].

El proceso es fácil de operar. Dado que sólo tiene unas pocas partes móviles y que los vapores ácidos limpian básicamente el sistema mientras funciona, el tiempo muerto para el mantenimiento de los intercambiadores de calor y de los reactores ha demostrado ser mínimo. El mantenimiento normal incluye el cambio de filtros, la verificación de las bombas y la comprobación de los circuitos de la caldera y la torre de refrigeración para asegurar un funcionamiento óptimo [Cullivan-IG-97].

D.5.9.3 Retardación (HCl, H₂SO₄, HF/HNO₃)

El principio del proceso se basa en la adsorción de ácido libre sin disociar a resinas de intercambio iónico al pasar los metales disueltos a través del lecho de la resina. En el lavado a contracorriente con agua, el ácido adsorbido se vuelve a liberar debido a la diferencia en la presión osmótica. Los índices de recuperación de ácido libre son del orden del 80 – 90% para ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. Las ventajas del proceso son que requiere pocos aparatos y poco espacio. Los requisitos de energía para el proceso de regeneración se reducen a la energía eléctrica. El consumo de energía varía entre aproximadamente 0,25 y 0,40 kWh/kg de hierro, según la productividad. Los requisitos de agua desmineralizada son de aproximadamente 1 m³/m³ de solución de decapado regenerada [Com D], [Fichtner].

El uso del proceso de retardación es factible cuando el consumo de ácido es de al menos unos 40 l/h. El contenido medio de metal en la solución de decapado no debe superar los 50 – 60 g/l. El residuo resultante consiste en una solución de sales metálicas que, según su composición, puede ser utilizada [Com D], [Fichtner].

D.5.9.4 Diálisis por difusión (HCl, H₂SO₄, HF/HNO₃)

El proceso de diálisis por difusión utiliza membranas de intercambio iónico, que separan dos líquidos distintos: el ácido utilizado y el agua desmineralizada. La diferencia de concentración entre las dos soluciones es el motivo impulsor de este proceso. Las membranas especiales de intercambio aniónico, que tienen un carga superficial positiva en su estructura polimérica, posibilitan la difusión del ácido disociado (aniones), a través de la membrana, mientras que los cationes (metales) quedan retenidos por su carga positiva. El ión hidrogenión es una excepción. Debido a su pequeño tamaño, se difunde – junto con los aniones – a través de la membrana [OSMOTA].

Las membranas se montan en una pila de membranas, similar a una prensa filtrante, con una capacidad específica normal de 0,5 - 2 l/hm². El agua desmineralizada adopta el ácido libre, y la solución difundida resultante es reciclada al proceso de decapado. La otra corriente parcial – dializado – se envía principalmente a neutralización. En ciertos casos, esta corriente parcial puede también reciclarse o ser sometida a un nuevo tratamiento [OSMOTA].

Durante años, la el proceso de diálisis por difusión se ha utilizado con éxito para la recuperación de H₂SO₄, HCl, HNO₃ y HF. Es posible extraer un 80 – 85% de los ácidos libres de soluciones de decapado consumidas y reciclarlos en forma purificada con alrededor de un 5% de contaminación por metales [OSMOTA].

La vida útil de las membranas es normalmente de 3 – 5 años, pero puede verse reducida por sustancias oxidantes como peróxido de hidrógeno, ácido crómico, ácido nítrico con una concentración superior al 20% así como temperaturas de más de 45 °C y sustancias orgánicas como tensoactivos, grasas, disolventes o limpiadores. En la mayoría de casos en los que sustancias orgánicas causan la obstrucción de la membrana, el tratamiento previo de la solución cruda con carbón activado suele ayudar [OSMOTA].

Las ventajas del proceso son que requiere pocos aparatos y poco espacio, y que los costes operativos son bajos. Los requisitos energéticos de la diálisis por difusión se reducen a la electricidad para hacer funcionar las bombas. El consumo de electricidad por kg de hierro eliminado varía entre 0,1 y 0,23 kWh. Los requisitos de agua desmineralizada para enjuague son de aproximadamente 1 m³/m³ de solución de decapado regenerada. La diálisis por difusión puede emplearse cuando el consumo de ácido es de al menos unos 60 l/h. El contenido medio de metales en la solución de decapado no debe superar los 50 – 60 g/l [Com D], [Fichtner].

Otras ventajas indicadas del proceso:

- Reducidos requisitos energéticos.
- Considerable reducción del consumo de ácido fresco, así como de los costes de neutralización y desecho.
- Costes de mantenimiento muy bajos.
- Larga vida de las membranas.
- Tiempo de amortización corto [OSMOTA].

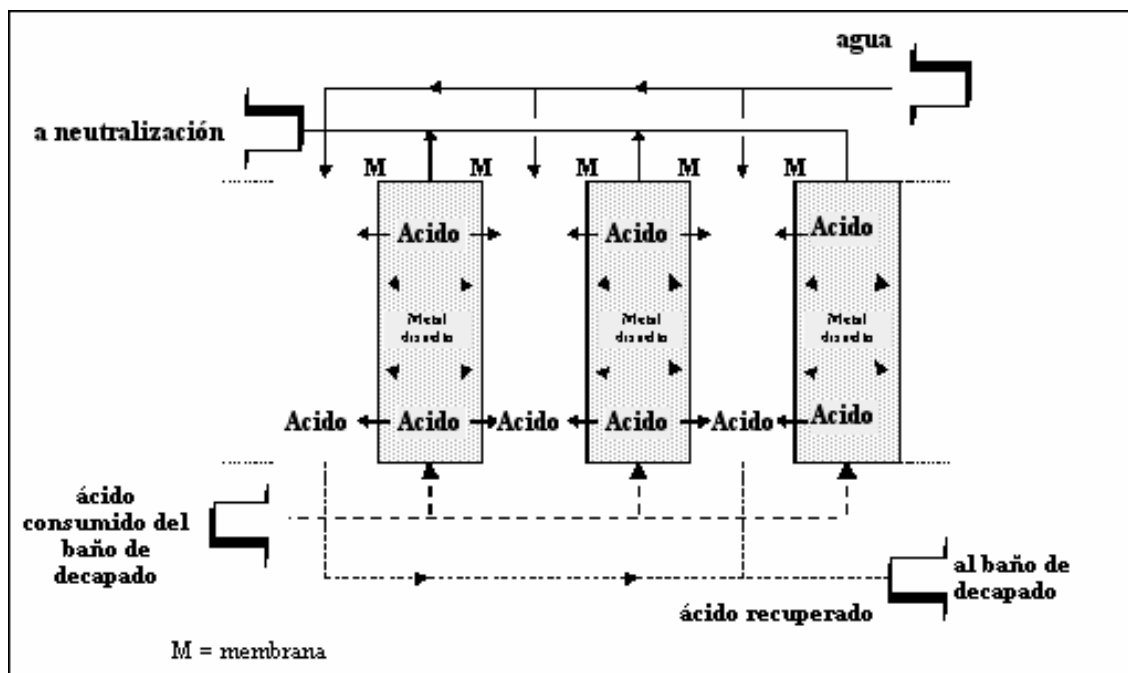


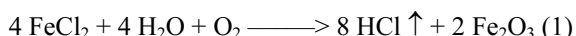
Figura D.5-12: Principio de la diálisis por difusión [Fichtner].

D.5.10 Regeneración de ácidos

D.5.10.1 Pirohidrólisis

D.5.10.1.1 Proceso de lecho fluidizado (HCl)

La base del proceso es la descomposición térmica de la solución de decapado consumida, que se convierte a alta temperatura en ácido clorhídrico y óxido férrico en presencia de vapor de agua y oxígeno:



La Figura D.5-13 muestra los subprocesos principales del proceso de regeneración de ácidos de lecho fluidizado. La solución de decapado consumida es bombeada a un recipiente separado y luego es concentrada en lavador de Venturi por los gases calientes del reactor. Una parte de la solución concentrada de este circuito es alimentada continuamente al lecho fluidizado del reactor. Dentro del lecho fluidizado, que consiste en granulado de de óxido de hierro, se evaporan ácido y agua a una temperatura de unos 850 °C, y el cloruro ferroso se convierte en óxido férrico y cloruro de hidrógeno gas según la ecuación (1).

El crecimiento y la formación de nuevos granos de óxido en el lecho fluidizado están controlados de modo que se obtenga un producto granulado sin polvo con un tamaño de grano de 1 a 2 mm y una densidad bruta de 3,5 t/m³. El producto granular se descarga continuamente desde el fondo del reactor, y es transportado por medio de un tobogán vibratorio con refrigeración y una correa espiral vibratoria a la tolva de almacenamiento de óxido.

El gas caliente de salida del reactor contiene ácido clorhídrico gas, vapor sobrecalentado, productos de combustión y pequeñas cantidades de polvo de óxido de hierro, que se separan del gas en un ciclón y se reciclan al lecho fluidizado. El gas de salida se enfría luego a una temperatura de unos 100 °C en el lavador de Venturi. La energía térmica de los gases calientes de salida se utiliza para concentrar la solución de decapado consumida mediante evaporación antes de alimentarla al reactor. Las partículas muy finas en la corriente de gas se eliminan mediante lavado.

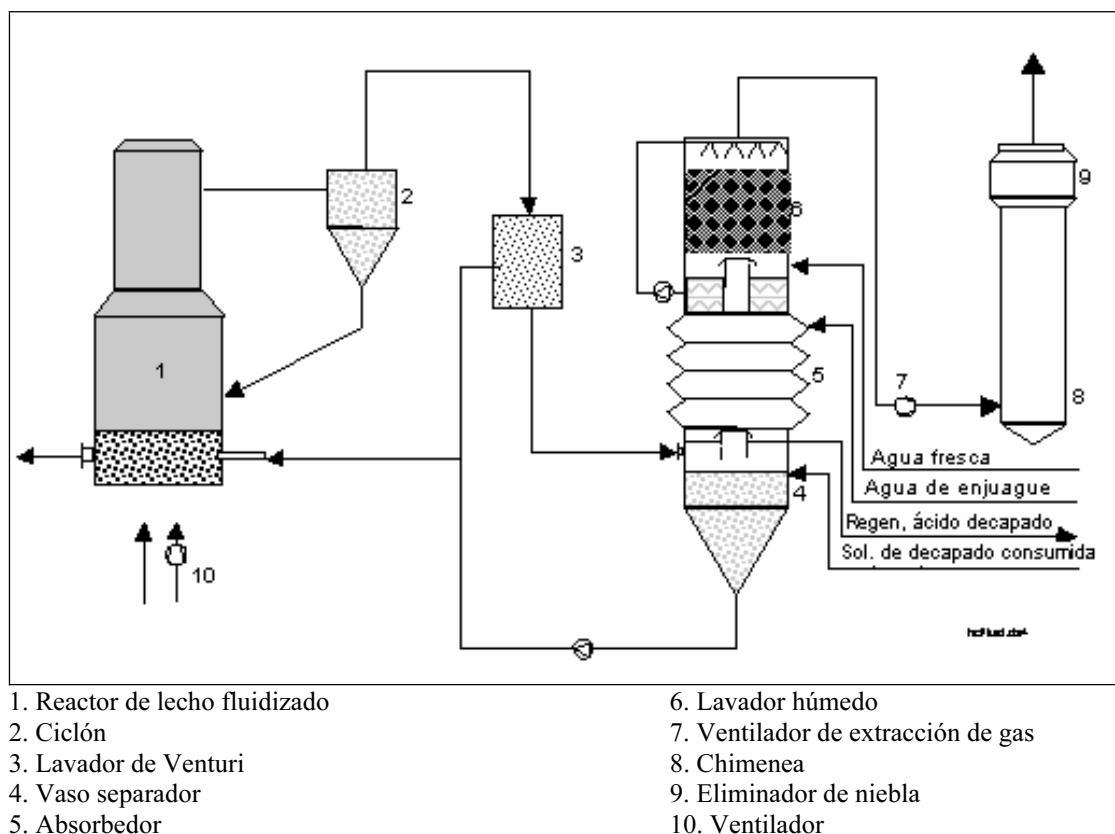


Figura D.5-13: Proceso de regeneración de HCl de lecho fluidizado [DFIU98].

Desde el lavador de Venturi, la corriente de gas enfriada pasa al absorbedor, en el que se absorbe el cloruro de hidrógeno adiabáticamente con solución de enjuague de la línea de decapado y agua fresca. El ácido clorhídrico así producido tiene una concentración de aproximadamente un 18% en peso. Se recicla a la planta de decapado o se mantienen en un tanque de almacenamiento. Tras pasar por una etapa de lavado y un eliminador de niebla, el gas de salida está virtualmente libre de ácido clorhídrico y se libera a la atmósfera.

El producto granular de óxido férrico puede usarse como materia prima en varias industrias. Las opciones más importantes son la producción de materiales magnéticos (ej: ferritas duras y blandas), hierro en polvo para la fabricación de piezas sinterizadas y electrodos de soldadura, y como aditivo para la producción de cintas magnéticas, abrasivos, baldosas, vidrio, cosméticos y pigmentos.

El proceso descrito de regeneración de ácido clorhídrico de lecho fluidizado puede procesar solución de decapado consumida con cualquier concentración de hierro. Incluso a la elevada concentración de hierro de la solución de decapado preconcentrada, de hasta 250 g/l, los conductos no se bloquean. Además, la solución de decapado consumida con un elevado contenido de lodo (ej: del decapado de acero con elevado contenido en silicio) puede utilizarse sin dificultad gracias al diseño especial del equipo de inyección.

Dado que el ácido recuperado está virtualmente libre de Fe^{++} , la eficacia de recuperación supera claramente el 99%, contrariamente a otros procesos de regeneración, en los que cabe esperar hasta 10 g/l de Fe^{++} [Rituper-1].

D.5.10.1.2 Tostación por pulverización (HCl, HF/HNO₃)

Otra opción de regeneración para **ácido clorhídrico** es el proceso de tostación por pulverización. El principio de operación es similar para todos los procesos de tostación, pero con una cierta variación en el equipo utilizado. En la Figura D.5-14 se muestra un ejemplo. La separación pirohidrolítica del cloruro ferroso y el agua se realiza a una temperatura de unos 450 °C (temp. de reacción en Sidmar: 600 °C) en el

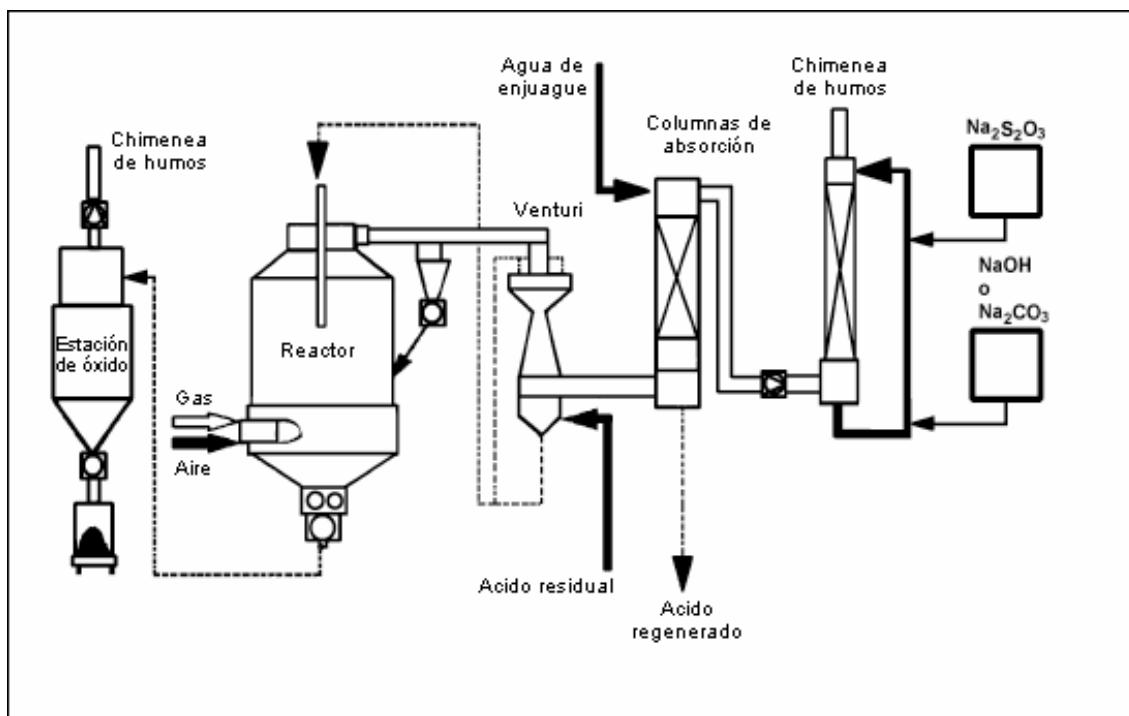
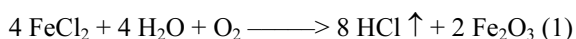


Figura D.5-14: Proceso de regeneración de HCl mediante tostación por pulverización [Karner-1].

reactor de tostación por pulverización. El ácido consumido se alimenta a un recuperador de Venturi, donde los gases calientes procedentes del reactor se enfrían y se preconcentra el ácido. El concentrado se pulveriza en el reactor de combustión directa desde arriba. Los gases de combustión calientes hacen que las gotitas finas se evaporen a medida que descienden. El cloruro ferroso se escinde en cloruro de hidrógeno gas y óxido férrico mediante el vapor y el oxígeno en el aire, según la reacción siguiente:



El óxido férrico así formado se recoge en el fondo del reactor y es transportado neumáticamente a una tolva de óxido. El peso apilado del polvo es de unas $0,3 - 0,4 \text{ t/m}^3$. ($0,48 - 0,6 \text{ Sidmar}$). Este óxido es una valiosa materia prima para la producción de materiales magnéticos, como ferritas duras y blandas.

El gas clorhídrico, el vapor y los gases de combustión se conducen al absorbedor a través del prevaporizador. El gas saliente resultante es limpiado posteriormente mediante lavado alcalino y se libera a la atmósfera a través de la chimenea. El óxido férrico generado puede usarse para diversos fines según su calidad.

Los gases que contienen HCl son absorbidos en una columna adiabática en la que el agua de enjuague de la línea de decapado puede usarse como agua de absorción. El ácido clorhídrico generado (alrededor del 18%) puede ser devuelto al proceso de decapado. El gas de salida de la unidad de absorción se limpia posteriormente en un lavador cáustico con la adición de tiosulfato sódico, lo que produce concentraciones de contaminantes de menos de 2 mg/m^3 de HCl y Cl_2 libre.

Debido a la aplicación del subproducto de óxido férrico en la industria ferrítica, en años recientes ha aumentado la demanda de óxido de alta calidad. Además de parámetros físicos como la superficie específica, el tamaño básico de partícula y la densidad de la calidad, que son importantes para las reacciones en estado sólido del óxido férrico con manganeso, níquel y óxido de zinc, el nivel de impurezas del óxido es crítico. Por consiguiente, se desarrolló un preproceso para producir **óxido férrico ultrapuro** con un contenido especialmente bajo en sílice, fósforo y metales pesados como cromo, níquel y cobre. El diagrama de flujo del proceso se muestra en la Figura D.5-15, que presenta los siguientes pasos de proceso:

- Reducción del ácido libre y cementación de metales pesados mediante chatarra.
- Aumento del pH mediante adición de amoníaco.

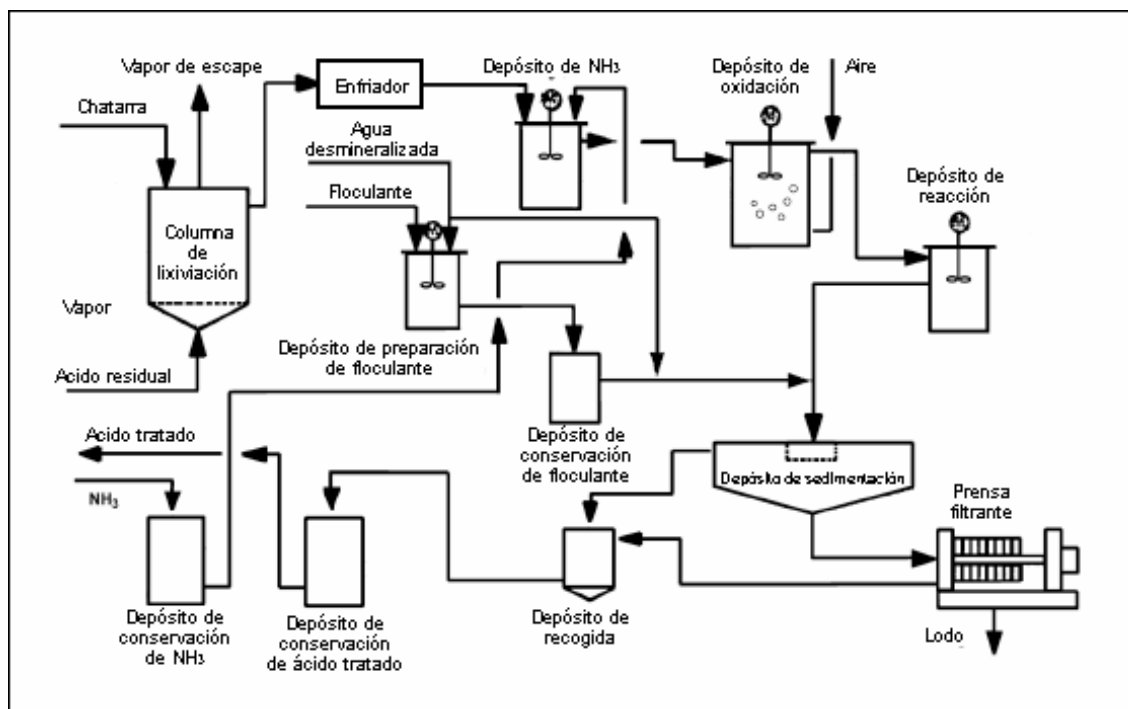
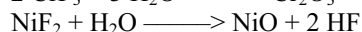
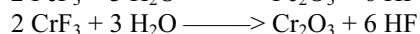


Figura D.5-15: Diagrama de flujo para la producción de óxidos de gran pureza [Karner-1].

- Oxidación parcial del Fe^{2+} a Fe^{3+} produciendo la adsorción específica de Si y P al hidróxido férrico y de aluminio.
- Filtración para eliminar el lodo de hidróxido.

El proceso de tostación por pulverización para la regeneración de **mezclas de ácidos** del decapado de acero inoxidable es similar al empleado para ácido clorhídrico, pero también incluye un paso de absorción isotérmica, y un sistema de limpieza del gas de escape utilizando un convertidor catalítico de NOx. La solución de decapado consumida, que contiene los complejos fluorados de hierro, cromo, níquel y metales menores, así como ácido fluorhídrico y nítrico libre, se lleva primero a un prevaporizador, donde es evaporada parcialmente por contacto con los gases calientes del reactor. La solución de decapado preconcentrada se introduce en el reactor a través de boquillas. Dentro del reactor se producen reacciones de descomposición del tipo siguiente:



Además, el ácido nítrico se descompone parcialmente en óxidos de nitrógeno:



El reactor se calienta directamente con quemadores a gas natural u otros gases. El óxido metálico mixto se recoge en el fondo del reactor. El óxido se mantiene entre 500 y 600 °C en el fondo plano del reactor para reducir el contenido de flúor por debajo del 1,5%. Este óxido es nodulizado y puede reciclarse al EAF [Karner-1], [Com-Karner].

Los gases de salida del reactor, que contienen vapor de agua, gases de combustión, HF, HNO₃ y NO_x, son llevados a una unidad de absorción de dos etapas, donde se utiliza ácido recirculado enfriado para absorción. Se agrega peróxido de hidrógeno a la segunda columna con el fin de oxidar el NO a NO₂, que puede absorberse más fácilmente. Contrariamente a la regeneración de ácido clorhídrico, la absorción se realiza isotérmicamente, es decir, el líquido de las dos columnas se recicla y enfría en intercambiadores de calor externos. En las columnas, se produce ácido regenerado que contiene todo el ácido fluorhídrico

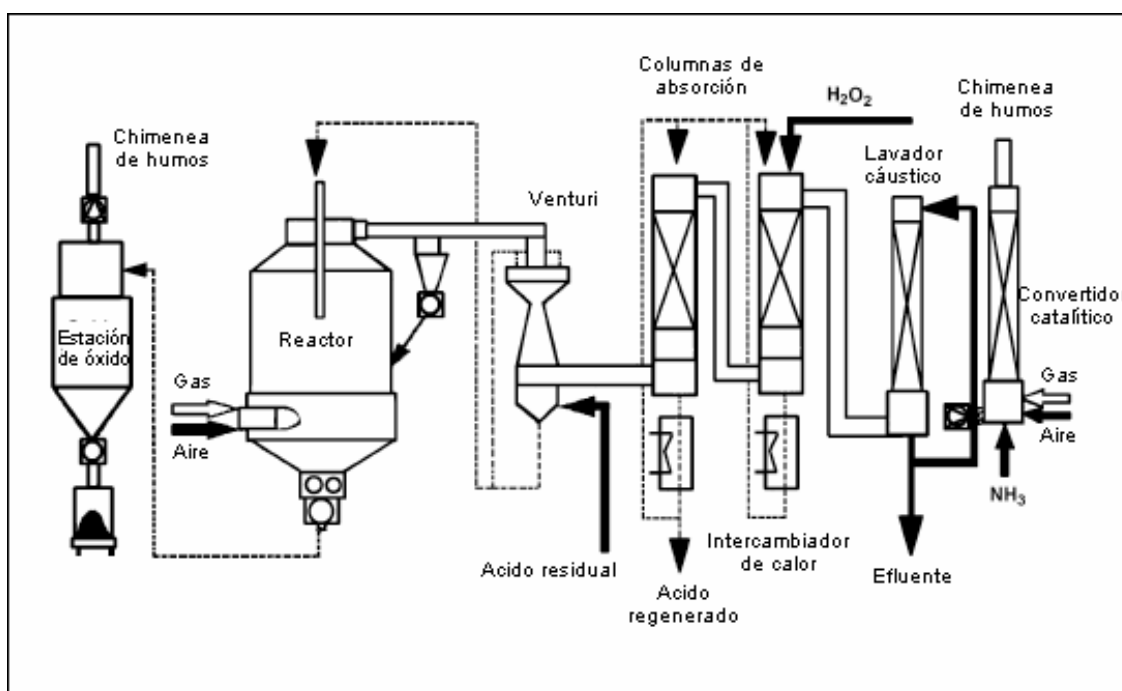


Figura D.5-16: Proceso de tostación por pulverización para regeneración de mezcla de ácidos [Karner-1].

libre y combinado y hasta un 85% del ácido nítrico. El ácido regenerado se reutiliza en el proceso de decapado [Karner-1], [Com-Karner].

El gas de salida tras las columnas de absorción se limpia primero en un lavador húmedo (alcalino) para eliminar los restos de HF, y los gases de escape, que todavía contienen NO_x del ácido nítrico, se limpian mediante una reducción catalítica selectiva para con NH₃, urea o compuestos amónicos como agente reductor. De este modo, el NO_x se convierte en nitrógeno inocuo y agua. La Figura D.5-16 muestra el diagrama de flujo de este proceso de tostación por pulverización para mezcla de ácidos (proceso Pyromars) [Karner-1], [Com-Karner].

D.5.10.2 Regeneración electrolítica (HCl, H₂SO₄)

La regeneración electrolítica del ácido se basa en la precipitación del hierro en el cátodo de la célula electrolítica y la disociación del agua y reformación de ácidos en el ánodo.

Para HCl, es posible una recuperación de ácido libre y combinado con hierro pero, simultáneamente con la disociación del agua en el ánodo, se forma cloro gas. Esto hace necesaria una extracción de gas residual y una unidad de limpieza de gas residual.

En la regeneración de H₂SO₄ se utiliza un electrolito adicional (sulfato amónico), y el cátodo y el ánodo están separados por una membrana de intercambio iónico. Se precipita hierro sobre placas catódicas de acero inoxidable, mientras que los iones sulfato de la parte anódica regeneran el H₂SO₄, que puede reciclarse a la operación de decapado.

D.5.10.3 Membrana bipolar (HF/HNO₃)

La regeneración de ácidos con membranas bipolares se compone de una combinación de pasos de proceso. Primero, se recupera el ácido libre, ej. mediante diálisis por difusión. Luego, el resto de la solución ácida consumida se neutraliza con hidróxido potásico (KOH), produciendo hidróxidos metálicos y sales metálicas como el cloruro potásico (KCl) o – con mezcla de ácidos – fluoruro potásico (KF). Los hidróxidos metálicos se precipitan como lodo y se siguen procesando, esto es, se deshidratan. Lavando a fondo el lodo de hidróxidos metálicos, casi todo el cloruro y el fluoruro se transfiere a la solución. La solución de sales que contiene KCl/KF se concentra luego por electrodialisis. El agua obtenida puede usarse para el lavado del lodo de hidróxidos metálicos [Fichtner].

El proceso de membrana bipolar es un proceso con membrana impulsada eléctricamente similar a la electrodiálisis en que emplea membranas de intercambio iónico para separar selectivamente los iones cargados de la solución, pero se diferencia en las características de disociación del agua de una membrana bipolar [EC Haskoning].

Las membranas se componen de dos capas distintas de materiales de intercambio iónico de cargas opuestas. Sometidos a una corriente eléctrica, los cationes de la solución de sal (potasio) pasan a través de la membrana de intercambio catiónico a un flujo de agua paralelo; los aniones (cloruro, fluoruro) pasan a través de la membrana de intercambio aniónico a otro flujo de agua paralelo. Debido a la membrana bipolar, el agua se disocia continuamente en H^+ y OH^- . Con los aniones y cationes de la solución de sales, se generan un ácido y una base, en este caso KOH. El ácido es reciclado al proceso de decapado, y el KOH se recicla al paso de neutralización [Fichtner].

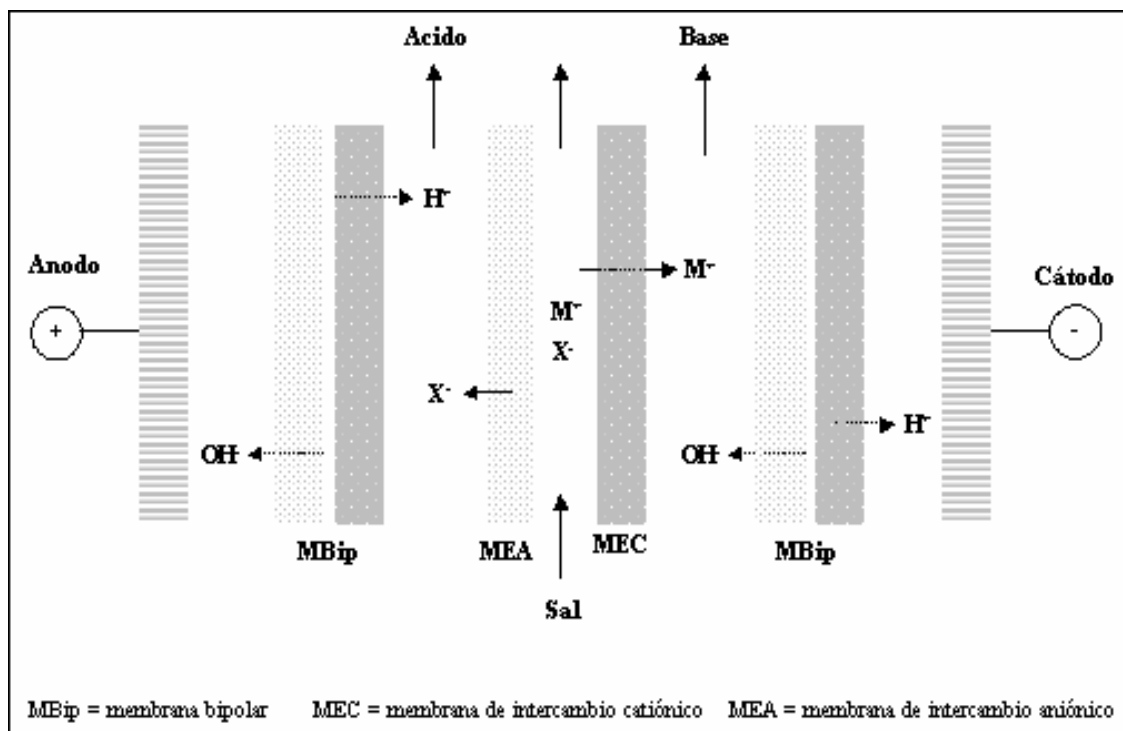
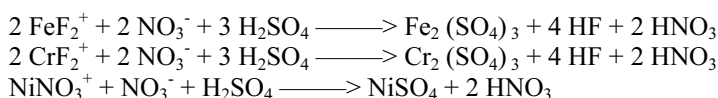


Figura D.5-17: Principio de disociación de sales mediante membrana bipolar [Fichtner].

D.5.10.4 Proceso de evaporación (HF/HNO_3)

En este proceso de evaporación, los ácidos de decapado consumidos se concentran junto con ácido sulfúrico a 80 °C al vacío, para desplazar el HNO_3 y el HF , que se condensan y reciclan. La sal metálica precipitada se neutraliza con lechada de $Ca(OH)_2$.

Los ácidos de decapado consumidos se introducen en el evaporador al vacío con ácido sulfúrico circulante. En el evaporador al vacío, la mezcla de ácidos se calienta a 80 °C. Se agrega ácido sulfúrico adicional hasta alcanzar una concentración de al menos el 60%. Esta concentración asegura un alto rendimiento de recuperación de los ácidos de decapado. Los fluoruros y nitratos metálicos forman sulfatos metálicos y ácido libre. Estos productos de reacción se generan según las reacciones siguientes:



El agua, el HF y el HNO_3 se vaporizan y condensan. El rebose del condensador se lleva al tanque de productos.

Los metales forman complejos de sulfato en la fuerte solución de ácido sulfúrico, que causan la

cristalización incompleta de los sulfatos metálicos. Estos complejos se descomponen elevando la temperatura y la concentración del H_2SO_4 , lo que produce la precipitación de los metales y la evaporación de los residuos ácidos (HF y HNO_3). Este tratamiento térmico se realiza en un evaporador de combustión sumergido.

Un largo tiempo de estancia en el circuito de evaporación-cristalización mejora asimismo las propiedades filtrantes de la sal de sulfato formada a la temperatura de 80°C . El precipitado de sulfato del tanque de cristalización se bombea al espesador cónico. El flujo inferior del espesador se pasa a la prensa filtrante para separar el aglomerado de sulfatos metálicos. El filtrado se devuelve al cristalizador. El aglomerado de sulfatos se introduce en el reactor de neutralización. En el reactor, el aglomerado se mezcla con cal.

El tratamiento térmico se realiza en un evaporador de combustión sumergido. Los gases de combustión se conducen hacia abajo, por debajo de la superficie de la solución, mediante un tubo de burbujeo. Se alcanza una concentración de ácido sulfúrico del 80% a 150°C . Los gases de combustión se lavan con un lavador de Venturi para recuperar los ácidos HF y HNO_3 . Esta solución se combina con el caudal principal de ácido de decapado, que se condensa en la etapa del evaporador por vacío. El flujo inferior del evaporador sumergido se lleva al tanque del cristalizador.

Un hecho muy positivo es que el proceso apenas cambia los niveles de concentración de fluoruros o nitratos en los ácidos recuperados. Se obtiene un ligero aumento de las concentraciones, que asegura un correcto balance de agua de las líneas de decapado.

El equipo de proceso debe construirse con materiales de alta calidad. Las calidades de aceros especiales resistentes a la corrosión y los polímeros fluorocarbonados son ampliamente usados como materiales de construcción para el equipo de proceso. En la Figura D.5-18 se presenta el diagrama de flujo del proceso de recuperación de ácido de decapado de Outokumpu.

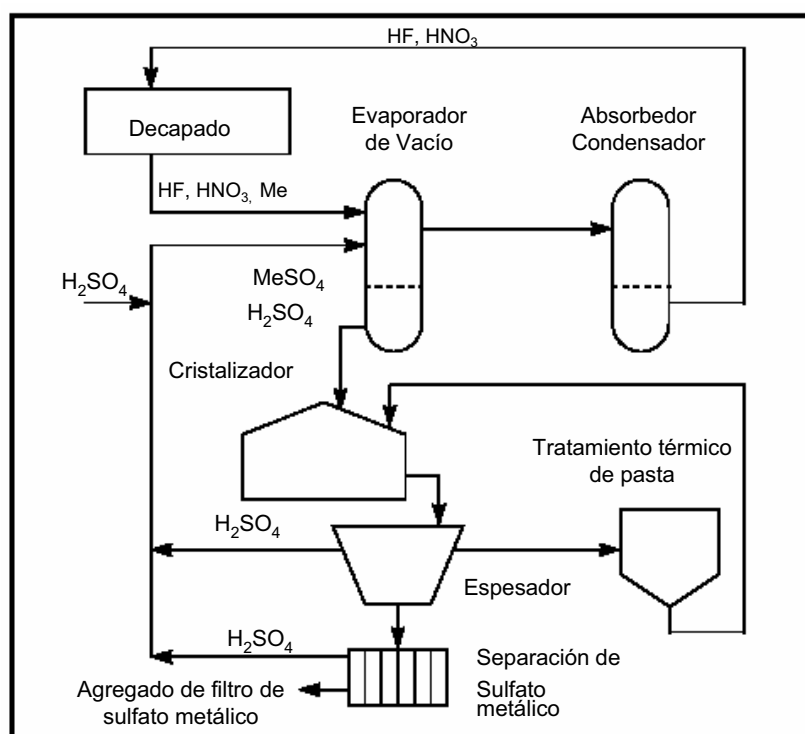


Figura D.5-18: Proceso de Evaporación para la Regeneración de Mezcla de Acidos [Com2 Fin].

D.5.10.5 Resumen de los procesos de regeneración y recuperación

La siguiente Tabla D.5-2 ofrece un resumen de las técnicas disponibles para la regeneración y la recuperación de ácidos.

Procesos para la recuperación y regeneración de ácidos consumidos de las plantas de decapado con HCl							
	Pirohidrólisis	Retardación	Dialísis	Oxidación electrolítica	Precipitación Electrolytica de Fe	Oxidación química	Intercambio iónico
1. Principio del proceso	Regeneración	Recuperación de HCl libre	Recuperación de HCl libre	Transformación de FeCl ₃ en FeCl ₃	Regeneración de HCl Electrolysis	Transformación de FeCl ₃ en FeCl ₃	Recuperación de HCl libre
2. Otros productos	Oxidos de hierro	-	-	FeCl ₃	Granalla de hierro	FeCl ₃	FeCl ₃
Residuos para desecho	- Solución ácida de FeCl ₂	Solución ácida de FeCl ₂	-	-	-	-	-
3. Índice de regeneración total ácido	> 99 %	Para neutralización	Para neutralización	> 95 %	> 95 %	> 95 %	50 - 70 %
4. Aporte para regeneración	- Energía eléctrica - Gas natural - Agua fresca y residual	75 - 90 % - Energía eléctrica - Agua para EV	75 - 90 % - Energía eléctrica - Agua para EV	- Energía eléctrica - Ácido muriático	- Energía eléctrica	- Energía eléctrica - HCl + aire o Cl ₂ o HCl + H ₂ O ₂	- Energía eléctrica - Agua para EV - Agentes de oxidación química
5. Campo de aplicación l/h	> 300	> 40	> 60	> 20	> 20	> 20	> 40
6. Complejidad de instalación	Alta	Baja	Media	Baja	Media	Media	Alta
7. Espacio requerido	Grande	Pequeño	Medio	Pequeño	Pequeño	Medio	Medio
8. Relación beneficios/costos	Alta	Media	Medio	Media	Media	Baja	Baja
9. N° de plantas ¹	unas 250	unas 15	unas 5	2	???	???	1

Procesos para la recuperación y regeneración de ácidos consumidos de las plantas de decapado con H ₂ SO ₄							
	Cristalización (refrigeración indirecta por ciclón o vacío)	Retardación	Dialísis	Oxidación electrolítica	Proceso con HCl y pirólisis	Cristalización y tostación	Precipitación con disolventes
1. Principio del proceso	Recuperación del H ₂ SO ₄ libre	Recuperación del H ₂ SO ₄ libre	Recuperación del H ₂ SO ₄ libre	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Recuperación del H ₂ SO ₄ libre
2. Otros productos	FeSO ₄ · 7H ₂ O (Si hay Cr, Ni, Zn)	-	-	Granalla férrea	Oxido férreo	Oxido férreo	Oxido férreo (Si hay Cr, Ni, Zn)
3. Índice de regeneración total ácido	> 99 %	80 - 90 %	75 - 85 %	> 99 %	> 95 %	> 95 %	> 99 %
4. Aporte para la regeneración	- Energía eléctrica - Vapor - Agua de refrigeración	- Energía eléctrica - Agua para EV	- Energía eléctrica - Agua para EV	- Energía eléctrica - Electrolito adicional en circuito	- Energía eléctrica - Gas natural - Agua de refrigeración - HCl en circuito con agua fresca y de enjuague	- Energía eléctrica - Vapor - Gas natural - Agua fresca y residual	- Energía eléctrica - Vapor - Agua de refrigeración - Disolvente en circuitos
5. Campo de aplicación l/h	> 200	> 40	> 60	> 20	> 500	> 500	> 200
6. Complejidad de instalación	Medio/ alta	Baja	Media	Media	Alta	Alta	Alta
7. Espacio requerido	Medio/ grande	Pequeño	Medio	Medio	Grande	Grande	Medio
8. Relación beneficios/costos	Media	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja
9. N° de plantas ¹	unas 80	unas 30	unas 5	2	1	1	n.d.

Tabla D.5-2: Resumen de los procesos de regeneración y recuperación (según [DFIU99])

Procesos para la recuperación y regeneración de ácidos consumidos de plantas de decapado con HNO ₃ /HF									
	Extracción con disolventes	Retardación	Dialisis	Cristalización	Pirohidrólisis	Membranas bipolares	Proceso Outokumpu ²	Proceso Kawasaki	
1. Principio del proceso	Regeneración total	Regeneración de ácidos libres	Regeneración de ácidos libres	Regeneración de ácidos libres	Regeneración total	Regeneración total	Regeneración total	Regeneración total	
2. Ácidos regenerados	Todo el HNO ₃ y el HF	HNO ₃ y HF libres	HNO ₃ y HF libres	HNO ₃ y HF libres	Todo el HNO ₃ y el HF	Todo el HNO ₃ y el HF	Todo el HNO ₃ y el HF	Todo el HNO ₃ y el HF	
3. Otros productos	-				Oxido metálico	Hidróxidos metálicos	Ni(OH) ₂	Oxido férrico	
Residuos para desecho	Solución de sales metálicas	Solución de sales metálicas	Solución de sales metálicas				Hidróxidos metálicos	Solución de sales metálicas	
3. Índice de regeneración total ácido	HNO ₃ 80 - 95 % HF 50 - 65 %				HNO ₃ 80 - 90 % HF 90 - 99 %	HNO ₃ 90 - 95 % HF 90 - 97 %	HNO ₃ > 97 % HF 99 %	HNO ₃ 75 - 90 % HF 85 - 95 %	
4. Aporte para regeneración	ácidos libres	HNO ₃ 80 - 95 % HF 80 - 90 %	HNO ₃ 85 - 95 % HF 80 - 90 %	HNO ₃ 80 - 95 % 50 - 55 %					
	– Energía eléctrica – H ₂ SO ₄ – Agua de refrigeración – TBP en circuito – Carbón activado	– Energía eléctrica – Agua para EV	– Energía eléctrica – Agua para EV	– Energía eléctrica – Agua de refrigeración	– Energía eléctrica – Natural gas – Agua de refrigeración – Agua fresca y residual – H ₂ O ₂ o similar	– Energía eléctrica – Solución de potasa cáustica en circuito – Tierra diatomácea	– Energía eléctrica – H ₂ SO ₄ en circuito – Propano – Caliza – Vapor – Agua de refrigeración	– Energía eléctrica – Agentes de extracción TBP y D2EHPA en circuito – NH ₄ HF ₂ en circuito – Gas natural – Agua fresca	
5. Campo de aplicación l/h	>300	>40	>60	>300	>500	>100	4500	>1000	
6. Complejidad de instalación	Media	Baja	Media	Media	Alta	Alta	Media	Muy alta	
7. Espacio requerido	Medio	Pequeño	Medio	Medio	Grande	Medio	Medio	Muy grande	
8. Relación beneficios/costos	Media	Media	Media	Baja	Media	Media	Media	Media	
9. N° de plantas ¹	2	unas 30	unas 5	1	2	2	2	1	

¹ Para todo el mundo, en 1990, plantas en producción y plantas piloto.

² Fuente de los datos [Com2 FIN].

Tabla D.5-2 cont.: Resumen de los procesos de regeneración y recuperación (según [DFIU99])

D.5.11 Tratamiento de residuos ácidos / aguas residuales ácidas

D.5.11.1 Neutralización del agua residual ácida

Las aguas residuales ácidas del enjuague, de los absorbedores de vapor del sistema de extracción del tanque de decapado o de limpieza (limpieza de la planta) que no puedan reutilizarse en otros puntos de la planta, deben neutralizarse (ej: con aguas residuales de otras operaciones de la planta) y tratarse antes de su desagüe, con el fin de reducir las emisiones. Los iones de metal disueltos se transforman en hidróxidos o sales poco solubles y posteriormente son eliminados mediante sedimentación, en muchos casos agregando floculantes. El lodo de metal precipitado se deshidrata en prensas filtrantes y se desecha.

La neutralización (de los baños de decapado consumidos) genera gran cantidad de lodo. El lodo, consistente principalmente en hidróxido de hierro y agua, puede reciclarse para la producción de hierro mientras no esté contaminado con metales inaceptables (ej: zinc) u otros componentes. Debe tenerse cuidado en evitar la mezcla de caudales de aguas residuales o lodos que podrían dificultar el reciclaje.

La neutralización puede también crear grandes cantidades de sales neutras (ej: NaCl , CaCl_2 , Na_2SO_4 , CaSO_4), la mayoría de las cuales son muy solubles en agua y se desechan con el agua tratada. La eliminación es sólo posible mediante tratamientos muy especiales, en algunos casos antieconómicos (ósmosis inversa, electrodiálisis o evaporación seguido de intercambio iónico y concentración por evaporación con secado de la sal). Aunque se eliminan estas sales, su composición mixta limita su reutilización y su desecho en un vertedero puede estar restringido por su solubilidad [EUROFER CR].

Debe hacerse una distinción entre los lodos de neutralización del decapado de acero inoxidable y del decapado de acero al carbono. El lodo resultante de la neutralización de residuos de mezclas de ácidos se desecha normalmente en vertedero, ya que no puede reciclarse [Com2 CR].

D.6 CALENTAMIENTO DE LÍQUIDOS DE PROCESO (ÁCIDOS, EMULSIONES...)

El calentamiento de líquidos de proceso puede ser necesario en diversas etapas durante el proceso de metales férreos, como para el calentamiento de los baños de ácido, la separación de emulsiones o la reducción/evaporación de agua residual. En principio se hallan disponibles dos técnicas: **intercambiadores de calor** y **combustión sumergida** (quemador de gas sumergido). La técnica aplicada anteriormente de inyección de vapor (ej: para calentar baños de ácido) no se considera aquí, ya que produce una dilución innecesaria de los baños de proceso. Los principios de ambos sistemas, intercambiador de calor y combustión sumergida, se muestran en las Figuras D.6-1 y D.6-2.

En los intercambiadores de calor, los medios de calentamiento y el líquido a calentar están separados por una partición, y no hay mezcla (ni contaminación). Con quemadores de gas por inmersión, el medio de calefacción, gas de combustión caliente, se impulsa directamente en el líquido a tratar y ambos se mezclan. Cualquiera de ambas técnicas de calentamiento tiene ventajas y desventajas, y su aplicación depende en cierta medida de la situación individual de la planta.

Cuando hay calor residual en forma de vapor o en forma de otro medio de calefacción con una temperatura más baja, normalmente se emplean intercambiadores de calor. Existen varios diseños de intercambiadores de calor, de tubos o platos, y según las propiedades químicas del producto a calentar y/o del medio de calentamiento, deben usarse materiales de alta calidad. Los intercambiadores de calor deben tener grandes superficies para conseguir el intercambio de calor.

Si hay combustible gas fácilmente disponible o primero debe producirse vapor, puede ser razonable utilizar un quemador para calentar el líquido directamente y con ello aumentar el rendimiento térmico. Las desventajas son que puede contaminarse con CO_2 , SO_2 , NO_x etc., que pueden causar problemas, y que parte del producto (ej: gotitas de vapor ácido) pueden ser arrastradas por el gas de combustión, lo que hace necesario el tratamiento del gas residual [VOEST].

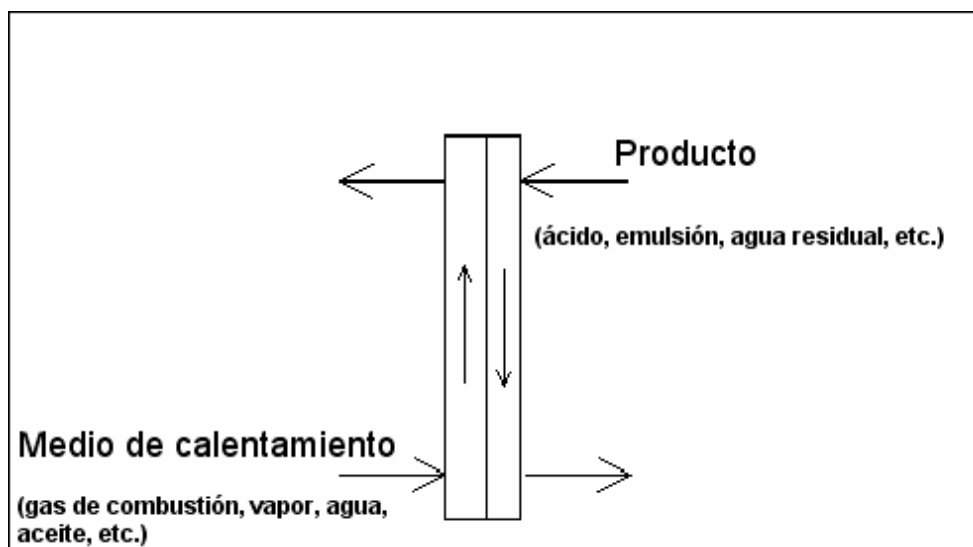


Figura D.6-1: Principio de los intercambiadores de calor [VOEST].

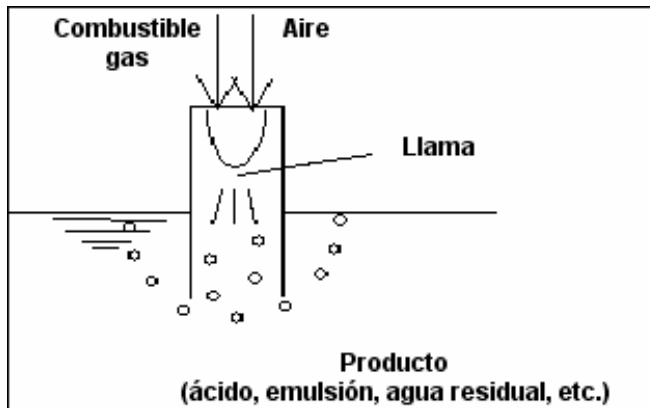


Figura D.6-2: Principio de la combustión sumergida [VOEST].

Se han indicado algunas ventajas de la combustión sumergida; además del ahorro económico, se destaca una reducción del consumo energético y del consumo de ácido.

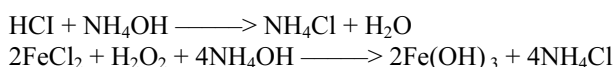
D.7 MORDENTADO

D.7.1 Regeneración *in situ* de los baños de mordentado (eliminación de hierro)

Durante la producción, la concentración de hierro de la solución de mordentado aumenta. A un cierto nivel, la solución de mordentado se hace inservible. Para poder recircular la solución, debe eliminarse el contenido de hierro. Esto puede hacerse en una operación en continuo o discontinuo.

D.7.1.1 Eliminación de hierro con amoníaco y oxidación con H_2O_2

Mediante la adición de amoníaco (para el ajuste del pH) y H_2O_2 (oxidante), el hierro se precipita en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y se produce NH_4Cl según las reacciones siguientes:



El lodo de hidróxido férrico precipitado se extrae y se desecha.

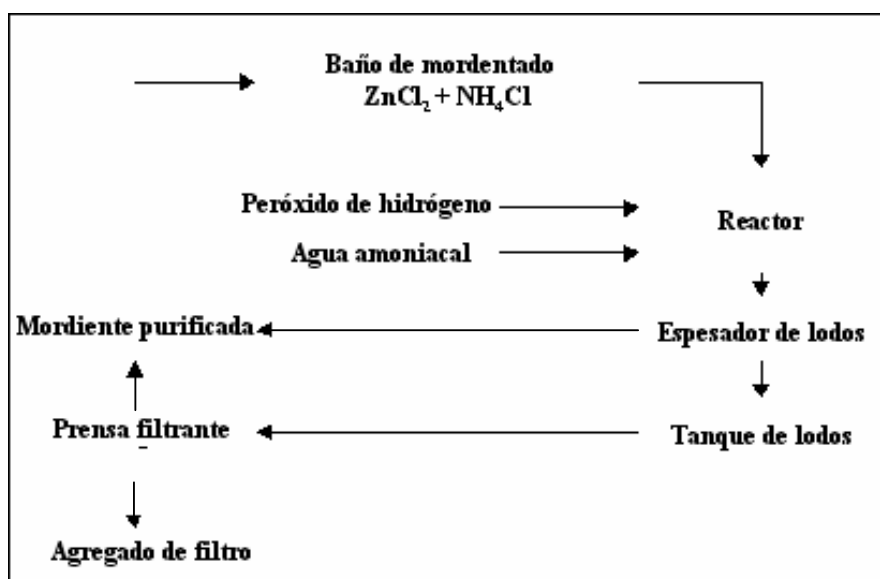
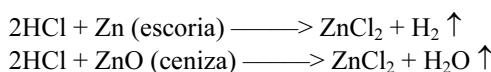


Figura D.7-1: Diagrama de flujo de la regeneración de mordiente [DK-BAT-93].

El zonc, presente inicialmente en la solución o introducido por las piezas de trabajo impregnadas de solución de los baños de enjuague o decapado, se mantiene como ZnCl_2 .

Normalmente, la relación de $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{ZnCl}_2$ producida es mayor que la relación requerida por la mayoría de galvanizadores, y la cantidad de sal producida es insuficiente para compensar el consumo de mordiente. Esto puede corregirse mediante la adición de solución consumida de decapado o descincado, que aumenta la producción de sales de mordentado. Otra influencia para influir sobre la relación de $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{ZnCl}_2$ en las sales producidas es hacer pre-reaccionar la solución consumida de decapado o descincado con escoria o ceniza de zinc, produciendo ZnCl_2 en lugar de NH_4Cl :



Los controles automatizados del pH y de redox permiten la precipitación selectiva del hierro (alrededor del 50% de hierro en los sólidos) y un bajo potencial de oxidación, lo que evita la destrucción de cualquier aditivo orgánico existente en el mordiente. Para obtener la máxima eficacia de espesamiento y filtración, se agrega un floculante selectivo a la pulpa del floculador, lo que produce una elevada velocidad de sedimentación de sólidos, una excelente claridad del rebose y mejores características de filtración del flujo inferior. Puede conseguirse un contenido sólido del aglomerado de la prensa filtrante de alrededor del 50%.

Es posible generar solución de mordentado con la composición requerida por el galvanizador. Para una composición óptima del mordiente, puede ser necesario agregar cloruro de zinc o cloruro amónico [DK-BAT-93].

D.7.1.2 Eliminación de hierro por oxidación electrolítica

El proceso de oxidación electrolítica consiste en un módulo reactor o una serie de módulos de reacción para la oxidación electrolítica del hierro disuelto, y una serie de tanques de sedimentación para la eliminación del precipitado del caudal de proceso. En la Figura D.7.2 se muestra un esquema.

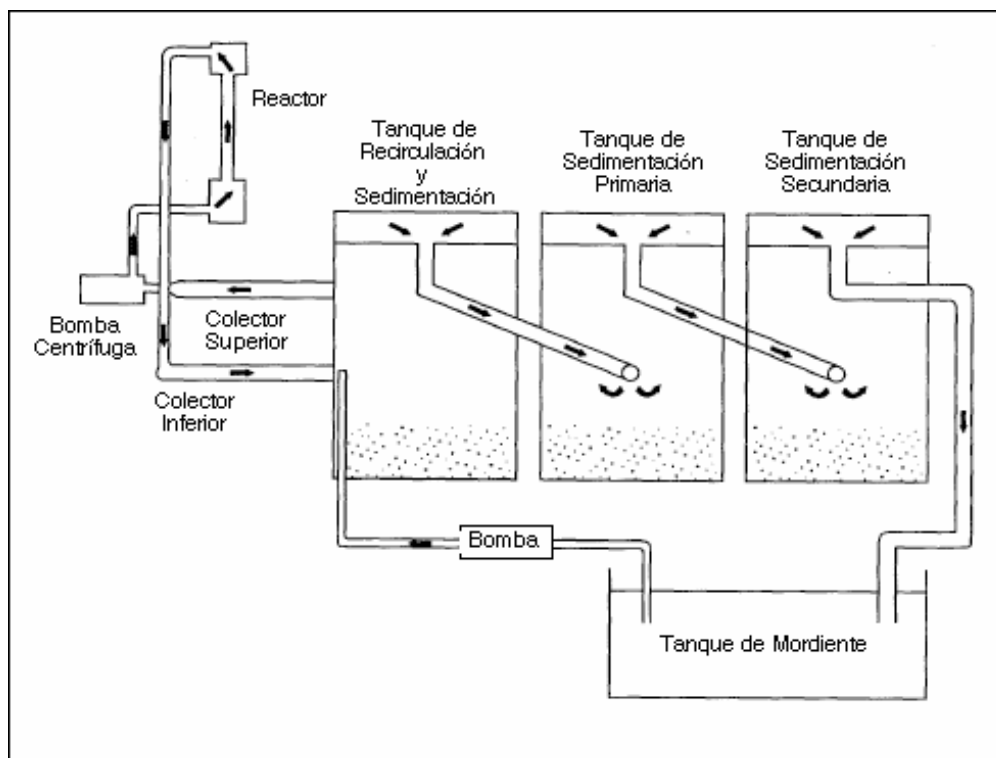


Figura D.7-2: Esquema del proceso de oxidación electrolítica
[Choice/Barr-IG-94].

Al pasar la solución de mordentado por el reactor, el ión ferroso (ii) es oxidado a ión férrico (III). El ión férrico (III) precipita en forma de hidróxido. Esto viene acompañado de la producción de ácido. A consecuencia de estos cambios, las concentraciones de hierro disuelto y la capacidad ácida del caudal que sale del reactor son menores que en el caudal entrante. Debido a ello, y debido a que las piezas siguen importando agua de enjuague o solución de decapado al tanque de mordentado principal, la concentración de hierro y la capacidad ácida en el tanque de recirculación son menores que en el tanque de mordentado principal. La relación entre las concentraciones de hierro en los dos tanques depende de una serie de factores pero, en la práctica, la concentración en el tanque de recirculación puede reducirse hasta casi 0 gramos por litro, y pueden conseguirse fácilmente concentraciones constantes en el tanque principal de menos de 2 gramos por litro, pudiendo alcanzarse concentraciones de 1 gramo por litro o menos con una operación meticulosa [Choice/Barr-IG-94].

- El sistema se basa en un equilibrio de cloruros, y todo el cloruro transferido desde el tanque de enjuague al tanque de mordentado se utiliza en la producción de cloruro amónico de zinc para compensar.
- El hierro se elimina.
- No es necesario ningún tratamiento de agua residual.
- El uso del agua de enjuague de los tanques de ácido permite un considerable ahorro en los costes de ácido.
- El aporte de agua y los costes se minimizan [Choice/Barr-IG-94].

La obtención de piezas de recambio para el equipo se señaló como un posible problema, ya que el proveedor está establecido en Australia [Com2 EGGA].

D.7.1.3 Eliminación de hierro con columnas de intercambio iónico

El proceso de intercambio iónico utiliza resina para absorber el hierro. Dado que este proceso es sensible a las partículas sólidas, la solución de mordentado se filtra en primer lugar. Esto puede hacerse con un filtro de platos estándar. Agregando NaOH, el pH se ajusta al valor requerido. La unidad de neutralización tiene agitación continua para crear una solución homogénea. La solución es luego bombeada a través de la columna de intercambio iónico, en la que el hierro es absorbido por la resina. Tras abandonar la columna, el líquido es devuelto al baño de enjuague/mordentado. Cuando la resina está saturada de hierro, debe desprenderse y regenerarse. La solución de desprendimiento/regeneración se bombea desde un depósito de almacenamiento a través de la columna, hasta otro depósito. En la columna se produce un intercambio de hierro y ácido. El hierro se disuelve en el HCl, mientras que el ácido es absorbido por la resina [Sprang-IG-97].

D.7.2 Reutilización externa de los baños de mordentado Consumidos

D.7.2.1 Eliminación de NH_3 , precipitación y reutilización parcial para producción de mordiente nuevo

➔ No se ha facilitado información.

D.7.2.2 Oxidación con H_2O_2 , reutilización total para producción de mordiente nuevo

➔ No se ha facilitado información.

D.8 ENJUAGUE

D.8.1 Uso eficiente (múltiple) del agua de enjuague

La Figura D.8-1 ilustra la variedad de técnicas de enjuague disponibles; van desde el anticuado enjuague por chorro a los sofisticados sistemas de enjuague combinado. Los consumos de agua asociados se detallan en la Tabla D.8-1. Debido al elevado consumo de agua del enjuague por chorro, esta técnica ya no resulta aceptable. El uso de múltiples caudales de agua de enjuague (cascada) y tanques de enjuague estático produce concentraciones suficientemente elevadas en el agua de enjuague para permitir su reutilización en los baños de proceso anteriores o para permitir que las medidas de regeneración o recuperación aplicadas a los baños de proceso se apliquen asimismo al agua de enjuague.

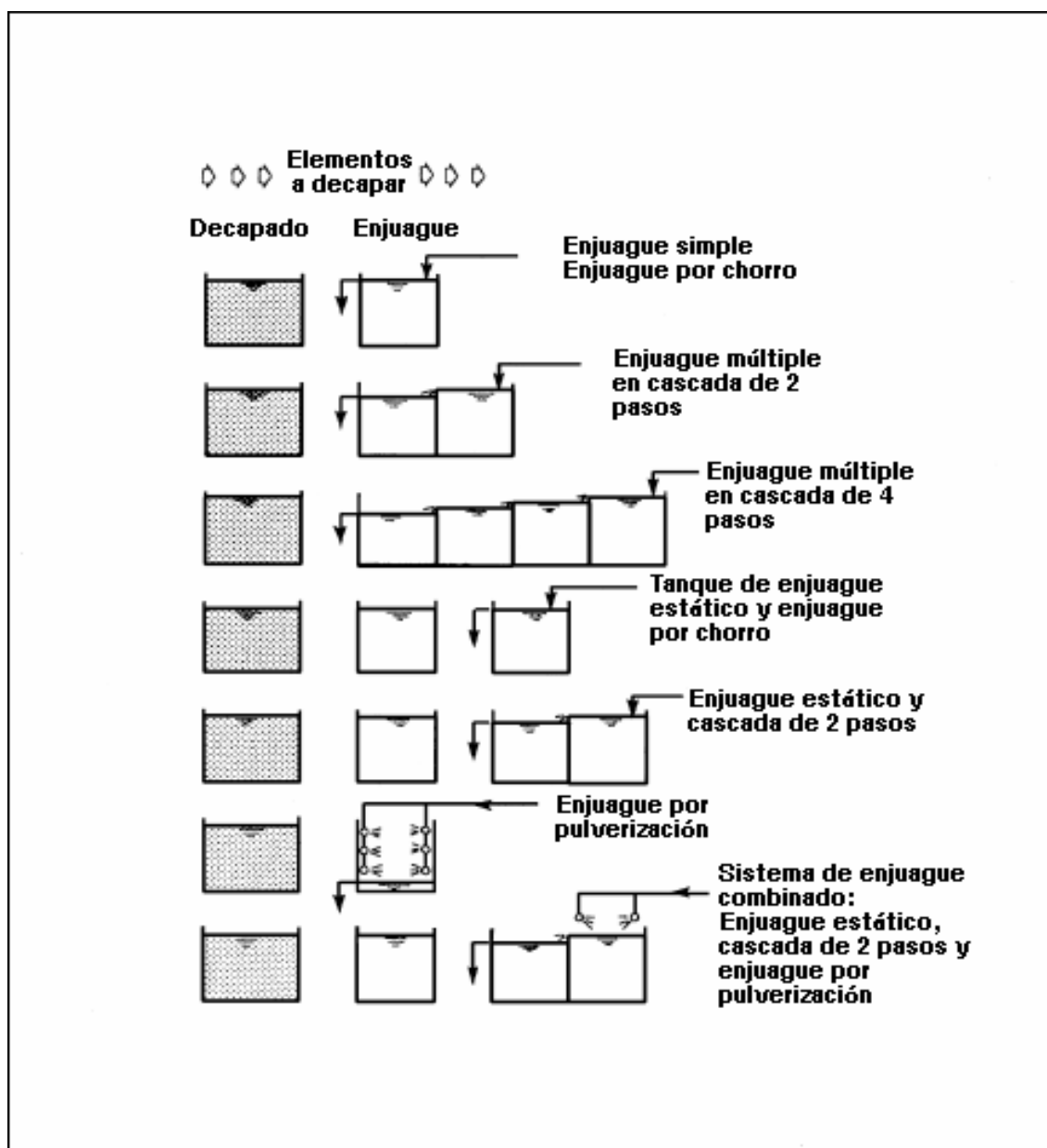


Figura D.8-1: Sistemas de enjuague [Rituper93].

Concentración en el baño de decapado			100					200					600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
[g/l]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Concentración residual en el último baño de enjuague			5	10	20	50	5	10	20	50	5	10	20	50	5	10	20	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
[mg/l]			2 · 10 ⁴	10 ⁴	5 · 10 ⁴	2 · 10 ³	4 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	10 ⁴	4 · 10 ³	1,2 · 10 ⁵	6 · 10 ⁴	3 · 10 ⁴	1,2 · 10 ⁴																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Criterio de enjuague	Sistema de Enjuague	Número de Baños	Consumo de agua de enjuague [m ³ /h]					Consumo de agua de enjuague [m ³ /h]					Consumo de agua de enjuague [m ³ /h]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500	200	4000	2000	1000	500

Tabla D.8-1: Comparación del consumo de agua para distintos sistemas de enjuague [Rituper93]

D.8.2 Tratamiento del Agua de Enjuague

Intercambio iónico, eliminación electrolítica de hierro, ósmosis inversa, eliminación oxidante de hierro

➔ No se ha facilitado información.

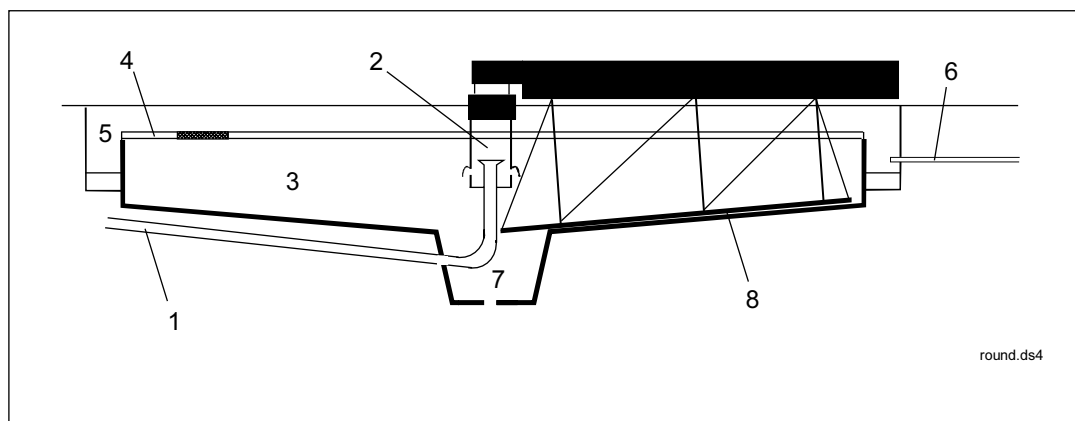
D.9 TRATAMIENTO DEL AGUA DE PROCESO Y DEL AGUA RESIDUAL

D.9.1 Tratamiento del agua de proceso con aceite y cascarilla

En la mayoría de casos, la cascarilla gruesa es capturada cerca del lugar donde se produce mediante **pozos de cascarilla**, o pequeños separadores por gravedad, para evitar daños en las instalaciones, por ejemplo si es necesario transportar el agua cargada de cascarilla mediante bombas. Los pozos de cascarilla pueden reducir el contenido de sólidos suspendidos en el agua residual (carga de 20 - 40 $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$) de 200 - 800 mg/l a 60 - 100 mg/l. La ventaja de la separación descentralizada de la cascarilla es que no hay sedimentación en los conductos y que se reduce la corrosión.

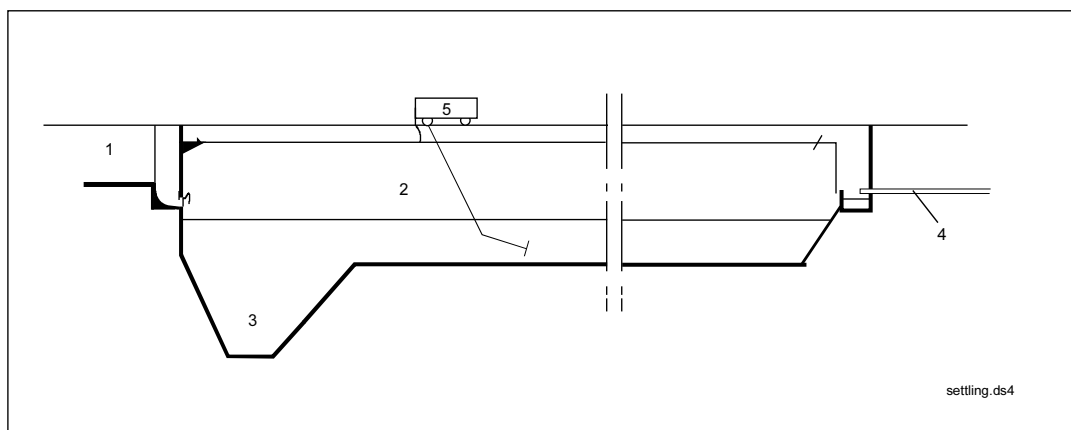
Para una ulterior limpieza de cascarilla gruesa (limpieza intermedia), normalmente el agua se trata físicamente en tanques de sedimentación para separar la cascarilla gruesa y los hidrocarburos. Existen distintos diseños, como tanques de sedimentación con flujo vertical u horizontal. Las Figuras D.9-1 y D.9-2 presentan ejemplos de separadores por gravedad.

El principio básico de estos separadores es que las partículas gruesas sedimentan en el fondo del tanque por gravedad, mientras que la mayor parte del aceite disperso en el agua asciende a la superficie. El agua se descarga a través de una salida equipada con una barrera sumergida delante para evitar que el aceite que flota en la superficie sea evacuado con el agua purificada. Los sedimentos depositados son normalmente transportados a un sumidero mediante cucharas mecánicas, de donde pueden ser extraídos por excavadoras o bombas.



1 Entrada de agua residual	5 Tubo de recogida de agua limpia
2 Cilindro de distribución	6 Salida de agua limpia
3 Depósito	7 Depósito de lodo
4 Rebose de agua limpia	8 Rascador de fondo
	(los tubos de aspiración para eliminación de lodo no se indican)

Figura D.9-1: Tanque de Sedimentación Circular (vertical)
[DFIU98].



1 Entrada de agua residual
2 Espacio útil para sedimentación
3 Depósito de lodo

4 Salida de agua limpia
5 Rascador de lodo

Figura D.9-2: Tanque de Sedimentación de Flujo Horizontal
[DFIU98].

La reducción que se puede alcanzar depende del tamaño del tanque, de la distribución del tamaño de las partículas, de la adición de agentes floculantes y del contenido de aceite. Los tanques de sedimentación pueden reducir los sólidos en suspensión desde 40 – 80 mg/l hasta 20 - 35 mg/l (carga 4 - 15 m³/(m²h)).

Otros tipos de separadores gravitatorios son los **clarificadores de hélice (o desaguadores de hélice)**. En comparación con los tanques de sedimentación, su construcción es más compacta. En los separadores de láminas (Figura D.9-3), el agua entrante pasa sobre una serie de placas inclinadas (láminas). Los sedimentos se producen por gravedad a lo largo de las placas, mientras que los aceites se desplazan hacia arriba a lo largo de la parte inferior de las placas, y pueden recogerse mediante mecanismos de derivación de la capa superficial. El agua purificada se evacua a través de una salida, separada del tanque mediante una barrera sumergida. El sedimento se evacua desde el fondo, por ejemplo mediante una hélice, que también está separada del tanque por una barrera sumergida.

Los clarificadores de hélice (véase Figura D.9-4) son básicamente tanques de sedimentación con fondo inclinado. Los sólidos que sedimentan por gravedad son transportados fuera del separador por una hélice giratoria, parcialmente sumergida en el sedimento.

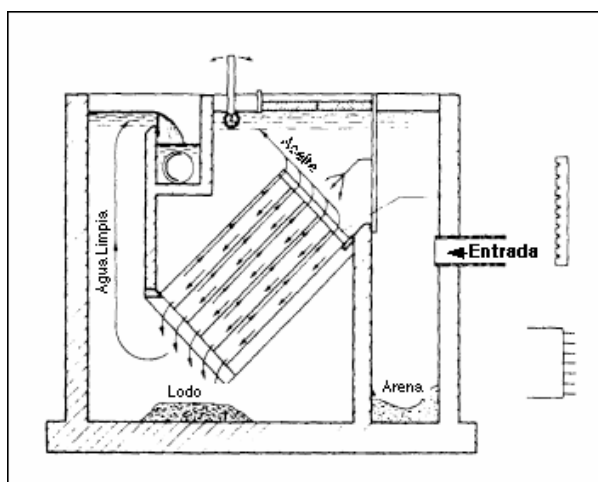


Figura D.9-3: Esquema de un separador de láminas
[Fichtner].

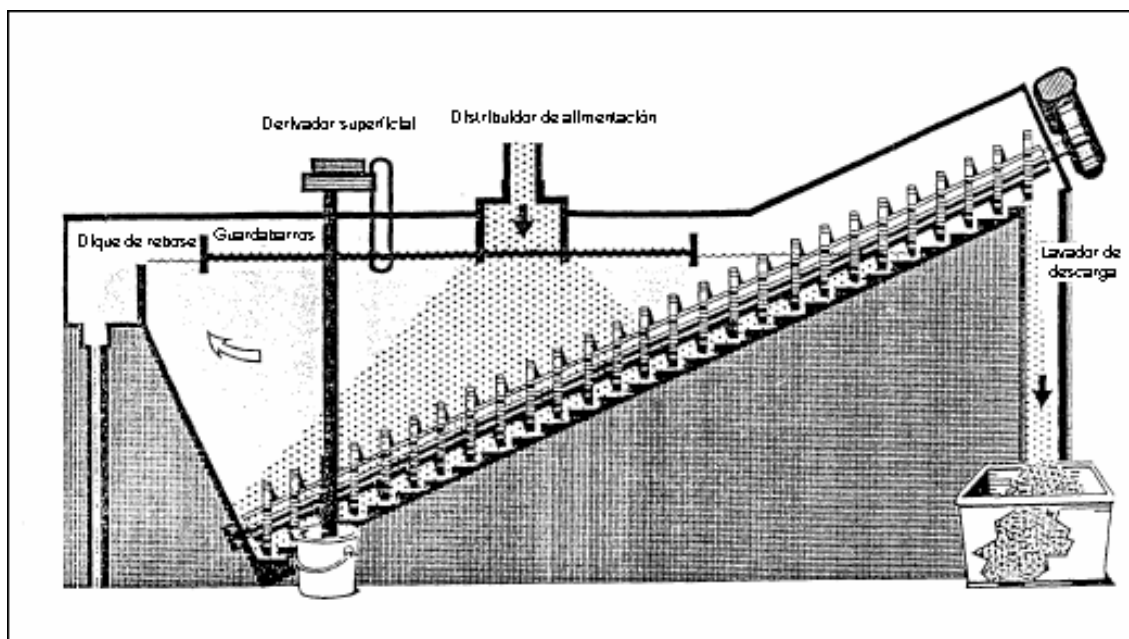


Figura D.9-4: Clarificador de hélice
[BSW-WWT-90].

En los **separadores centrífugos**, las partículas de cascarilla son impulsadas a la pared por el flujo. En la pared de la cámara de separación, las partículas de cascarilla deslizan lentamente hacia abajo a la cámara de recogida. Cuando la cámara de recogida está llena, se inicia la decantación automática. Una desventaja de este método es que no es posible la separación de aceite.

El aceite que flota en la superficie del agua es eliminado por **separadores de aceite**. El aceite se adhiere a una banda o manguera circular, que se sumerge en el tanque. Junto con esta banda o manguera, el aceite es transferido a un embudo fuera del tanque, donde se separa de la banda. También puede usarse una rueda en lugar de una banda circular.

La limpieza de finos puede realizarse en filtros de grava o arena (Figura D.9-5). El agua fluye a través del medio de filtrado, desde la parte superior a la inferior. De este modo se retienen grandes cantidades de cascarilla, lodos y aceite. Según el sistema de limpieza, estos filtros pueden eliminar todas las partículas transportadas por el agua hasta un tamaño de grano de 1 micra. El agua limpia pero todavía térmicamente cargada se enfría en torres de refrigeración para conseguir la temperatura de recirculación adecuada. Los filtros de grava y de arena deben limpiarse con el fin de eliminar las partículas e hidrocarburos. Los filtros se lavan a contracorriente tras un periodo fijo o cuando se alcanza una resistencia definida del filtro. El lavado a contracorriente se realiza con agua o aire. El volumen requerido de agua de lavado a contracorriente es del 1 – 3% del agua limpia.

Algunos filtros de agua trabajan con lavado continuo a contracorriente. Aquí, el agua fluye a través del medio de filtrado desde la parte inferior a la superior. La arena es transportada continuamente hacia arriba y es lavada continuamente. La arena purificada cae encima del lecho de arena limpio.

El agua de lavado a contracorriente está normalmente muy contaminada y bien se trata en las unidades de limpieza previa, si es necesario con adición de agentes floculantes, bien se trata separadamente en unidades especiales de tratamiento de lodos.

Para el **tratamiento del agua de lavado a contracorriente** de los filtros de arena, el agua se espesa en un espesador agregando floculantes y aplicando técnicas de sedimentación. El floculante se agrega y mezcla con el agua de lavado a contracorriente en una cámara de pre-reacción. En la cámara central, el lodo sedimenta. El agua purificada se evacua a través de un dique dentado y se devuelve al sistema de filtro de arena. Mediante una cuchara mecánica, el lodo es transportado a la compuerta de lodos, donde se descarga.

Si el lodo producido contiene demasiada agua, puede usarse una prensa para deshidratarlo. Esta prensa puede estar diseñada como una prensa filtrante de cámara, una prensa filtrante de membrana, o una centrífuga de vaso macizo. El agua filtrada se recircula al espesador [EUROFER HR].

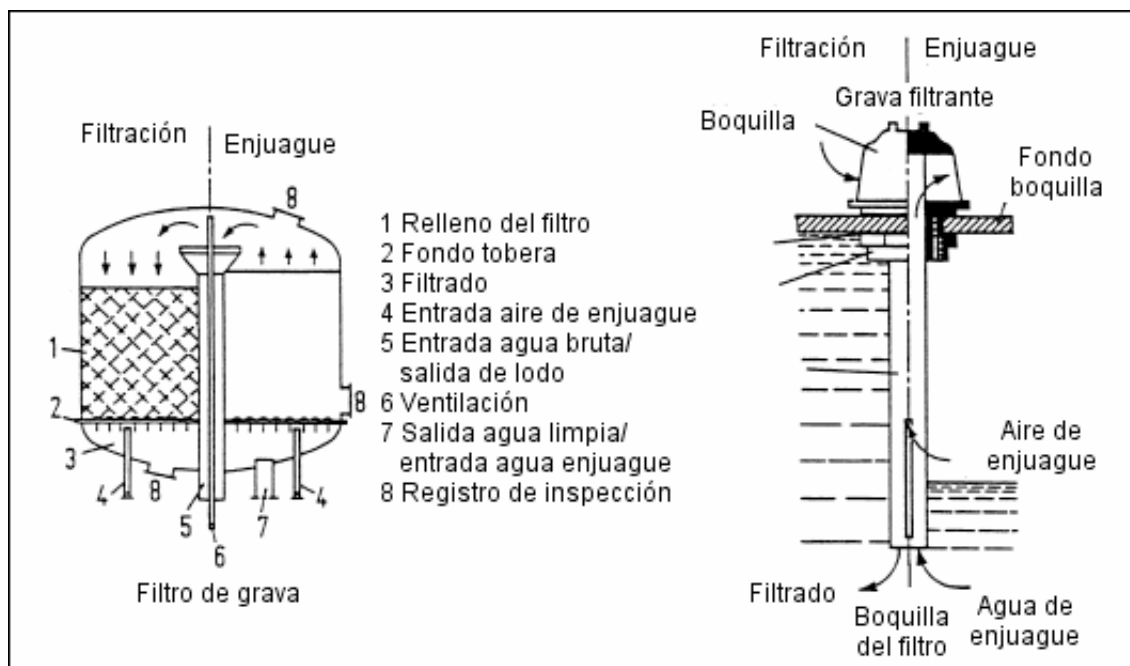


Figura D.9-5: Ejemplo de un filtro de grava con indicación de lavado a contracorriente [Theobald].

Otra opción para el agua residual de lavado de finos son filtros consistentes en elementos filtrantes cilíndricos de malla (véase Figura D.9-6).

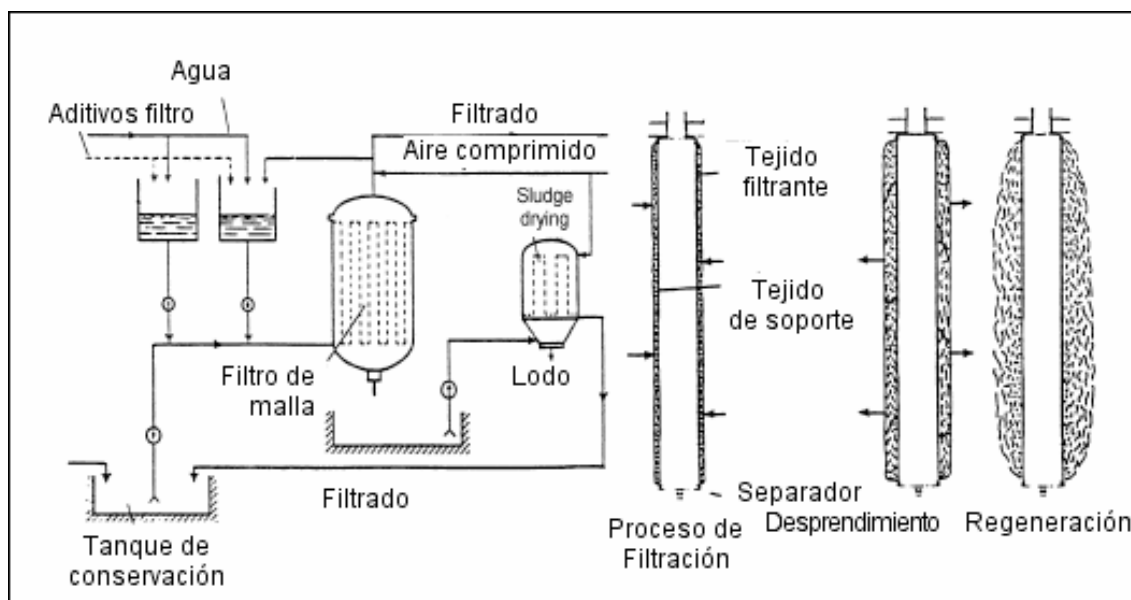


Figura D.9-6: Ejemplo de filtros de malla con indicación de lavado a contracorriente [Theobald].

Los ciclos de operación de estos filtros se dividen en:

- Fase inicial, durante la cual se acumula una capa de material filtrante en los filtros de malla fina.
- Fase de filtración, durante la cual se añade más material filtrante para mantener la capa de filtrado y lodo permeable.

- Fase de lavado a contracorriente, durante la cual se limpian los filtros invirtiendo la dirección del flujo.

Los lodos obtenidos del lavado retrógrado pueden deshidratarse directamente y sólo requieren un tratamiento especial antes de su reutilización (ej: en la planta de sinterización) si tienen un elevado contenido de aceite [Theobald].

Para una limpieza intermedia más eficaz y una mejor separación de cascarilla y aceite, se han desarrollado las denominadas **trampas de cascarilla fina aireadas**, que se muestran en la Figura D.9-7. Estas trampas combinan los principios de sedimentación y flotación. Los sólidos sedimentan en el fondo y son eliminados por cucharas mecánicas, mientras que el aire introducido (burbujas de aire) mejora la flotación del aceite.

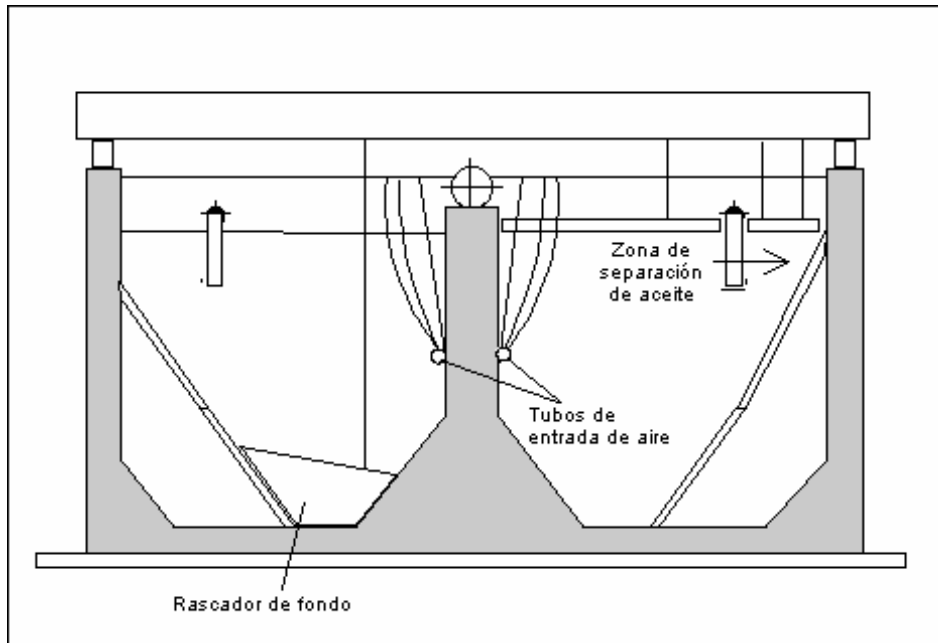


Figura D.9-7: Trampa de cascarilla fina aireada
[DFIU 98].

Además, el aceite adsorbido por la cascarilla fina es ‘desprendido’ por agitación. Debido a la mejor separación del aceite y la cascarilla y el menor contenido en aceite de la cascarilla, se mejoran las opciones de reciclaje. Con tiempos de retención de 15 a 30 minutos y cargas de 15 - 20 m³/(m²h), las trampas de cascarilla fina aireadas puede conseguir índices de reducción del 99% para partículas > 63 µm y del 20 - 80% para partículas de tamaño 31 - 63 µm (según la distribución del tamaño de las partículas) [DFIU98], [Theobald].

	Entrada [mg/l]	Salida [mg/l]	Reducción [%]
Sólidos en suspensión	32.3	25.8	20.1
Sólidos sedimentables	95.5	44.2	53.7
Fe total	43.5	24.6	43.4
Hidrocarburos ¹	2.0	1.3	35.0

Nota: Fuente de datos [StuE-111-3].

¹ Determinado según DIN 38 409, parte 18, 1981.

Tabla D.9-1: Ejemplo de niveles de emisiones para trampas de cascarilla fina aireadas

La reducción del contenido de aceite y grasa mediante el uso de trampas de cascarilla fina aireadas como dispositivo de limpieza previa antes de filtros de grava o arena, puede mejorar el funcionamiento de estos filtros. Los intervalos de lavado a contracorriente aumentan al reducirse la carga de partículas y minimizarse la obstrucción de los filtros debido a aceite y grasa [UBA-Kloekner-82].

La cascarilla de laminación tiene una elevada susceptibilidad magnética y por lo tanto puede eliminarse por **filtración magnética** (véase ejemplo en Figura D.9-8). Una inductancia crea un campo magnético en el que la carcasa de acero del filtro y una matriz de filamentos también se magnetizan (amplificación); debido a los elevados gradientes, las partículas ferromagnéticas pequeñas como la cascarilla de laminación fina se ven atraídas.

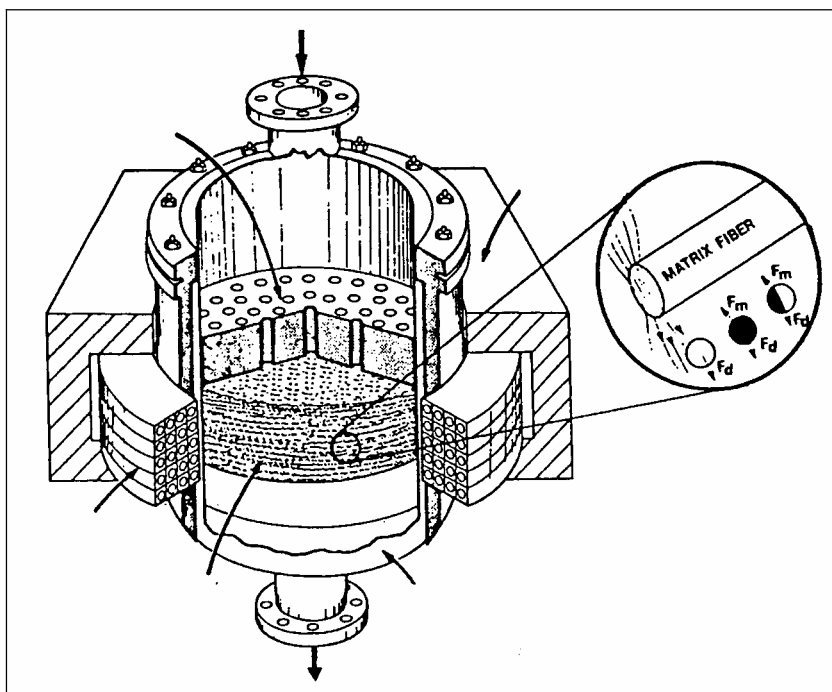


Figura D.9-8: Filtración magnética (ejemplo de elevado gradiente de FM) [Svedala].

D.9.2 Sistemas de refrigeración y tratamiento del agua de refrigeración

Para poder utilizar el agua de refrigeración en circuitos cerrados y reducir así el consumo de agua, el agua de refrigeración debe reenfriarse y ser tratada.

El enfriamiento se realiza mediante evaporación en torres de refrigeración, intercambiadores de calor o torres de refrigeración híbridas. En las **torres de refrigeración** a contracorriente con enfriamiento a presión, el agua a enfriar se pulveriza sobre rejillas en las celdas de la torre de refrigeración, y fluye por los bloques hasta el colector de la torre de refrigeración. Ventiladores dispuestos lateralmente o en la parte superior impulsan aire ambiente que pasa por el agua a contracorriente. De este modo se realiza el enfriamiento mediante la evaporación del agua. La eficacia de enfriamiento se controla mediante el volumen de aire. El desalado se controla midiendo la conductividad eléctrica. Si es necesario, se añade la cantidad necesaria de dispersantes, hipoclorito sodio y biocidas (prevención de bacterias y hongos), así como ácidos o álcalis (regulación del pH) [EUROFER HR].

En los **intercambiadores de calor de platos**, una serie de platos con canales de paso van fijados a una estructura. Desde cada plato se bombea alternativamente agua residual caliente y agua de refrigeración fría a través de estos canales. El calor se transfiere a través de la pared del plato [EUROFER HR].

En las **torres de refrigeración híbridas**, hay un intercambiador de calor de platos instalado en la parte superior de la torre. En la parte inferior, el agua se enfría por evaporación. Gracias al intercambiador de calor, el aire saturado de humedad se calienta y condensa como niebla un poco más tarde y con menor intensidad.

En la planificación e instalación de plantas de tratamiento de agua en circuito con torres de refrigeración, debe tenerse en cuenta la situación geográfica de la planta en cuestión. Debido a la evaporación de agua en el proceso de reenfriamiento, las condiciones climáticas pueden verse afectadas por la formación constante de niebla y por la llamada nieve industrial, especialmente en Europa central [EUROFER HR].

ANEXOS

Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en el Proceso de Metales Férreos

Anexo I. Monitorización	443
Anexo II. Legislación.....	445
Glosario	455
Referencias	459

ANEXO I - MONITORIZACIÓN

En temas específicos del sector de proceso de metales férreos, se ha informado durante la reunión del 2º grupo de trabajo de que existen dificultades para la medición de vapores ácidos (especialmente HF y en gamas de concentración muy bajas) y de emisiones fugitivas.

Se mencionó además que para el muestreo discontinuo, el periodo de muestreo y el número de muestras recogidas debe ser suficiente para demostrar que los resultados reflejan el comportamiento actual.

No se presentó ninguna información adicional relativa a la monitorización.

ANEXO II. LEGISLACIÓN

No se presentó más información relativa al proceso de metales férreos que la que se incluye en este anexo. En los casos en los que falta la legislación de algunos Estados Miembros, dicha información no fue puesta a disposición de la Oficina.

1. Recomendaciones HELCOM y PARCOM

En las siguientes recomendaciones HELCOM y PARCOM sobre procesos de metales férreos, se resumen:

Recomendación HELCOM 11/17

1. A partir del 1 de enero de 1995, las emisiones de polvo de los procesos (incluyendo laminación, hornos en talleres de laminación y corte) en la industria de hierro y acero, deben ser evitadas o recogidas y filtradas antes de ser liberadas a la atmósfera.
2. Las emisiones fugitivas de todos los procesos deben ser evitadas en la medida de lo posible: ej. por encapsulación, campanas extractoras combinadas con prácticas de buen mantenimiento.
3. Deben utilizarse filtros de tejido o tecnologías medioambientales equivalentes para limpiar el polvo ej. en plantas de sinterización, para gases secundarios de altos hornos y hornos de oxígeno básico, hornos de arco eléctrico y en operaciones de corte y desbaste.

Cuando se usan estas tecnologías, el contenido en partículas de los gases filtrados no debería superar los 10 mg/m³ (ndg), como valor de referencia. En cualquier caso, el contenido en partículas de los gases filtrados no debería superar los 50 mg/m³ (ndg).

4. Habrá que mantener un buen proceso y dispositivos de control así como una monitorización frecuente para mantener las emisiones bajas. Desde 1987, las emisiones de polvo deben controlarse de forma constante si la emisión de partículas es de 5 kg/h o superior, o si la emisión de cadmio es de 5 g/h o superior, y las instalaciones con emisiones de partículas de 2 a 5 kg/h debe estar equipadas con instrumentos de medición que determinen continuamente la opacidad del gas residual.

Recomendación HELCOM 17/5

1. Requisitos Generales

- El agua de proceso, agua de enfriamiento contaminada y agua de lluvia contaminada deberá ser tratada por separado del agua de enfriamiento no contaminada en cada planta.
- La instalación de sistemas de agua cerrados deberá ser desarrollada para agua de proceso y agua de enfriamiento contaminada hasta alcanzar un índice de recirculación del 95% como mínimo.
- Deberán desarrollarse procesos de producción, utilización de subproductos, tecnologías de tratamiento de aguas de lluvia y residuales, para minimizar las emisiones.
- Deberán tomarse medidas internas y externas para reducir las emisiones accidentales (ej: instalación de suficiente capacidad de almacenamiento para las aguas residuales sin tratar)
- Los lodos deberán ser desechados de manera que causen el mínimo riesgo medioambiental, preferiblemente tratándolos e introduciéndolos en altos hornos, plantas de sinterización u hornos de arco eléctrico

2. Requisitos de los efluentes de planta

Tras cumplimentar los requisitos generales detallados en el punto 1, los siguientes valores límite no deben ser superados como valores medios anuales:

Laminación en caliente:	Sólidos en Suspensión 50 g/t (o 1 t/a)	Aceite 10 g/t (o 0,2 t/a para plantas ya existentes solamente)
Laminación en frío:	Sólidos en Suspensión 10 g/t	Aceite 5 g/t

Recomendación HELCOM 13/6

Definición de mejor práctica medioambiental

Recomendación PARCOM 92/3 relativa a la limitación de la contaminación de nueva producción secundaria de acero y talleres de laminación

Las partes contratantes del Convenio sobre la prevención de contaminación marina de fuentes de origen terrestre, acuerdan lo siguiente:

Se tomarán medidas para reducir las emisiones NO_x en plantas de decapado que usen ácido nítrico y en las que las emisiones de NO_x (como NO₂) superen 5 toneladas al año. Las medidas deben centrarse en un índice de reducción del 70% como mínimo.

Debe recircularse un mínimo del 95% de agua de proceso (ej: agua de enfriamiento directo) de las máquinas de laminación en caliente y de colada continua.

Las emisiones de sólidos en suspensión (s.s.) y aceite en la purga de los sistemas de agua de proceso que provenga de laminación en caliente, no deberán superar 50 g/tonelada de acero procesado para los sólidos en suspensión y 10 g/t para el aceite.

Antes de evacuar las emulsiones de aceite consumidas en la laminación en frío, debe procederse a su tratamiento, por ejemplo mediante ultrafiltración. Las emisiones de la laminación en frío no deben superar 10 g/tonelada para s.s. y 5 g/tonelada de acero procesado para aceite. En plantas con sistemas integrados de aguas residuales, la evacuación total al año no debe superar la suma de la producción anual multiplicada por los valores mencionados para cada proceso.

El flujo de agua residual procedente del decapado debe reducirse en la medida de lo posible. Las evacuaciones de metales de las plantas de decapado deben limitarse como sigue:

Ni	1	mg/l
Cr-tot	1	mg/l
Cr (VI)	0,1	mg/l
Zn	2	mg/l
Cd	0,2	mg/l

(concentración máxima de metales en el agua efluente, en muestras sin filtrar).

En plantas de decapado que utilicen más de 20 toneladas de ácido nítrico al año, deben tomarse medidas para la reducción de las emisiones de nitratos mediante la aplicación de regeneración del ácido, u otro método igualmente eficaz.

Debe realizarse la recuperación de metales de todo el polvo de los filtros rico en zinc (concentración de Zn por encima del 16%), así como del polvo de los filtros de toda la producción de acero inoxidable.

Recomendación PARCOM 90/1 del 14 de junio de 1990 sobre la definición de la mejor tecnología disponible para plantas secundarias de hierro y acero

La Comisión de París acuerda que como mínimo las siguientes medidas constituyen la mejor tecnología disponible para plantas secundarias de hierro y acero:

- Filtros de tejido para limpiar el polvo o sistema antipolvo igualmente eficaz para las operaciones de corte, desbaste y desbarbado.
- Regeneración de baños de decapado y cierre de sistemas de agua de enjuague
- Adición de peróxido de hidrógeno en los baños de decapado que contienen ácido nítrico o cualquier otra medida equivalente que permita la reducción de la emisión de NO_x a la atmósfera.
- Sedimentación combinada con filtración de aguas residuales procedentes de la laminación y colada continua. Recirculación o reutilización del agua.
- Recuperación de metales del polvo de los filtros.

2. VALORES LÍMITE GENERALES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA PARA AUSTRIA

(ver también orden N° 160)

2.1. Instalaciones para calentamiento / recalentamiento / tratamiento Térmico

(ver BGBl. II N° 160, pág. 727, párr. 5)

Valor límite de emisión de SO₂, usando gas de horno de coque 300 mg/Nm³
 Valor límite de emisión de NO_x, usando aire precalentado 750 mg/Nm³ (calc. como NO₂)
 Valor límite de emisión de NO_x, no usando aire precalentado 500 mg/Nm³ (calc. como NO₂)
 El valor de referencia de O₂ para combustibles de gas o líquidos es del 5 % (ver pág. 726 de la orden)

2.2 Instalaciones para tratamiento de superficie con ácido

(ver BGBl. II N° 160, pág. 727, párr. 7)

Valor límite de emisión de SO₂ 300 mg/Nm³
 Valor límite de emisión de NO_x 500 mg/Nm³ (calc. como NO₂)
 El valor de referencia de O₂ para combustibles de gas o líquidos es del 3%, para combustibles sólidos del 6 % (para más detalles ver pág. 726 de la orden)

Los valores límite mencionados son valores medios en media hora, aplicables a plantas nuevas. Las plantas antiguas deben alcanzar este valor de 5 años después de la entrada en vigor de esta orden, es decir en junio de 2002. Para más información, ver la orden.

2.3 Límites generales de emisiones al agua para austria

Valores Límites de Emisiones en Aguas Residuales para tratamientos en frío / caliente de metales (laminación, forjado, prensado, estirado,...); para más detalles, ver página 2835 – 2838 de la orden (BGBl. 345/1997)

	Conformación en caliente (pág. 2835)		Conformación en frío (pág. 2836)	
	Agua corriente	Alcantarillado público	Agua corriente	Alcantarillado público
Parámetro General				
Temperatura	30 °C	35 °C	30 °C	35 °C
Toxicidad GF para peces	2	no afecta la degradación biológica	4	no afecta la degradación biológica
Materia filtrada	50 mg/l	200 mg/l	50	200
Valor pH	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5
Parámetro inorgánico	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Cromo como Cr	0,5	0,5	0,5	0,5
Cromo-VI como Cr		0,1	0,1	
Hierro como Fe	2,0	2,0	2,0	2,0
Cobre como Cu			0,5	0,5
Níquel como Ni	0,5	0,5	0,5	0,5
Zinc como Zn	1,0	1,0	1,0	1,0
Flúor como F			30	30
Nitrato como N			20	-
Nitrato como N			1,5	10
Amoníaco como N	5,0	5,0		-
Fósforo como P	2,0	2,0	-	
Parámetro orgánico	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
DQO, CSB calc. como O₂	75		200	-
Suma de comp. Orgánicos	10	20	10	20

Tabla 2-1: Valores Límites de Emisión de Aguas Residuales

Esta Disposición entró en vigor en 1998 para plantas nuevas. Las plantas antiguas han de cumplir el reglamento dentro de los próximos 7 años, lo que significa hasta el 2005. Para mayor información relacionada con la monitorización, ver §§ 3 y 4 de la orden.

3. LEGISLACIÓN ALEMANA ACTUAL RELATIVA A ACTIVIDADES DE PROCESO DE METALES FÉRREOS

Los reglamentos importantes relativos a las actividades de proceso de metales férreos en Alemania están detallados en la BImSchG (Ley Federal de Control de Emisiones), la WHG (Ley Federal del Agua) y la KrW-/AbfG (Ley de Prevención de Residuos, Reciclaje y Desechos para la Promoción de la Gestión Estricta de Residuos de sustancias y el Aseguramiento de Desechos de Residuos Compatibles con el Medio Ambiente). Alemania utiliza un sistema de licencias independientes para los distintos aspectos medioambientales, aunque la decisión final respecto a una instalación se alcanza tras la evaluación de los impactos ambientales en todos los medios por parte de las autoridades locales. La concesión de licencias tiene también en cuenta los requisitos de ruido. Alemania pretende promocionar la prevención de la contaminación en la concesión de licencias. El “principio preventivo” tiene un estado legal que permite el establecimiento de normas. Las normas legales no están sujetas a negociación en la concesión de licencias en Alemania.

Cumpliendo con la estructura federal de Alemania, la aplicación de leyes y decretos ambientales depende de los estados federales (Bundesländer), que pueden aplicar la concesión administrativa de forma distinta. Para plantas nuevas que se consideren relevantes con respecto a emisiones y evacuaciones al medioambiente, se requiere también la evaluación del impacto ambiental para la concesión de licencias (cf. Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, UVPG).

Area	Base Legal	Reglamentos y Disposiciones
Transporte	Verkehrsrecht	Gefahrgutverordnung Straße Gefahrgutverordnung Schiene Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt
Salud y seguridad laboral	Chemikaliengesetz (ChemG) Gewerbeordnung	Chemikalienverbotsordnung Gefahrstoffverordnung TA Lärm Arbeitsstättenverordnung und -richtlinien
Emisiones	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	Bundes-Immissionsschutzverordnungen Bundes-Immissionsschutzverwaltungsvorschriften TA Luft TA Lärm Katalog wassergefährdender Stoffe Abwasserverwaltungsvorschriften Indirekteinleitungsverordnungen der Länder
Residuos	Abfallgesetz (AbfG) Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrW.-/AbfG)	Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung Abfallbestimmungsverordnung Reststoffbestimmungsverordnung TA Abfall TA Siedlungsabfall

Tabla 3-1: Base legal y reglamentos para líneas de producción

La Tabla 3-1 proporciona una visión general de los reglamentos y normas alemanas para la protección medioambiental en Alemania para líneas de producción. A continuación se presenta una selección de las leyes, reglamentos y requisitos más relevantes en relación con la calidad del aire y del agua para las actividades de proceso de metales.

3.1 Reglamento alemán relativo a la calidad del aire

La legislación básica alemana para el control de la contaminación atmosférica y la reducción de ruido es la Ley Federal de Control de Emisiones (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG), que se centra en la protección atmosférica, aunque se aplica también al agua y la tierra si la contaminación es introducida mediante la atmósfera. La BImSchG se complementa con 21 disposiciones así como las Instrucciones Técnicas sobre Calidad del Aire (TA Luft). Las TA Luft describen en más detalle los requisitos que deben cumplir las instalaciones sujetas a licencias. Las secciones siguientes detallan las leyes y disposiciones alemanas relevantes a la prevención de la contaminación atmosférica.

3.1.1 Ley Federal de Control de Emisiones (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG)

La BImSchG es el instrumento legal para la monitorización de la contaminación atmosférica. Las emisiones descritas por la legislación incluyen contaminantes atmosféricos, así como ruidos, vibraciones, lumínicas, calóricas, radiación y factores asociados que afectan a personas, animales, plantas y otras cosas. Este concepto ya implica la idea de los efectos sobre otros medios, hasta cierto punto.

La BImSchG necesita que las autoridades federales dicten órdenes para identificar los tipos de instalaciones que están sujetos a la concesión de licencias, fijen requisitos para la concesión de licencias e impongan valores límite de emisiones y requisitos de control técnico para todas las instalaciones, tengan o no licencia.

En particular el artículo 5(1)3 BImSchG tiene por objeto evitar y reducir los residuos y desechos. Este párrafo se centra en los efectos sobre otros medios de la producción industrial.

El concepto de "tecnología avanzada" descrita en la BImSchG es similar al de MTD:

Por "tecnología avanzada" se entiende el estado de desarrollo de procesos avanzados de instalaciones o modos operativos que describe la viabilidad práctica de una técnica determinada para la restricción de los niveles de emisiones. Al referirse a tecnología punta, se presta especial atención a los procesos, instalaciones o modos operativos comparables, que han sido puestos en práctica satisfactoriamente (Artículo 3, párrafo 6 BImSchG).

En principio, la "tecnología avanzada" se indica en términos de límites de emisiones fijados por las autoridades que conceden las licencias, y la elección de una tecnología que cumpla los niveles de límites de emisiones se deja a la industria. Deben tomarse las precauciones necesarias contra los efectos nocivos para el medioambiente, especialmente con el empleo de medidas de control correspondientes a la tecnología. Según el volumen, algunas sustancias deben ser medidas continuamente (ej: SO_x, NO_x, y partículas).

A continuación, se presentan brevemente algunas de las órdenes y requisitos específicos de la BImSchG.

3.1.1.1 Orden para instalaciones sujetas a licencia (4. BImSchV)

El artículo 4 de la BImSchV (Orden sobre instalaciones sujetas a licencia) ofrece una relación de todas las instalaciones sujetas a licencia en la BImSchG. Según esta orden (ver Anexo, línea 1, N° 3.5 y 3.6) las instalaciones para laminación de metales y desbarbado deben estar sujetas a la concesión formal de licencia, independientemente de si se trata de instalaciones nuevas o de modificaciones sustanciales en el emplazamiento, la naturaleza o el funcionamiento de instalaciones ya existentes.

3.1.1.2 Instrucciones técnicas de calidad del aire (TA Luft)

Las instrucciones Técnicas de Calidad del Aire (TA Luft) han sido establecidas como reglamento administrativo general en relación con el §48 de la BImSchG. Las TA Luft especifican además los requisitos que deben cumplir las instalaciones sujetas a concesión de licencia. Fijan los valores límite para la mayoría de los contaminantes atmosféricos, así como las especificaciones estructurales y operativas establecidas para limitar las emisiones difusas. El reglamento para actividades de proceso de metales ferreos de las TA Luft, encaminado a impedir y minimizar la contaminación atmosférica, está establecido en el N° 3.3.3.6.1 (plantas para laminación de metales, para hornos de calentamiento y tratamiento térmico), N° 3.3.3.9.1. (instalaciones de galvanización), y N° 3.3.3.10.1 (Instalación para tratamiento de superficie de metales con HNO₃). Las especificaciones establecidas se detallan en la Tabla 3-2.

N° en las TA Luft	Referencia	Especificación
3.3.3.6.1 (laminación)	Cantidad de referencia	Los valores de emisiones están referidos a un contenido volumétrico de oxígeno en el gas residual del 5 por ciento
3.3.3.6.1 (laminación)	Oxidos de nitrógeno *)	Las emisiones de monóxido de nitrógeno y de dióxido de nitrógeno en el gas residual de las plantas que utilizan precalentamiento de aire a 200°C o más, no deben superar la concentración de masas indicada en la figura inferior (Fig. 8-1), como dióxido de nitrógeno; debe utilizarse la posibilidad de controlar las emisiones con técnicas de diseño de combustible y otras medidas de tecnología avanzada.
3.3.3.6.1 (laminación)	Oxidos de azufre	Si se utilizan gases combustibles en una producción interrelacionada entre una planta productora de hierro y acero y una planta de coque, las emisiones de azufre no podrán superar el valor de emisión según el anexo 1 al §16, 13° de la BImSchV.
3.3.3.9.1 (galvanización)	Limpieza de gases residuales	Las instalaciones de galvanización que utilizan flujos, deben estar equipadas con dispositivos de captura de gas residual, como encapsulación o campanas; los gases residuales deben ser canalizados a unas instalaciones de limpieza de gases residuales.
3.3.3.9.1 (galvanización)	Polvo	Las emisiones tipo polvo en gases residuales no deben superar 10mg/m ³ (STP).
3.3.3.9.1 (galvanización)	Compuestos clorados	Las emisiones de compuestos gaseosos inorgánicos clorados en gases residuales no deben superar los 20mg/m ³ (STP), indicados como cloruro de hidrógeno.
3.3.3.9.1 (galvanización)	Medición de emisiones	El resultado de la medición debe determinarse para varios procesos de recubrimiento por inmersión; el tiempo de medición corresponde a la suma de los distintos tiempos de inmersión, generalmente durante 1/2 hora; el tiempo de inmersión es el periodo entre el primer y último contacto de la pieza galvanizada con el baño de galvanización.

Tabla 3-2: Especificaciones Técnicas

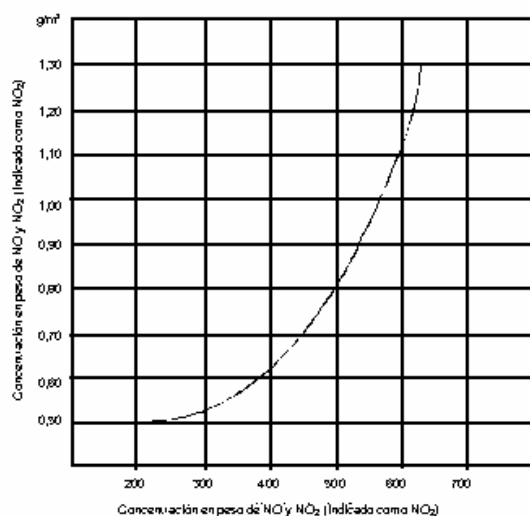


Figura 3-1: Límites de emisión de NOx de las TA Luft

*) El Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) alemán acordó el 6 y 8 de mayo de 1991 en Bayreuth poner en términos concretos la dinámica de fabricación de TA Luft para hornos de calentamiento y tratamiento térmico, fijando los siguientes valores de emisión para NOx:

Plantas nuevas - 500mg/m³

Plantas existentes de precalentamiento por aire de combustión

- hasta 450°C: 500mg/m³

- más de 450°C: objetivo 500mg/m³

En caso de utilizar gas de horno de coque:

- Investigación del caso particular con un objetivo de 500mg/m³

Desde la entrada en vigor del TA Luft en 1986, las autoridades locales piden a veces valores límite de emisión más estricta.

3.1.1.3 Formación técnica sobre reducción de ruido (TA Lärm)

La Formación Técnica de Reducción de Ruido (TA Lärm) fija límites de emisión de ruido según las actividades de las instalaciones, establecidos para las diversas zonas. La construcción, funcionamiento o modificación de las instalaciones sólo se autoriza si no superan los límites de emisión permitidos para una zona específica y si se utilizan medidas anti-ruido sofisticadas.

3.1.2 Reglamentación alemana relativa a la calidad del agua

En lo que se refiere a la gestión del agua, las evacuaciones, según su localización, deben cumplir con la Ley Federal de Agua (Wasserhaushaltsgesetz, WHG). La WHG es el instrumento legal para controlar la contaminación del agua, que es análoga a la BImSchG para el control de la contaminación atmosférica. El Reglamento de la WHG cubre caudales de aguas residuales generados por diversos procesos industriales, incluidas las actividades de proceso de metales férreos. Según la WHG, el uso de aguas de superficie, marinas y freáticas, requiere la aprobación de las autoridades competentes. En Alemania, la legislación de protección del agua está aplicada por la Disposición sobre Aguas Residuales (Abwasserverordnung, AbwV) y por el reglamento general administrativo relativo a los requisitos mínimos que deben cumplir los niveles de evacuaciones, sin tener en cuenta el medio receptor. En general, el reglamento marco para la protección del agua son de aplicación a escala federal, pero los estados federales añaden también su reglamento complementario a la legislación del agua. La WHG se complementa con la Ley de Tasas para Evacuaciones (Abwasserabgabengesetz: AbwAG). Las tasas están relacionadas con la masa o el posible riesgo presentado por la evacuación de agua residual según la Tabla 8-3. Para la evacuación de agua de alcantarillado que supera los valores límite mencionados para concentraciones o cupos anuales de emisión, el responsable del vertido debe pagar una cuota relacionada con las unidades de medición establecidas.

Sustancias Peligrosas	Unidades de medición (relacionadas con u.de riesgo)	Valores límite	
		Concentraciones	Cupos Anuales
Sustancias oxidables (indicadas como DQO)	50 kg Oxígeno	20 mg/l	250 kg
Fósforo	3 kg	0,1 mg/l	15 kg
Nitrógeno	25 kg	5 mg/l	125 kg
Compuestos orgánicos halogenados como AOX	2 kg Halógeno, calculado como Cl	100 µg/l	10 kg
Mercurio y compuestos	20 g	1 µg/l	0,1 kg
Cadmio y compuestos	100 g	5 µg/l	0,5 kg
Cromo y compuestos	500 g	50 µg/l	2,5 kg
Níquel y compuestos	500 g	50 µg/l	2,5 kg
Plomo y compuestos	500 g	50 µg/l	2,5 kg
Cobre y compuestos	1000 g	100 µg/l	5 kg
Toxicidad para peces	3,000 m 3 evacuaciones / GF	GF =2 (factor de dilución de no letalidad para peces del agua evacuada)	

Tabla 3-4: Límites de acuerdo con la Ley de Tasas para Evacuaciones

Existen unos requisitos mínimos para sistemas de alcantarillado procedentes de fuentes legalmente establecidas. El anexo 24° de la AbWV (Abwasserordnung, AbWV) hace referencia entre otras a las actividades de proceso de metales férreos. Este Anexo se aplica entre otros a aguas residuales generadas por los procesos siguientes: colada continua, conformación en caliente, producción en caliente de tubos, producción en frío de bandas, producción en frío de tubos, perfiles, acero pulido, alambre, tratamiento superficial continuo de productos de acero semiacabados y acabados. En la sección 2.1.2 de dicho Anexo, se establecen los requisitos para minimizar el nivel de sustancias nocivas en aguas residuales. La Tabla 8-7 proporciona restricciones importantes establecidas por la AbWV, especialmente en lo referente a conformación en caliente y en frío. Este reglamento excluye el agua residual de los sistemas de refrigeración para el enfriamiento indirecto de procesos industriales y el tratamiento del agua de proceso. El agua residual procedente de estas actividades está sujeta a las disposiciones establecidas en el Anexo 31, AbWV. La Tabla 8-8 da los requisitos más importantes para las emisiones de este Anexo 31. Si no se cumplen los valores indicados, se denegará la aprobación para la evacuación de aguas residuales. Los efluentes de las instalaciones de galvanización en discontinuo también deben cumplir las disposiciones del Anexo 40, AbWV.

Sustancias/Procesos Peligrosos	Conformación en caliente	Producción de tubos en caliente	Producción de bandas en frío	Producción de tubos en frío, ...	Tratamiento superficial continuo
Demanda Química Oxígeno DQO	40 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	300 mg/l	300 mg/l
Hierro	5 mg/l	5 mg/l	3 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
Hidrocarburos	5 mg/l	10 mg/l	10 mg/l	10 mg/l	5
Nitrógeno de nitritos (NO ₂ -N)	-	-	5 mg/l	5 mg/l	-
Total fósforo	-	-	2 mg/l	2 mg/l	2 mg/l
Flúor	-	-	30 mg/l	30 mg/l	-
Plomo	-	-	-	-	0.5 m g/l
Cromo, total	0.2 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Cromo VI	-	-	0.1 mg/l	0.1 mg/l	0.1 mg/l
Cobre	-	-	-	-	0.5
Níquel	0.2 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Zinc	2 mg/l	2 mg/l	2 mg/l	2 mg/l	2 mg/l
Estaño	-	-	-	-	2 m g/l
Cianuro	-	-	-	-	0.2 m g/l
Toxicidad para peces como factor de dilución	2	2	6	6	6
AOX	-	-	-	-	1 m g/l

Tabla 3-5: Requisitos de las emisiones de la producción de hierro y acero (Anexo 24,AbwV)

La mayoría de estados federales han establecido un reglamento complementario para las emisiones indirectas. Generalmente, estas Directrices son aplicables a las plantas industriales, mientras no se fijen reglamentos federales. Sin embargo, dado que la mayoría de plantas involucradas desechan directamente sus aguas residuales, y por lo tanto tienen que cumplir con el reglamento correspondiente de emisiones directas, las Directivas sobre Emisiones Indirectas son de menor interés.

Sustancias Peligrosas	Requisitos Mínimos
Demanda Química de Oxígeno DQO	40 mg/l
Compuestos fosforados, indicados como P	3 mg/l
Zinc	4 mg/l
AOX	0.15 mg/l
Cloro residual disponible	0.3 mg/l
Compuestos cromados	No debe contener
Compuestos de mercurio	No debe contener
Nitrito	No debe contener
Compuestos Metálicos Orgánicos (Compuestos Metálicos con Carbono)	No debe contener

Tabla 3-6: Requisitos para emisiones de sistemas de enfriamiento de los procesos industriales (Anexo 31,AbwV)

3.1.3 Reglamentación alemana relativa a la gestión de residuos y el desecho de materias peligrosas

La legislación alemana sobre residuos está establecida en la Ley sobre Prevención y Tratamiento de Residuos (Abfallgesetz, AbfG). Se aplica al uso y almacenamiento de residuos, como sustancias que deben desecharse en un proceso o sustancias cuyo adecuado tratamiento es necesario para proteger el medioambiente. Los requisitos adicionales se refieren a residuos procedentes de unas instalaciones determinadas.

La legislación que fija medidas dirigidas a la prevención, utilización y desecho de residuos, se establece en la Ley sobre Gestión de Residuos y Reciclaje (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, KrW-/AbfG), que entró en vigor en octubre 1996 y es la parte más importante de la nueva ley AbfG. Amplia todo el concepto de residuos nacionales y fija nuevas prioridades en cuanto a la prevención y el deber de utilizar los residuos. La ley KrW-/AbfG también codifica la responsabilidad del fabricante con respecto a los productos.

Para procedimientos administrativos, son de relevancia las directrices técnicas sobre residuos (TA Abfall) y desechos municipales (TA Siedlungsabfall). Además, una instrucción administrativa, la directiva técnica sobre residuos especiales (TA Sonderabfall), regula la manipulación de residuos especiales. Las instalaciones para el tratamiento de los residuos han de cumplir los requisitos regulados en decretos especiales, basados en el Art. 5 BImSchG.

Un grupo de trabajo de los estados federales sobre residuos (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, LAGA) emitió una categorización de los tipos de residuos que incluye 589 tipos de residuos, de los que 333 tienen prioridad de control (LAGA-Abfallartenkatalog). Este catálogo era válido hasta 12/31/1998 y ha sido sustituido por el Catálogo Europeo de Residuos (CER), como sigue. Para facilitar el cambio del catálogo LAGA al CER, La LAGA alemana elaboró un catálogo provisional (LAGA-Umsteigekatalog). La Tabla 8-9 resume la clasificación de las sustancias relevantes seleccionadas generadas dentro de las actividades férreas.

Tipo de residuo	Clave Residuo LAGA ²	Clave Residuo EWC/coment.
Cascarilla	351 02	120199
Refractarios desmantelados	31103	100206
Polvo con hierro sin impurezas nocivas	35101	120102
Chatarra férrea	35103	170405
Escoria de zinc	35309	170404
Hidróxido de hierro	51309	110104, 190201
Cloruro férrico (FeCl ₃)	51519	060305
Solución de decapado consumida	52102	060101, 060102, 060103, 060105, 110105
Agentes de refrigeración	54401	120110
Lodos del tren de laminación	54701	130501
Lodos de separación de aceite	54703	130502

Tabla 3-7: Números LAGA/CER seleccionados para residuos resultantes de actividades de FMP seleccionadas

² Clasificación con reserva

GLOSARIO

Sustancias	
Ca	Calcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido cálcico
CaCl ₂	Cloruro cálcico
Cd	Cadmio
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Hierro
FeCl ₂	Cloruro ferroso
Fe ₂ O ₃	Oxido de hierro, óxido férrico
FeOx	
HCl	Acido clorhídrico
HF	Acido fluorhídrico
Hg	Mercurio
H ₂ SO ₄	Acido sulfúrico
Mn	Manganeso
N ₂	Nitrógeno molecular
NaCl	Cloruro sódico
NO ₂ ⁻	Nitrito
NOx	Oxidos de nitrógeno
Na ₂ SO ₄	Sulfato sódico
Ni	Níquel
NH ₃	Amoniaco
NH ₄ Cl	Cloruro amónico
NO	Oxido nítrico
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
Pb	Plomo
SO ₂	Dióxido de azufre
Zn	Zinc
ZnCl ₂	Cloruro de zinc

Unidades

euro	Unidad monetaria de la UE (Estados miembros participantes)
Pa	Pascal
°C	Grado centígrado/Celsius
g	gramo
kg	kilogramo
t	tonelada métrica (1000kg)
min	minutos
mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
Nm ³	m ³ a 273K, 101.3kPa, seco
kWh	kilowatio hora
kWth	kilowatio térmico
J	julio
s	segundo
h	hora
d	día
a	año
t/d	toneladas por día
t/a	toneladas por año
bar	105 Pa
l	litro
vol%	porcentaje del volumen
Mt/a	millones de toneladas por año

Prefijos

μ	micro 10 ⁻⁶
m	mili 10 ⁻³
c	centi 10 ⁻²
k	kilo 10 ³
M	mega 10 ⁶
G	giga 10 ⁹

Abreviaturas

Ø	Valor medio
MTD	Mejor técnica disponible como recoge el Art. 2(11) de la Directiva sobre IPPC
AH	Alto horno
GAH	Gas de alto horno
HOB	Horno de oxígeno básico
BREF	Documento de referencia de MTD
RC	Recubrimiento continuo/recubierto en continuo
DQO	Demanda química de oxígeno: indica la cantidad de materia orgánica oxidable químicamente en aguas residuales
GHC	Gas de horno de coque
LF	Laminación en frío/laminado en frío
IPPCB	Oficina Europea de Prevención y Control Integral de la Contaminación
PE	Precipitador electrostático
€ o EUR	Unidad monetaria europea
FT	Filtro de tejido
PMF	Proceso de metales férreos
HC	Hidrocarburo
Gas HN _x	Mezcla de nitrógeno-hidrógeno
HOWAQ	Temple en agua caliente (Hot water quench)
LC	Laminación en caliente/laminado en caliente
CTH	Capacidad técnica horaria
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno
FII	Foro de intercambio de información
n.d.	No disponible
GN	Gas natural
PCDD/F	Dibenzo-p-Diozinas/Furanos Policlorados
ppm	Partes por millón
RCS	Reducción catalítica selectiva
RNCS	Reducción no catalítica selectiva
SS	Sólidos en suspensión (en aguas residuales)
TSS	Total sólidos en suspensión (en aguas residuales)
GTT	Grupo de trabajo técnico
COV	Compuestos orgánicos volátiles

Definiciones de términos

Mezcla de ácidos/disolución de mezcla de ácidos	HCl utilizado para decapar acero y descincar acero inoxidable
Mezcla de ácidos	Mezcla de ácidos nítrico y fluorhídrico utilizada para decapar acero inoxidable
Descincado	Desprendimiento de zinc del acero por inmersión en ácido (HCl)

REFERENCIAS

[ABAG].

ABAG (Magdalena Sordo, Dominik Toussaint), 1993

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Feuerverzinkereien –

[ABAG-BIO].

Kunz, P. 1996

Reststoffvermeidung durch ein biologisches Entfettungsspülbad in einer Feuerverzinkerei

[ABAG-Flux].

Frauenhofer Institut, ISI (D)

Toussaint, D.; Rotter, U. 1995

Aufbereitung von Altfluxen aus Feuerverzinkereien

[AC-Kolloq].

J. Schultes, R. Degel

Moderne Proze • route zur Erzeugung neuer Flachprodukte (Vortrag 23)

12. Aachener Stahl Kolloquium 19.-20.6.1997

[algoma.com].

Website, 1998

Direct Strip Production Complex (DSPC)

[Bed-95].

Beddows & Company, 1995

The EU Cold Rolled Strip Industry

[Bekaert94].

N.V. Bekaert S.A., 1994

Company Information on Wire Technology

[Bekaert98].

Bekaert, Bert Gielen, 1998

Personal Information from Bert Gielen on Purpose and a short description of processes in Wire Industry

[BG-Com].

Comunicación personal de Sr. Gielen, Bekaert

[BGielen 31.3].

Comunicación personal de Sr. Gielen, Bekaert

[BSW-WWT-90].

Prof. Dr. Schwandtner, 1990

BSW. Abwasserbehandlung (Stand Mai 1990)

Badische Stahlwerke Aktiengesellschaft

[CC-11/99].

Input from CC-Shadow Group. EUROFER

[CEAM].

Centro de Estudios y Asesoramiento Metalúrgico, 1995

La fabricación de tubos de acero en la Comunidad (Steel Tube Production in the Community)

[CET].

Comité Européen de la Tréfilerie, 1998

The european steel wire-drawing industry: description

[CET-BAT].

Comunicación personal de Sr. Bert Gielen

[Choice-Barr].

G. Choice, N. Barr

A continuous electrolytic preflux treatment unit

[CITEPA].

CITEPA, 1994

Technical Note on BAT to reduce emissions of pollutants into the air from hot and cold rolling mills in iron and steel industry,

[Com A].

Comentarios al 1º borrador de PMF de Austria

[Com2 A].

Comentarios al 2º borrador de PMF de Austria

[Com2 B].

Comentarios al 2º borrador de PMF de Bélgica

[Com BG].

Comentarios al 1er borrador de PMF de Bert Gielen

[Com2 BG].

Comentarios al 2º borrador de PMF de Bert Gielen

[Com BG2].

Comentarios al 1º borrador de PMF de Bert Gielen, adicional

[Com BG3].

Comentarios al 1º borrador de PMF de Bert Gielen, adicional

[Com-CC-2].

Comentarios al 1º borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Recubrimiento Continuo

[Com2 CC].

Comentarios al 2º borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Recubrimiento Continuo

[Com CR].

Comentarios al 1er borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Laminación en Frío

[Com2 CR].

Comentarios al 2º borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Laminación en Frío

[Com D].

Comentarios al 1º borrador de PMF de Alemania

[Com2 D].

Comentarios al 2º borrador de PMF de Alemania

- [Com DK].
Comentarios al 1er borrador de PMF de Dinamarca
- [Com E].
Comentarios al 1er borrador de PMF de España
- [Com EGGA].
Comentarios al 1er borrador de PMF de EGGA
- [Com2 EGGA].
Comentarios al 2º borrador de PMF de EGGA
- [Com FIN].
Comentarios al 1er borrador de PMF de Finlandia
- [Com2 FIN].
Comentarios al 2º borrador de PMF de Finlandia
- [Com HR].
Comentarios al 1er borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Laminación en Caliente
- [Com2 HR].
Comentarios al 2º borrador de PMF del Grupo Seguimiento de Laminación en Caliente
- [Com I].
Comentarios al 1er borrador de PMF de Italia
- [Com Karner].
Comentarios al 1er borrador de PMF, e-mail de Karner
- [Com NL].
Comentarios al 1er borrador de PMF de Holanda
- [Com UK].
Comentarios al 1er borrador de PMF de GB
- [Com2 UK Galv].
Comentarios al 2º borrador de PMF de los Galvanizadores de GB
- [Com VDMA].
Comentarios al 1er borrador de PMF de VDMA
- [Com2 Wedge].
Comentarios al 2º borrador de PMF del Wedge Group
- [Corus 31.8].
Comunicación personal de Corus
- [Cullivan-IG-97].
Cullivan, B.
Beta Control Systems Inc, USA, 1997
Zero Discharge Yields Enhanced Production

[Dan-EPA].

Danish Environmental Protection Agency, 1998

Personal Information from the Danish EPA on EU BAT for Ferrous Metal Processing

[Dammann].

Dr. Ing. E. Dammann

Anlagen nach dem Stand der Technik für die Prozeßwasserbehandlung in Warmwalzwerken und Stranggießanlagen

[Danieli].

Lordo, W.

Danieli Wean

Metal Bulletins International Coated Coil Conference, 1997

Flexible Hot Dip Galvanizing with In-line Pickling Process for Evolving Markets

[DFIU 96].

Rentz, O.; Püchert, H.; Penkuhn, T.; Spengler, T.

Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie

(Material Flow Management in the Iron and Steel Industry)

E. Schmidt Verlag, Berlin (1996)

[DFIU 98].

Rentz, O., 1998

BAT in the German Ferrous Metals Rolling Industry (Chapters 1-3)

[DFIU 99].

Rentz, O., 1999

BAT in the German Ferrous Metals Rolling Industry Final

[DK 30.6].

Comunicación personal de Dinamarca

[DK-EPA-93].

Batch Hot-dip Coating of Fabricated Steel Products

DK-EPA; BAT-note (1993)

[DK-EPA-98].

Danish Environmental Protection Agency, 1998

Personal Communication, on EU BAT for Ferrous Metal Processing

[EC Haskoning].

European Commission

Techno-economic Study on the Reduction Measures, Based on Best Available

Technologies, of Water Discharges and Waste Generation from Primary and Secondary Iron & Steel Industry

Final report prepared by Haskoning NL-Nijmegen (1993)

[EC Study].

C. Roederer and L. Gourtsoyannis

Coordinated study "Steel-Environment"

DG XII-EUR 16955 EN (1996)

[EGGA].

Input EGGA

[EGGA5/98].

European General Galvanizers Association, 1998

Briefing note on General Galvanizing industry

[EGGA/99].

EGGA, General Assembly 98, Gothenburg, Sweden

[EGGA7/99].

Comunicación personal de EGGA

[EGGA8/99].

Comunicación personal de EGGA

[EGGA7/00].

Comunicación personal de EGGA

[EGKS95].

European Coal and Steel Community (ECSC), 1996

ECSC Investments

[El-Hindi].

El-Hindi, L.

Fitertech, Inc. USA

A study in Waste Minimization Techniques for Modern Wire and Cable Facilities (Abstract)

[EPA-453].

National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Steel Pickling – HCl

Process Facilities and Hydrochloric Acid Regeneration Plants – Background Information for Promulgated Standards

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711, December 1998, No. EPA-453/R-98-010b

[ERM95].

ERM-Environmental Resources Management, 1995, Reference 1658

Technical Note on BAT to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from the Coating of Steel Coil

[ESCO1].

Stone, J.

Esco Engineering, 1998

The Whys and Hows of Waste Water Treatment for Picklers

[ESCO2].

Stone, J.

Esco Engineering, 1998

The Whys and Hows of Pickle Line Fume Scrubbers

[ESCO3].

Stone, J.

Esco Engineering, 1997

The Whys and Hows of Hydrochloric Acid Pickling

[ETSU-CS-263].

Kirk, J.

Good Practice Programme ETSU (Good Practice - Case Study 263) 1995

Hot charging practice for continuous steel reheating furnaces

[ETSU-FP15].

Best Practice Programme (New practice – Final Profile 15), 1991

Oxygen trim on a steel re-heat furnace

[ETSU-FP-64].

Best Practice Programme (New practice – Final Profile 64), 1992

Integral bed burners in a small continuous furnace

[ETSU-G76].

The Energy Technology Support Unit (ETSU), 1993

Continuous Steel Reheating Furnaces: Specification, Design and Equipment

[ETSU-G77].

The Energy Technology Support Unit (ETSU), 1993

Continuous Steel Reheating Furnaces: Operation and Maintenance

[ETSU-GIR-45].

Energy Efficiency Office, General Report No. 45, 1996

NOx Reduction Technology for Steel Reheating and Heat Treatment Furnaces

[ETSU-NP-54].

The Energy Technology Support Unit (ETSU), 1993

Dual-Fuel Regenerative Burners on a Large Re-Heating Furnace

[EUROFER 17.4].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER 31.3].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER 30.6].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER 2.7].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER 3.4].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER 6.9].

Comunicación personal de EUROFER

[EUROFER CC].

EUROFER, Task Group Coating, 1998

Technical note on the BAT to the Integrated Pollution Prevention and Control. Draft: Coating of Steel Coil Hot Dip Processes

[EUROFER CR].

EUROFER, Task Group Cold Rolling, 1998

Technical note on the BAT to the Integrated Pollution Prevention and Control. Draft: Cold Rolling Mill

[EUROFER HR].

EUROFER, Task Group Hot Rolling, 1998

Technical note on the BAT to the Integrated Pollution Prevention and Control. Draft: Hot Rolling Mill

[EUROSTAT].

Eurostat, 1993

The Iron and Steelworks Plants in the European Union

[Euro-Strategy].

EuroStrategy Consultants, 1995

The Community Wiredrawing Industry (Final Report)

[Fichtner].

Fichtner, 1994

Hessisches Vollzugs-programm zur durchführung des reststoffvermeidungs- und -verwertungsgebotes nach 5-I-3 bimschg

[FIN 28.3].

Comunicación personal de Finlandia

[Flem BAT].

P.Vercaemst, P.Van den Steen, R. Dijkmans, 1999

Best available Techniques (BAT) for Hot Dip Galvanising,
Vito, 1999/PPE/R/037

[fmp012].

UK, EA, 1993

Chief Inspector's Guidance to Inspectors, Process Guidance Note IPR 4/11 (Processes for the Manufacture or recovery of Nitric Acid and Processes Involving the Manufacture or Release of Acid-Forming Oxides of Nitrogen)

[GALVA-94-1].

W. Riekehof (Hosokawa Mikropul GmbH), 1994

Proceeding of Intergalva 1994

Emission control of air pollutants in Hot Dip Galvanizing Plants

[GALVA-97-1].

V, Hagebölling (Radebeul Gialvanizers)

Proceeding of Intergalva 1997

Zinkopal – A new dimension in corrosion protection for small parts

[Galv-BAT-E].

Fundación Entorno, Junio 1999

Instalaciones para la transformación de metales férreos (epígrafe 2.3.c)

[Germany 7.4].

Comunicación personal de Alemania

[HMIP].

Department of the Environment HMIP Commissioned Research (1993), DoE/HMIP/RR/066
Davy Consultants, Davy Energy and Environmental, Ashmore House, Stockton-On-Tees (1993)
Pollution Control for Casting and Shaping of Iron and Steel, Ferrous and Special Alloys

[HMIP-95-003].

R.M. Davies, J. Sykes, D.R. Williams
Inspectorate of Pollution, Department of the Environment, 1995, DOE/HMIP/RR/95/003
The Control of the Emissions of Oxides of Nitrogen from Certain Combustion Processes

[HR].

EUROFER, Task Group Cold Rolling, 1998
Technical note on the BAT to de Integrated Pollution Prevention and Control. Draft: Hot Rolling Mill, Chapter 2

[IISI].

IISI, 1997
Steel industry and the environment - technical and management issues

[Input-CR-1].

Input Cold Rolling Shadow Group,

[Input-HR-1].

Daniël Van Roosbroeck
SIDMAR N.V. 1999

[Karner-1].

Karner, W.; Hofkirchner, W.
Metallurgical Plant and Technology International 1996, Vol. 19; n° 2
Modern Pickling and Acid Regeneration Technology

[LUDL].

Pengidore A., Cserr, G. Jr.
Chemical Pickling Process at Alleghy Ludlum's n° 91 Anneal and Pickle Line
AISE annual convention, 1996, Vol. 1, pages 187 -198

[Metall94].

Pempera, F.G., Frommann, K.
Metallurgica, 1994
Turbulence Pickling Technology for Carbon Steel and Stainless Steel Strip (abstract)

[Met-Plant-Int-1-94].

Anstots, T. Giesa, D., Spieckermann, K., Wuppermann, C.D.
Metallurgical Plant and Technology International, 1994 . Vol. 17, n° 1
The New Annealing and Pickling Line for Wide Stainless Strip in the Krefeld Works of Thyssen Stahl AG

[Near-Net-Shape].

J.K. Brimacombe, I.V. Samarasekera
The challenges of thin slab casting
Near-Net-Shape Casting in the Minimills, Proceedings of the international Symposium 96, Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining

[N.Stone2].

J.N. Stone

49 th Annual Convention Wire Association International Toronto, 1979

Design your pickle line for pollution control

[Oekopol 7.9].

Comunicación personal de Oekopol

[OSMOTA].

Deuschle, A.,

OSMOTA Membrantechnik GmbH, Germany

AESF Conference on Environmental Control for the Surface Finishing Industry, 1993

Diffusion Dialysis - An Economical Technology for Recovery of Acids From Pickling Processes

[Pan-97].

European Commission, 1997

Panorama of EU Industry

[Piat 19.9].

Comunicación personal del la Asociación de Galvanizadores (Sr. Piatkiewicz)

[Rituper-1].

Rituper, R.

Iron and Steel Engineer 1995 Vol. 72; nº 11

High-Performance Effluent-free Pickling Plants with Fluid Bed Hydrochloric Acid Regeneration

[Rituper-93].

Dr. R. Rituper: Beizen v. Meatllen

Schrieffreihe Galvano technik

Eugen G. Leuze Verlag Saulgan 1993

[SIDMAR].

Comunicación personal de SIDMAR

[Sprang-IG-97].

Sprang, W.J.A.M.

Bammens Groep BV, Netherlands, 1997

New Separation Techniques for Galvanizing Plants

[SSAB].

G. Andersson

Pollution Prevention in the Hot Strip Mill

European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry

International Iron and Steel Institute 1995, pages 311 - 328

[STAT97].

Wirtschaftsvereinigung Stahl 1997

Statistical Year-book of the Steel Industry 1997

[Stone].

Neil Stone, J.

Economical fume control in pickle houses

[StTimes 6/93].

Saving energy in continuous reheat furnaces

Steel Times, June 1994, pages 267 - 268

[StuE-96-7].

Maximilian Zur und Gerhard Reimann, Dortmund, 1976

Anwendung von Zweistoff-Filtern zur Kreislauf-Wasserbehandlung in einem Warmbreitbandwalzwerk

Stahl und Eisen 96 (1976) Nr. 7

[StuE-111-3].

Dammann, E.; Uphoff, R.; Kucera, J. (1994)

Belüftete Feinzunderfäz zur Behandlung von Prozeß-wasser aus Stranggießanlagen und Warmwalzwerken

[StuE-113-10].

Arnold J., Gante, D., Hoffmann G.W., Meyer O.

Stahl u. Eisen 113 (1993) n° 10

Strategie und Anlagentechnik der Energiewirtschaft der Preussag Stahl AG

[StuE-114-1].

Klose, R.; Uphoff, R.; Kucera, J. (1994)

De-oiling of millscale sludge by a wet-mechanical procedure

StuE-114-9].

J. Szekely, G. Trapagada

Zukunftsperspektiven fuer neue Technologien in der Stahlindustrie

Stahl und Eisen 114 (1994) Nr. 9

[StuE-116-11].

U. Grobe, P. Jakobshagen W. Schupe

Stahl und Eisen 116 (1996) Nr. 11

Einsatz von Optimierungsrechnern an den Erwärmungsanlagen eines Rohrwalzwerkes

[StuE-117-5].

F. T. Münch

Stahl und Eisen 117 (1997) Nr. 5

Leistungssteigerung und Einsparung von Wärmeenergie bei er Warmbandherstellung

[StuE-118-2].

Claus Hendricks, Horst Michael Aichinger, Michael Joksich und Hans Peter Domels, 1988

Energieaspekte und gegenwärtiger Verbrauch an Energierohstoffen der Weltstahlerzeugung

Stahl und Eisen 118 (1998) Nr. 2

[StuE-118-5].

B. Eng., M. Albedyhl, C. Klinkenberg, H. Langner, H. Pircher and K. Wünnenberg

Stahl und Eisen 118 (1998) Nr. 5

Werkstoffliche Aspekte des Dünnbrammengießens

[Svedala].

M. Wallin, B. Schlittler

Novel Techniques for reclamation of Water and Scale-products in Steel Mill Operations

Svedala Industries, 1996

[Tech Metal].

Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie-Leipzig (1990)

Vortrag anlässlich der Mitgliederversammlung des Industrieverbands Feuerverzinken am 1997

[Theobald].

Theobald, W.

Hintergrundpapier zum Anhang 24 (Anforderungen an die Eisen- und Stahlindustrie) zur Rahmen-Abwasserverordnung nach § §§ § 7a Wasserhaushaltsgesetz

[UBA-Hähn-83].

Dietrich Hähn, 1983

Entwicklung einer fortschrittlichen Minderungs-technologie zur Luftreinhaltung an einer Feuerverzinkungsanlage

[UBA-Hoesch-87].

W. Ackermann, a-a. Kaskas, 1987

Altanlagenprogramm des Bundesministers des Innern

Verminderung der eEmissionen einer Feuerverzinkungsanlage für Fertigtelle

[UBA-Huster-85].

H-W. Lieber, H. Rasch, 1985

Altanlagenprogramm des Bundesministers des innern

Emissionsminderung durch Abgaserfassung und Abgasreinigung in einem Stückverzinkungsbetrieb

[UBA-Kloeckner-82].

G. Bastisch, 1996

Klöckner Stahl GmbH, Bremen

Investitionen zur Verminderung von Umweltbelastungen

Programm des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

[UK-5/98].

Andrew Bond

Environment Agency, 1998

British Steel Hot Dipped Tinning Process, Brierley Hill, West Midlands

[Ullman's].

Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5. edition

Steel

VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim Vol. A 25 (1994) 63-307

[SVHG].

Siegener Vereinkerei Holding GmbH, 1997

Vortrag anlässlich der Mitgliederversammlung des Industrieverbands Feuerverzinken am 1997

[Vanroosb 3.4].

Personal communication Vanroosbroeck

[VDI-RL-2579].

Verein Deutscher Ingenieure, 1988

VDI – Richtlinie 2579

Emission Control Hot-Dip Zinc Galvanizing Plants

[Vercaemst 27.7].

Personal communication Vercaemst

[Vercaemst 30.3].

Personal communication Vercaemst

[Weigel].

Personal Communication

Stahl werke BREMEN

Anlage-Nr.: 3.5

[Welzel].

Welzel, K.

Maßnahmen zur Emissionsminderung bei Feuerverzinkungsanlagen

100(1979) H.11 Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik gi S 10/340

[WireInd-10-97].

Sanders, N.J.

Wire Industry, 1997 Vol. 64 n° 10; issue 766

Hydrogen Peroxide Technology for NOx Suppression and Nitric Acid-free Pickling of Stainless Steel Wire and Wire Production

[WOLL].

Woll, R.

ZF-Getriebe GmbH

Betriebsinterne Entsorgung von Hühlschmieremulsionen Durch Kombination von Organischer Vorspaltung und Mehrstufiger Membrantechnik - Abwasserfrei und Abfallminimiert

ISBN 84-8320-342-1



9 788483 203422

P.V.P.: 26,00 €
(I.V.A. incluido)



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE