

IDENTIFICACIÓN DE LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD) SECTOR GALVANIZADO

La identificación fue guiada a través del cumplimiento de las características inherentes a una MTD, definidas en la Ley 16 /2002 de la Comunidad Europea¹ 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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”.

El primer paso para la identificación de una MTD está determinado por el cumplimiento de los aspectos señalados en el anexo 4 de la Ley anteriormente señalada, los que consideran criterios de:

Sustentabilidad

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de las técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso y de los residuos cuando proceda.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones que se trate.
- Consumo y naturaleza de las materias primas (incluida el agua) utilizadas en procesos de eficiencia energética.
- Necesidad de prevenir o reducir al mínimo el impacto global de las emisiones y de los riesgos en el medio ambiente.

Mejora tecnológica

- Procesos, instalaciones o método de funcionamiento comparables que hayan dado pruebas positivas a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.

Aspectos técnicos y logísticos

- Sistema de control y cuantificación de la generación.
- Competencia del personal encargado del control de generación y del personal de producción.
- Fecha de entrada en funcionamiento de las instalaciones nuevas o existentes.
- Plazo que requiere la instauración de una mejor técnica disponible.

Inicialmente se caracterizó detalladamente la problemática productivo ambiental a abordar, para posteriormente definir la o las MTD que permitan resolver dicha situación. La metodología requiere de un diagnóstico acabado de los procesos, analizando aspectos productivos y ambientales, a fin de determinar brechas existentes, ligados fundamentalmente a pérdidas, generación de residuos y emisiones. A partir del diagnóstico fue posible identificar alternativas de MTD que permiten reducir las brechas identificadas. El paso siguiente es evaluar dichas

¹ Esta Ley tiene por objeto evitar, o cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente.

alternativas en detalle, utilizando criterios de tipo técnico y logístico, ambiental, legal, económico, y otros relevantes, que permiten realizar la selección definitiva de la MTD más apropiada a cada empresa, además de considerar la jerarquía de producción limpia, que da énfasis a la prevención y la minimización (ver Figura 1).

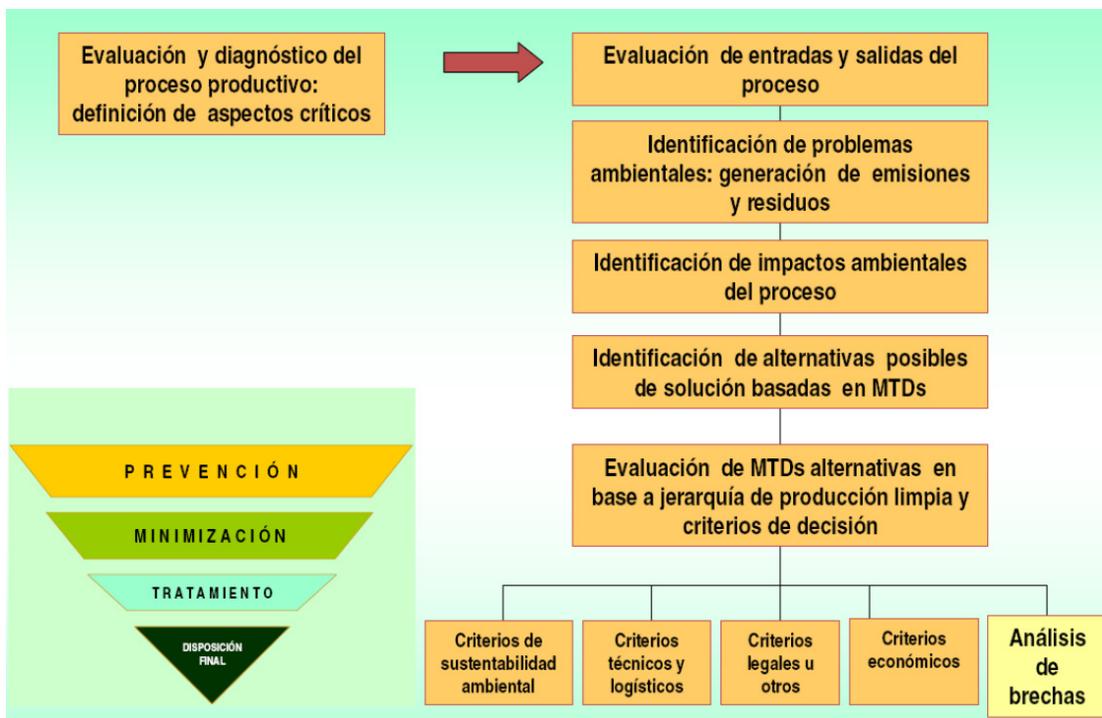


Figura 1 Metodología de identificación de MTD

Fuente: elaboración propia

En comparación con otras técnicas disponibles empleadas para una determinada operación, una MTD supone un beneficio ambiental significativo en términos de ahorro de recursos y/o reducción del impacto ambiental producido². Luego, la MTD debe estar disponible en el mercado y ser además compatible con productos de calidad, cuya fabricación no suponga riesgo a la salud.

Finalmente, una técnica no podría considerarse MTD si fuera económicamente inviable para una industria. En este sentido, es conveniente recordar que en las instalaciones antiguas, un cambio de tecnología es una inversión costosa, no siempre posible de incorporar, mientras que en nuevas instalaciones es más lógico considerar la fuerza de la nueva normativa y fomentar la adopción de técnicas productivas respetuosas con el medio ambiente.

Por lo anterior, la evaluación económica determina la factibilidad de implementar una técnica en función de su inversión, costos de implementación, operación y los ahorros o ingresos resultantes de su aplicación, lo cual depende muchas veces de las condiciones de cada instalación que plantee aplicarlas, nivel tecnológico y en algunos casos su ubicación geográfica.

Los beneficios de la inclusión de MTD dicen relación con una mayor eficiencia, menores costos de control de la contaminación y finalmente una mejor calidad de vida:

- **Reducción de costos operacionales:** ahorro de materiales, energía y mano de obra asociada usualmente en el manejo de residuos.
- **Reducción de costos de transporte y disposición de residuos:** reducción del volumen de residuos emitidos o generados por la industria
- **Reducción de la responsabilidad al largo plazo:** disminución de la responsabilidad adquirida por los residuos peligrosos dispuestos fuera de la industria..
- **Mayor seguridad laboral:** al reducir el potencial de exposición a los residuos peligrosos, lo cual puede disminuir casos de accidentes, gastos médicos asociados y pérdida en la producción.

A continuación se identifican las MTD propuestas preliminarmente para el sector galvanizado, clasificadas por operación principal, las que están basadas tanto en información entregada por las empresas como en documentos de MTD desarrollados a nivel internacional³. Posteriormente, cada una se detalla dentro del capítulo, considerando sus principales características. Es importante mencionar que varias de ellas ya han sido incluidas por algunas de las instalaciones diagnosticadas.

Tabla 1 Resumen de MTD identificadas

DESCRIPCION DE LA MTD			PRINCIPALES IMPACTOS					
Etapa	Medidas	Objetivo	Reducción consumo agua	Reducción consumo químicos.	Reducción consumo energía	Reducción arrastre	Reducción residuos	Aumento potencial valorización
General	Buenas prácticas	Reducen pérdidas, optimiza uso de materiales e insumos	X	X	X		X	X

² Fuente: Ministerio del Medio Ambiente España 2005.

³ Fuente: CE-MMA 2006, IHOBE 2000, MMAMRM 2009

DESCRIPCION DE LA MTD			PRINCIPALES IMPACTOS					
Etapa	Medidas	Objetivo	Reducción consumo agua	Reducción consumo químicos.	Reducción consumo energía	Reducción arrastre	Reducción residuos	Aumento potencial valorización
Trasporte piezas	Optimización de uso de soportes para piezas metálicas	Evitar contaminación del baño por caída de piezas y reducir arrastre	X	X		X	X	
Trasporte piezas	Uso de tambores o contenedores perforados para el procesamiento de pequeñas piezas	Evitar derrame o arrastre de solución	X	X		X	X	
Enjuague	Optimización del uso de baños de enjuague	Disminuir el consumo de agua y reducir el arrastre mediante sistemas de enjuague en cascada o estancos	X	X		X		
Enjuague	Sistemas medición consumo y calidad de agua de proceso	Controlar el consumo y características del agua para evaluar alternativas de minimización	X				X	
Enjuague	Sistemas reutilización de agua	Reutilizar agua para minimizar consumo de agua fresca	X				X	
Baños de proceso y enjuagues	Aplicación de sistema de agitación en los baños	Optimizar proceso y tiempo de enjuague	X	X		X		
Baños de solución	Control de temperatura de los baños	Asegurar la temperatura óptima de los baños			X	X		
Baños de solución	Control de las pérdidas de calor en los baños que requieren temperatura alta	Reducir las pérdidas de calor en soluciones de proceso (que requieren alta temperatura)			X	X		
Baños	Control de la viscosidad de la solución de los baños	Reducir el arrastre entre baños	X	X		X		
Baño de Decapado	Aumento vida útil de baños de decapado	Alargar la vida de los baños de decapado mediante inhibidores del decapado		X			X	
Baño de Decapado	Optimización de la concentración de ácido	Reducir el consumo de ácido		X			X	
Baño de fluxado	Regeneración de baños de fluxado	Reducir el consumo de sales de fluxado y aumento de vida útil		X				
Baño de galvanizado	Minimización del uso de zinc utilizado en el baño de galvanizado	Reducir el consumo de zinc mediante minimización y valorización de mate, salpicaduras y ceniza de zinc		X				
Gestión de residuos	Segregación de residuos	Optimiza condiciones para valorización						X
Gestión de residuos	Procedimientos de manejo de residuos no peligrosos	Optimiza condiciones para valorización						X
Gestión de residuos	Procedimientos de manejo de residuos peligrosos	Asegura un adecuado manejo y destino final de estos residuos.						X
Gestión de residuos	Recuperación externa del ácido clorhídrico en baños de decapado agotados	Reducir la disposición de los residuos generados						X
Gestión de residuos	Recuperación de compuestos de hierro y de cinc presentes en los baños de decapado agotados	Reducir la disposición de los residuos generados						X
Todas	Segregación de los residuos	Aumentar la cantidad de residuos con posibilidades de reutilización o reciclaje						X
Gestión de emisiones atmosféricas	Sistemas de extracción localizada	Control de emisiones de vapores						

DESCRIPCION DE LA MTD			PRINCIPALES IMPACTOS					
Etapa	Medidas	Objetivo	Reducción consumo agua	Reducción consumo químicos.	Reducción consumo energía	Reducción arrastre	Reducción residuos	Aumento potencial valorización
Gestión de emisiones atmosféricas	Técnicas de referencia para el control de emisiones	Control de emisiones de humos, gases y polvo					X	

1 Buenas Prácticas Aplicables al Proceso en General

La implementación de buenas prácticas aplicables al proceso se basa en la incorporación de una serie de procedimientos destinados a mejorar y optimizar el proceso productivo en forma integral y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos.

Las MTD basadas en buenas prácticas son un conjunto de recomendaciones sencillas y respetuosas con el medioambiente y con la gestión empresarial. Su fin es, además de preservar el entorno natural, ayudar a que las organizaciones asuman el medioambiente como un factor positivo, a fin de optimizar la productividad y ahorrar tiempo y recursos. Normalmente no requieren cambios tecnológicos y, por tanto, son técnicas que se incorporan en el proceso sin necesidad de cambiar ningún aspecto del mismo. Los costos de implementación son bajos (normalmente asociados a capacitación para incorporar procedimientos apropiados) en comparación con los ahorros que es posible lograr al optimizar el uso de recursos (materia prima, insumos, energía, entre otros). Por lo anterior son medidas fácil y rápidamente asumibles.

Estas técnicas son aplicables a cualquier empresa, independiente de su tamaño. Entre ellas se pueden mencionar e identificar las siguientes:

Buena Práctica Propuesta

SELECCIÓN DE INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> Solicitar siempre fichas técnicas y hojas de seguridad. Reevaluar la cantidad de materiales usados. Sustituir materiales peligrosos, ahorra costos de manipulación, almacenaje y gestión de residuos. Gestionar la devolución del material de envase y embalaje o vender a terceros.
MANEJO DE INVENTARIOS
<ul style="list-style-type: none"> Controlar la rotación FIFO “lo primero que entra o se produce es lo primero que sale”, mediante formatos con fechas y números de lote y compra. Controlar los materiales para que no caduquen por tiempo o cambio de línea de producción.. Utilizar mejor los espacios: reducir el número de recipientes parcialmente llenos (reagrupar), reducir el número de envases usados. Implementar pedidos justo a tiempo para que la mayor cantidad de materia prima y producto pase directamente al proceso o al cliente.
ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIALES Y RESIDUOS
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar las condiciones de calidad del material que ingresa al proceso El almacenamiento de materiales a procesar debe evitar condiciones que aumenten su oxidación El almacenamiento de productos químicos incompatibles debe hacerse en zonas diferentes. Almacenar los insumos y materiales según lo indique el fabricante

<ul style="list-style-type: none"> • Ordenar los recipientes según su peligrosidad y grado de utilización en el área de almacenamiento. Las etiquetas de todos los recipientes de residuos deben ser legibles y claras
<ul style="list-style-type: none"> • Mantener todos los recipientes y envase completamente cerrados (herméticos).
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar a todos los trabajadores en materia de detección, contención y saneamiento de emergencia de escapes de sustancias almacenadas
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar ventilación o un sistema de extracción, para garantizar recirculación de aire.
<ul style="list-style-type: none"> • Transportar los cilindros de gas (oxígeno, acetileno) en forma vertical y mediante carros, ajustando la tapa de protección de los cilindros
<ul style="list-style-type: none"> • No almacenar cilindros cerca de líneas de alta tensión o sistemas calientes, tuberías de vapor, calentadores o material combustible
<ul style="list-style-type: none"> • El sitio debe ser suficientemente grande (para clasificar residuos y almacenarlos temporalmente en contenedores diferentes), techado (para evitar que con las lluvias se lixivien sustancias contaminantes y lleguen al drenaje de aguas residuales), y debe tener buena iluminación, libre de obstáculos, limpio y ordenado para facilitar el manejo y transporte de materiales
<ul style="list-style-type: none"> • Si se generan cantidades importantes de residuos, se debe designar a un responsable para su gestión.
<ul style="list-style-type: none"> • El transporte de residuos dentro de la planta, de ser posible lo debe realizar la misma persona, reduciéndose el riesgo de colocar residuos en contenedores equivocados.
PREVENCIÓN DE FUGAS Y DERRAMES
<ul style="list-style-type: none"> • Usar los recipientes recomendados por el fabricante de las materias primas.
<ul style="list-style-type: none"> • Asegurarse que todos los recipientes sigan un programa de mantenimiento y que se encuentren en buenas condiciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Almacenar materiales peligrosos en áreas de menor probabilidad de drenaje.
<ul style="list-style-type: none"> • Definir zonas de contención alrededor de estanques y áreas de almacenamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Definir procedimientos operativos y administrativos para las actividades de carga, descarga y transferencia de materiales.
<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar informes de todas las fugas y sus costos asociados.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar estudios de prevención de fugas durante las fases de diseño y operación de la empresa.
MANTENIMIENTO PREVENTIVO
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar inspecciones periódicas de maquinaria, equipos e instalaciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Programar Mantenimiento Preventivo, revisiones y mejoras.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar capacitación programada del personal de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar especificaciones técnicas para reposición o adquisición de nuevos equipos y maquinaria, considerando mayores rendimientos y menores consumos
<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar lubricantes que cumplan estándares y establecer rutas de lubricación.
<ul style="list-style-type: none"> • Sistematizar el Programa de mantenimiento, Hojas de Vida, órdenes de Trabajo, Instructivos de Reparación y Manuales del Fabricante.
<ul style="list-style-type: none"> • Programar y manejar el presupuesto de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Solicitar herramientas, piezas y accesorios de calidad y mantenerlos en óptimas condiciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Después de efectuar reparaciones en equipos, se les deben realizar inspecciones y pruebas de funcionamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar seguimiento de los costos de mantenimiento para cada equipo incluyendo los residuos y emisiones generadas
INSTRUCTIVOS DE OPERACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar procedimientos de operación por puesto de trabajo que incluyan autocontrol en la operación, condiciones de seguridad industrial, condiciones de la herramienta, limpieza y buen manejo de equipos.
<ul style="list-style-type: none"> • Descripción general del proceso y específica de los trabajos relacionados por lote de producción.
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer procedimientos ante una emergencia.
<ul style="list-style-type: none"> • Mantener registros actualizados de los residuos y emisiones generados por línea de producción y los costos asociados
<ul style="list-style-type: none"> • Mantener al día las especificaciones técnicas y de seguridad de materiales, maquinaria y equipos.
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar una evaluación previa del material de entrada a un proceso con el fin de evitar el reprocesamiento de material que no cumple con las especificaciones

<ul style="list-style-type: none"> • Evitar el funcionamiento innecesario de equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar las condiciones de operación de los equipos y hacer las correcciones que sean necesarias. Implementar programas de mantención preventiva.
<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar la ubicación de los equipos para evitar grandes distancias de transporte
<ul style="list-style-type: none"> • Llevar registros de los consumos por equipo

A fin de ejemplificar más detalladamente las buenas prácticas identificadas previamente, a continuación se describen algunas de ellas.

Mantenimiento preventivo

La técnica se basa en buenas prácticas orientadas al desarrollo de acciones de mantención preventiva en contraposición a la mantención correctiva (reparaciones), lo cual permite reducir fallas y tiempos muertos, aumentando la eficiencia del proceso, además de disminuir la generación de productos no conformes, reducir contaminación ambiental por eventuales derrames y además mejorar las condiciones de salud y seguridad laboral, entre otros.

El funcionamiento normal de los equipos y maquinaria provoca su desgaste, afectando a su rendimiento; esto incrementa el riesgo de mal funcionamientos, roturas, vertidos accidentales, entre otros, conllevando la generación de emisiones residuales. La definición y el establecimiento del programa de mantenimiento deben formar parte de un sistema de gestión ambiental.

El mantenimiento preventivo consiste en la inspección y limpieza periódicos de los equipos e instalaciones, incluyendo la lubricación, comprobación y sustitución de piezas desgastadas o en mal estado. Esto constituye, en sí mismo, una buena práctica para la prevención en origen de la contaminación.

El programa de mantención preventiva se basa en la experiencia de los operarios y la información histórica de los procesos, así como en los manuales de los equipos. Debe considerar objetivos y metas del programa, los equipos a incluir, parámetros y criterios de mantención, periodicidad de las evaluaciones, personal a cargo, procedimientos a aplicar, registros de evaluación y resultados y establecimiento de revisiones.

Entre las principales buenas prácticas que contribuyen a la correcta conservación de las instalaciones y minimización de residuos, tenemos:

- Elaborar planes y/o procedimientos de mantenimiento para cada equipo, con las instrucciones de su uso. Es importante que estos procedimientos se ubiquen en las inmediaciones de cada equipo y que detallen sus características, funcionamiento óptimo y mantenimiento adecuado. Además, cada plan debe incluir la frecuencia y el método de limpieza del equipo, la realización de pequeños ajustes, lubricación, comprobación del equipo y recambio de piezas pequeñas. También se debe tener un registro de las eventos producidos, de los mantenimientos realizados, fechas de revisiones, entre otros. Elaborar registros de incidencias para cada línea o área de producción donde anotar las eventos, derrames, paradas, entre otros, y que pueden afectar al proceso y/o provocar una generación innecesaria de residuos.
- Informar y formar al personal encargado del mantenimiento, para que se ajuste a los

procedimientos escritos y respete la periodicidad establecida para los controles y revisiones.

- Para determinados elementos y equipos auxiliares (aparatos de combustión, equipos e instalaciones a presión, equipos de transporte, etc.) es preferible subcontratar el mantenimiento preventivo de forma externa, a una empresa especializada.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo energía
- Reducción consumo insumos

Inversión/Costos

La técnica tiene una inversión asociada relacionada al desarrollo del programa, la que puede cubrirse con personal propio, o a través de asesoría externa. Los ahorros logrados se orientan a mejorar la eficiencia y productividad.

Uso de sistemas de medición y reducción de consumo eléctrico

Varias son las alternativas para reducir el consumo eléctrico; siendo éste uno de los principales costos productivos dentro del sector. Las principales acciones recomendadas son:

- Minimizar las pérdidas de energía reactiva, mediante su control anual, asegurándose de que el $\cos \phi$ del cociente entre el voltaje y los pick de corriente se mantiene permanentemente por encima de 0,95.
- Realizar regularmente, mantenimiento de los rectificadores y los contactos del sistema eléctrico.
- Instalar rectificadores con el menor factor de conversión posible.
- Evaluar el instalar equipos eléctricos (motores, bombas, etc.) que sean energéticamente eficientes.
- Trabajar con los baños de proceso en las condiciones óptimas de funcionamiento (composición, concentración, temperatura, pH, entre otros).
- Mantener la demanda eléctrica por debajo de la potencia contratada, para asegurar que las puntas de carga no exceden el máximo.
- Evaluar requerimientos de cambio a iluminación de bajo consumo (sistemas de inducción magnética o LED)

Con estas medidas, puede alcanzarse un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 10-20%.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo eléctrico en 10-20%

Inversión/Costos

La técnica tiene una inversión asociada relacionada al desarrollo del sistema de medición, la que puede cubrirse con personal propio, o a través de asesoría externa. Los ahorros logrados se orientan a mejorar la eficiencia y productividad.

Por ejemplo, es posible el reemplazo de focos de alumbrado halógeno general de 400 W por sistemas LED que consumen a lo menos 10 veces menos, cuya inversión puede recuperarse en poco más de un año.

Control de oxidación en el almacenamiento de Piezas Metálicas

La superficie de las piezas metálicas es susceptible de sufrir corrosión, bien sea durante su almacenamiento previo al tratamiento, como después del mismo, antes de su entrega al cliente. Evitar esta oxidación de las superficies permite reducir el impacto ambiental causado por los procesos de decapado o de reprocesado de piezas.

Los principales factores del ambiente que inciden en este proceso de oxidación son la humedad, temperatura y las atmósferas ácidas. Por ello, controlando estos factores se puede reducir el riesgo de oxidación de las superficies.

Para prevenir la oxidación de la superficie de la pieza puede llevarse a cabo una de estas medidas, o su combinación:

- eliminar o reducir el tiempo de almacenamiento entre operaciones,
- lograr una buena ventilación del área para controlar la humedad, temperatura y/o el pH de la atmósfera de almacenamiento,
- empaquetando las piezas con un material protector preventivo de las rozaduras y de la corrosión

También durante el almacenamiento, previo a la entrega del producto terminado, en lo posible, se debe proteger la superficie tratada, evitando su degradación o ensuciamiento.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de productos químicos (para el proceso de decapado)
- Reducción consumo de agua

Inversión/Costos

- Costo alto: bajo

Control del contenido de aceites y grasas en piezas metálicas

En determinados casos, es posible simplificar el desengrase de las piezas a tratar tomando en consideración las etapas previas de mecanizado y almacenaje. Es relevante poseer información de los tipos de grasas y aceites utilizados en las piezas mecanizadas. Se debe tener en cuenta que determinados aceites, pueden llevar en su composición productos inhibidores de la corrosión (tales como aminas, boratos, nitritos), o tóxicos (fenoles, formoles), complejantes (por ejemplo, EDTA, NTA), además de contener metales pesados (Mo, entre otros) o aditivos (azufrados, clorados, sulfonados, nonilfenoles, entre otros).

Para la instalación que solo realiza galvanizado y por tanto recibe las piezas mecanizadas de terceros, no es simple obtener esta información, pero se recomienda el conocimiento al menos de aquellos componentes tóxicos o que puedan dificultar el posterior tratamiento de las aguas residuales (consultar el tipo de productos utilizados).

En aquellos casos en los que la propia empresa lleva a cabo el mecanizado previo de las superficies a tratar, algunas posibilidades de reducción de aceites y grasas aplicados en las etapas de mecanizado de piezas son:

- usar lubricantes volátiles⁴
- utilizar aceites exentos de componentes tóxicos o peligrosos: nitritos, fenoles, compuestos clorados o fuertemente complejantes (EDTA, NTA)
- utilizar aceites en base vegetal (frente a los minerales)
- emplear la mínima cantidad de lubricantes

Las ventajas de esta medida son la reducción en el consumo de insumos de desengrase, reducción en el consumo energético del proceso y consumo de agua.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de insumos químicos (para el proceso de desengrase)
- Reducción consumo de energía
- Reducción consumo de agua

Adicionalmente, se ha desarrollado e introducido en varios procesos de galvanizado de piezas en Europa la operación de desengrase biológico posterior a un desengrase alcalino, donde las bacterias transforman los aceite en CO₂ y agua, bajo aporte adicional de nutrientes.

Las ventajas que se consiguen son una mejor humectación de la pieza en los decapados posteriores y un menor índice de rechazos, además de minimizar el arrastre de aceites a otras etapas del proceso

⁴ Tener presente que, en el caso que se empleen lubricantes volátiles, habrá que tener en consideración la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera.

2 Medidas generales para el transporte de piezas

2.1 Optimización del uso de soportes para piezas metálicas

En las líneas de los soportes, se deben disponer las piezas de tal forma que se minimice su sobrecarga, su pérdida y se maximice la eficiencia del paso. Asimismo, se recomienda la utilización de colgadores que reduzcan el fenómeno de arrastre. Otro aspecto a tener en cuenta es la sujeción de las piezas a fin de que:

- la superficie de la pieza reciba correctamente el baño en el proceso
- se minimice el arrastre
- se evite la caída de piezas, que podría incrementar la contaminación metálica del baño

A continuación, se indican algunos valores en relación a la posición y el arrastre:

Tabla 2 Relación posición de las piezas y arrastre

Posición de las piezas y tipo de escurrido	Arrastre por unidad de superficie (L/m ²)
Superficie vertical bien escurrida	0,016
Superficie vertical escurrida	0,08
Superficie vertical muy poco escurrida	0,16
Superficie horizontal bien escurrida	0,03
Superficie horizontal muy poco escurrida	0,40
Superficie cóncava, muy poco escurrida	0,32-0,97

En el caso de los soportes para piezas, se debe reducir en origen el arrastre de las soluciones de proceso por una combinación de las siguientes técnicas:

- Disponer las piezas en los soportes evitando la retención del líquido de proceso, colocándolas en ángulo o verticales y con las concavidades dirigidas hacia abajo.
- En instalaciones manuales, al sacar el soporte del baño, girarlo y moverlo para favorecer su escurrido; en instalaciones automáticas, pueden introducirse sistemas de vibración del bastidor sobre el baño, que favorecen el drenaje de líquido.
- Extraer lentamente la pieza; cuanto más rápida se hace la extracción del baño, más gruesa es la película que moja la superficie y que, por tanto, se arrastra hacia el enjuague siguiente.
- Dejar suficiente tiempo de escurrido según las condicionantes del baño. Debido al peso que deben soportar los operarios; en instalaciones manuales, es aconsejable colocar barras o cuelga bastidores sobre el baño en las que dejar descansar el bastidor extraído.
- Insertar una bandeja de escurrido o un estanque de transferencia para retener el arrastre, en el caso de que entre los estanques adyacentes exista un espacio importante o cuando se tenga que cruzar un pasillo.
- Retornar el exceso de solución de baño a su estanque mediante el uso de sistemas de enjuague por spray, niebla o aire; esto es factible para aquellos baños de proceso que tienen pérdidas de nivel de líquido por evaporación ($T > 40^{\circ}\text{C}$); al aplicar este tipo de enjuague sobre el propio baño, se consigue retornar gran parte del arrastre producido y se mantiene el nivel del baño;

con esta medida, se reduce el arrastre hasta un 30-50%.

- El retorno de arrastre al baño, además de ser factible mediante los enjuagues por spray de agua o de aire, puede alcanzarse mediante la implementación de estanques estanco de enjuague (ver sección 2.7.3), de recuperación (si el baño trabaja a una temperatura $>40^{\circ}\text{C}$ y tiene lugar la evaporación del mismo) o enjuagues tipo "ECO" (si la temperatura del baño es inferior a aquélla); con los enjuagues de recuperación se consigue recuperar y, por tanto, reducir, hasta un 70% del arrastre, en función de la temperatura del baño; en el caso de los enjuagues de tipo "ECO", la reducción del arrastre es del 50%.
- El tiempo de referencia de escurrido debe definirse para cada proceso en particular. Un valor de referencia comúnmente aceptado es 10 seg. **Como valor de emisión asociado se estima que, pasar de un tiempo de escurrido de 3 seg. a 10 seg. puede reducir el valor de arrastre en un 40%.**

Se deben tener las siguientes consideraciones al momento de optar este grupo de medidas:

- Se puede aumentar el tiempo del proceso al incrementar los tiempos de escurrido.
- En instalaciones manuales, puede haber dificultades para controlar los tiempos de escurrido.
- Se requiere formación permanente del personal.

Principales impactos de la medida

- Reducción de consumo de productos químicos.
- Reducción consumo de agua de enjuague 30%-50%.
- Reducción de arrastre en un 30%-50%.

Inversión/Costos

- Costo bajo: Si se requiere solo entrenamiento y cambio operativo dentro del proceso.
- Costo medio-alto: Si requiere cambio en el diseño de estanques.

2.2 Uso de tambores o contenedores perforados para el procesamiento de pequeñas piezas

Es fundamental diseñar y utilizar un tipo de tambor o contenedor de acuerdo al tipo de piezas a tratar, favoreciendo su escurrido; por ello, es importante disponer de diferentes tipos de contenedores para utilizarlos según el tipo de trabajo a desarrollar.

Como referencia, se considera que un tambor produce un arrastre 10 veces superior a un soporte, por unidad de superficie tratada⁵. En el caso de operaciones con tambor, en las que el nivel de arrastre es importante, se recomienda prevenirlo por una combinación de las siguientes técnicas:

- Inspeccionar periódicamente todas aquellas partes que puedan retener líquido del baño (sobre todo su interior así como los agujeros de escurrido).
- Controlar que los orificios y el grosor de las paredes sean óptimos para minimizar el efecto por capilaridad.
- Asegurar que los tambores presenten los orificios libres, evitando su obturación.
- Controlar que se dispone de la mayor proporción de agujeros para facilitar el escurrido, sin afectar su resistencia mecánica
- realizar mantenimiento periódico de los tambores.
- Al extraer el tambor del baño, hacer una extracción lenta para maximizar su escurrido.
- Girar unos 90º intermitentemente en ambos sentidos, una vez extraído, siempre y cuando el proceso lo permita.
- Insertar, bien sea manual o automáticamente, una bandeja de escurrido o un estanque de transferencia para retener el arrastre en el caso de que entre los estanques adyacentes exista un espacio importante.
- insertar tapajuntas inclinadas hacia el baño entre las estanques de la línea; de esta manera, se evita pérdida de líquido al suelo; asegurarse de que el material de los tapajuntas es adecuado a las características químicas del baño a recoger.
- Inclinarse el tambor hacia el baño, si es posible y el proceso lo permite.

El tiempo de escurrido debe definirse para cada proceso en particular. Sin embargo se sugieren tiempos superiores a 10 segundos, procurando girar el tambor sobre el baño, en los dos sentidos de giro, siempre que el proceso lo permita.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de productos químicos
- Reducción consumo de agua de enjuague 20%-30%
- Reducción de arrastre en un 20%-30%
- Menor concentración en aguas lavado

Inversión/Costos

- Costo bajo: Si se requiere solo entrenamiento y cambio operativo menor dentro del proceso
- Costo medio-alto: Si requiere cambio en el diseño de estanques

⁵ Valores de referencia del arrastre, dependiendo de la pieza y del electrolito:

- Superficies planas y contorneadas: 0,05-0,10 l/kg
- Superficies cóncavas: 0,10-0,30 l/kg

3 Enjuague

3.1 Optimización del uso de baños de enjuague

Independientemente del sistema de enjuague de que disponga la empresa, es posible mejorar la eficacia del lavado y, en ocasiones, reducir el consumo de agua.

Las acciones propuestas son:

- Controlar el tiempo de contacto entre la superficie a lavar y el agua en el estanque; la eficacia del enjuague se incrementa con un tiempo de contacto suficiente entre agua y superficie a lavar; habitualmente, es necesaria la experimentación para establecer el tiempo de enjuague más adecuado.
- Disponer la entrada y salida de los conductos del agua en los estanques de manera tal que la renovación de la misma sea máxima; esto se consigue colocando el tubo de entrada de agua, en un extremo del estanque, hasta el fondo, mientras que la salida debe ubicarse en el extremo opuesto del estanque, en la superficie; además, para que el desagüe sea efectivo, como la entrada de agua tiene cierta presión, es recomendable disponer una salida amplia en forma horizontal; con esta medida, se mejora hasta un 50% la eficacia del enjuague, obteniéndose reducciones del consumo de ese mismo orden. Sin embargo, en estanques muy largos donde la distancia entre la entrada y la salida de agua es considerable (distancia superior a 4 m), esta medida no tiene demasiado efecto sobre la renovación del enjuague, ya que el tiempo de permanencia del agua es alto produciéndose una buena mezcla del enjuague con el paso de las piezas.
- Provocar una pequeña turbulencia del agua de enjuague para provocar un enjuague más eficaz, por ejemplo, aportando aire en el fondo del estanque; la mejor técnica para incrementar la eficacia del enjuague por agitación es mediante burbujas de aire; de esta manera, se consigue retener los compuestos en el agua, evitando su arrastre hacia el siguiente estanque del proceso.
- Disponer de suficiente volumen de agua durante el tiempo de contacto entre la superficie y el sistema de enjuague; además del tiempo de contacto, es importante un volumen de agua suficiente para tener un enjuague eficaz.

La combinación de estas acciones mejora la eficacia de las operaciones de enjuague y contribuye a disminuir la cantidad de agua necesaria, permitiendo reducciones del consumo de agua del orden del 20-50% mediante la combinación de estas técnicas.

En términos específicos, existe una relación directa entre arrastre y el caudal de enjuague requerido (o, lo que es lo mismo, necesidad o calidad de enjuague); esto es, cuantas veces hay que diluir en un enjuague una determinada especie química de un baño para evitar la contaminación de otros baños o su acción sobre la superficie de la pieza. Aumentar el caudal de enjuague no es el único medio disponible para mejorar la calidad del enjuague. También se consigue reducir el caudal de enjuague disminuyendo el arrastre.

Por ello, la definición de un enjuague eficiente es aquel en el que se lava respetando la calidad de enjuague definido o impuesto por el proceso, con la mínima cantidad de agua (independientemente de límites en su consumo). Así, el control de la calidad del enjuague se traduce en controlar dos variables: minimizar el consumo de agua y disminuir el arrastre de baño hacia los enjuagues.

La relación entre las variables señaladas es la siguiente:

$$Rd = \frac{Q}{q} = \frac{C_0}{C_r}$$

Dónde:

Q = caudal de agua de enjuague (L/h)

q = arrastre (L/h)

Rd = razón de dilución (calidad de enjuague requerida)

C₀ = concentración en el baño previo

C_r = concentración en el enjuague

Los valores de Rd en baños de desangrase o decapado pueden oscilar normalmente entre 500 y 2000. La calidad de enjuague es inversamente proporcional a la concentración del baño y a la carga de trabajo procesada (arrastre); si se mantiene el caudal de enjuague constante, cuanto más concentrado el baño, como consecuencia del arrastre, menor calidad de enjuague y, cuanto más carga de trabajo y/o superficie tratada, también por ello, se reduce la calidad del enjuague.

En resumen, se debe:

- establecer, empíricamente, los diversos valores de arrastre producidos según las piezas tratadas mayormente,
- determinar la calidad de enjuague necesaria para cada operación de lavado,
- ajustar el caudal de enjuague según lo anterior, con lo cual éste será variable, en función del arrastre producido,
- implementar, en la medida de lo posible, estructuras y sistemas de enjuague que reduzcan el caudal necesario, siempre y cuando no supongan un incremento en la concentración de determinadas sales o de la conductividad del efluente vertido.

A continuación se detallan distintos sistemas de enjuague y su efecto en el consumo de agua. Se considera como punto de referencia las condiciones de un enjuague simple (un único estanque de lavado después de un baño de proceso), que la mezcla del arrastre en el agua es completa y prácticamente instantánea (aspecto éste que no siempre es cierto), por lo que, en todos los casos, se recomienda:

- Agitación vigorosa del enjuague con aire, si no provoca excesiva espuma del arrastre de los tensoactivos de la tina precedente.
- Introducir el agua limpia por el fondo de la tina.
- Fijar la salida del agua sucia en el extremo opuesto al de la entrada.

Se debe tener en cuenta que reducir el consumo de agua de proceso mediante la optimización de los sistemas de enjuague implica un aumento de la concentración en sales de difícil

precipitación (y, por tanto, de la conductividad) en el efluente final. Por este motivo, será necesario estudiar en cada caso concreto las posibilidades de reducción del caudal en relación a los niveles de vertido para las diferentes sales y conductividad. En caso necesario, deberá optarse por otras técnicas para reducir el consumo de agua, sin que ello suponga un incremento de la concentración de sales en el efluente generado, como pueden ser las técnicas de reducción o recuperación del arrastre.

a) Enjuague cascada múltiple

Los sistemas de enjuague múltiples son los más adecuados para reducir el consumo de agua, manteniendo la calidad de enjuague requerida. Los valores de reducción de consumo de agua, respecto a enjuagues simples, son del orden del 95% o superiores.

Entre los diferentes sistemas múltiples, se recomienda aquellos que funcionan en cascada a contracorriente. El sistema consiste en hacer entrar agua limpia por la última posición del enjuague y hacerla pasar en cascada hasta el primer estanque, desde donde el agua se vierte (o, si es factible, se recupera devolviéndola al baño de proceso para compensar las pérdidas por evaporación). El sentido de las piezas es contrario al de la entrada de agua; por ello, el sistema se denomina “en cascada a contracorriente”.

En este caso, el caudal de agua necesario viene dado por la siguiente expresión, donde n corresponde al número de tinas conectadas en el sistema:

$$Q = q^n \sqrt{Rd}$$

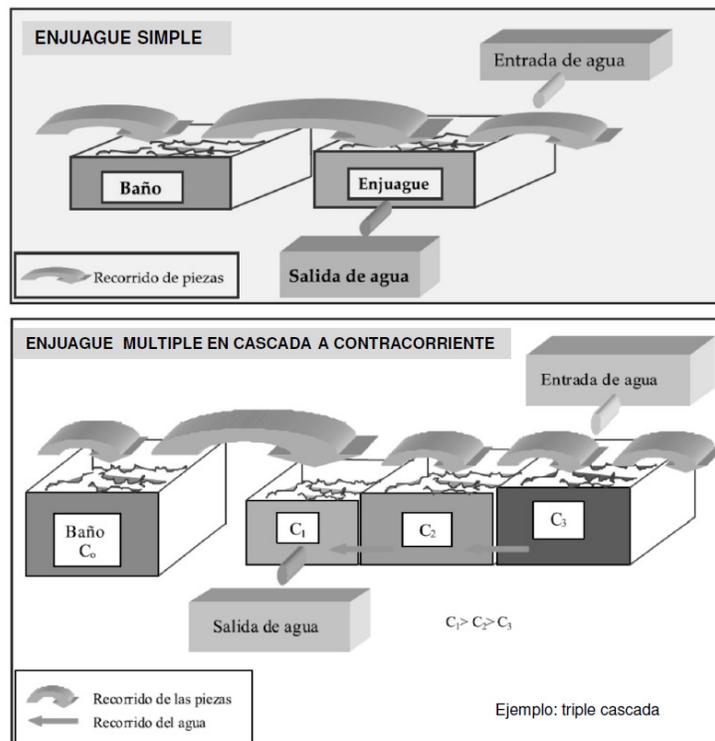


Figura 2 Sistema de enjuague simple y en cascada a contracorriente

Fuente MMAMRM 2009

A continuación, se indica, a modo comparativo, la reducción de consumo de agua lograda en función del número de tinas de enjuague:

Tabla 3 Reducción de consumo de agua según sistema enjuague

Sistema de enjuague	Caudal de enjuague Q (L/h)	Porcentaje reducción caudal respecto enjuague simple (%) *
Simple	2.000	0%
Doble en cascada	44	97.8%
Triple en cascada	12	99.4%
Cuádruplo en cascada	5,7	99.7%

(*): Suponiendo un arrastre, $q = 1$ L/h y un $Rd=2000$ Fuente MMAMRM 2009

En el caso de enjuagues múltiples en cascada a contracorriente, el caudal de enjuague se reduce drásticamente entre la primera y segunda posición de enjuague. Con lo que, habitualmente, se consiguen suficiente reducción del caudal de enjuague con solo dos posiciones de lavado. En contrapartida, estos sistemas de enjuague incrementan la concentración del efluente generado.

Tabla 4 Caudal de enjuague necesario según operación

Operación	Rd	Caudal de agua según sistema enjuague (L/h)		
		Simple	Doble	Triple
Desengrase	500-1000	500-1.000	22-32	8-10
Decapado	1000-2000	1.000-2.000	32-45	10-13

Fuente MMAMRM 2009

Recuperación de arrastre:

Para la recuperación del arrastre se propone el enjuague en cascada a contracorriente en circuito cerrado. Estos son enjuagues de recuperación conectados en cascada a contracorriente con retorno del primer enjuague hacia el baño, para procesos que trabajan en caliente. Ajustando el caudal el caudal de recuperación de tal manera que se compensen las pérdidas por evaporación del baño, el valor de recuperación del arrastre está por sobre el 80-90%. El consumo de agua queda reducido a las pérdidas por evaporación del baño; no hay vertido de aguas residuales.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de agua de enjuague en más de 95% comparado con enjuagues simples
- Reducción de arrastre sobre el 80%
- Reducción consumo de productos químicos
-

Inversión/Costos

- Costo medio-alto: En función de la instalación de nuevos estanques

b) Enjuague estanco (estático)

El sistema consiste en ubicar uno o más enjuagues estáticos después del baño, sin aporte en continuo de agua. Periódicamente debe procederse a vaciar la primera posición de enjuague y

rellenarla con el contenido de la segunda y ésta con la de la tercera, y así sucesivamente. El volumen vaciado del primer enjuague, el más concentrado, se almacena en un depósito y, si es posible, puede emplearse para compensar las pérdidas por evaporación del baño (si éste trabaja a $T > 40^{\circ}\text{C}$).

Debido a que retiene buena parte del arrastre del baño de proceso, además de reducir el consumo de agua en enjuagues posteriores, permite la recuperación del arrastre. Por lo general, mediante esta técnica, la reducción del arrastre es del orden del 70%, dependiendo de la capacidad de devolución de líquido recuperado al baño original.

Los valores de concentración que se alcanzan con este enjuague, dependiendo de la temperatura de evaporación del baño, suelen situarse entre el 10-20% de la concentración del baño. Ello se traduce, en necesidades de consumo de agua del enjuague siguiente un 80% inferiores (1/5) a las que habría sin el estanque de recuperación.

Esta técnica es especialmente recomendada cuando, la implementación de enjuagues múltiples en cascada, puede suponer un incremento excesivo de la concentración de sales de difícil precipitación en el efluente y, por tanto, un incremento excesivo de la conductividad.

Esta recuperación del arrastre, será superior si la evaporación del baño es mayor (el baño trabaja a mayor temperatura) o, si hay más de un enjuague estanco.

A continuación, se indica, a modo comparativo, la reducción de consumo de agua lograda en función del sistema de enjuague

Tabla 5 Reducción esperada con enjuague estanco

Sistema de enjuague	Caudal de enjuague Q (L/h)	Porcentaje reducción del caudal respecto enjuague simple (%) [*]
Simple	10.000	0%
Enjuague estanco + enjuague simple	2.000	80%
Doble enjuague estanco + enjuague simple	400	96%

(^{*}): Suponiendo un arrastre, $q = 10 \text{ L/h}$ y un $R_d = 1000$ Fuente MMAMRM 2009

Este sistema, a diferencia del enjuague de cascada múltiple, tiene el inconveniente que va empeorando progresivamente la calidad de los enjuagues, hasta que se produce el vaciado del primero y el trasvasije y reposición con agua limpia del último. Por ello, se recomienda realizar esta operación diariamente o, mejor aún, de forma automática en continuo.

Al tratarse de un enjuague sin renovación del agua, es importante aplicar algún tipo de agitación del agua para mejorar la eficacia de lavado; esta medida no es necesaria para instalaciones a tambor, en los que el movimiento del agua es producido por el propio tambor al entrar al estanque.

A diferencia del enjuague múltiple en cascada, en el que existe un vertido de agua, el uso de enjuagues estancos de recuperación también permite reducir el caudal de enjuague (en menor volumen) y, en contrapartida, no produce aumentos de concentración en las sales o conductividad del efluente. Lo anterior, se produce debido a que además de reducir el caudal de enjuague, este

tipo de lavado reduce en gran medida el caudal de arrastre, siendo éste el responsable de la aportación de contaminantes (y de sales) al agua de lavado.

Recuperación de arrastre

Este sistema permite la recuperación de sales para baños de proceso en caliente; el enjuague se va concentrando de las sales procedentes del baño de proceso y llega a situarse a una concentración del 10-25% de la del baño. Para compensar las pérdidas por evaporación del baño, se recupera el líquido de este estanque de recuperación. Un estanque de enjuague por recuperación puede recuperar un 70% del arrastre producido. El volumen a retornar viene determinado por el rango de evaporación del baño, así como la velocidad de extracción del aire sobre el baño, la agitación del mismo, entre otros. Como consecuencia, se debe aplicar de técnicas de aspiración de gases y vapores y de eficiencia de lavado. Por este motivo, sólo puede aplicarse en baños que trabajan a cierta temperatura (superior a los 40 °C); de otro modo, para evitar que el enjuague estanco alcance concentraciones cercanas a las del propio baño, se debe retirar periódicamente una pequeña cantidad de líquido, aportando agua limpia; el líquido extraído debe entonces almacenarse y gestionarse en forma de residuo peligroso.

Algunas empresas son reticentes al uso de los enjuagues estancos de recuperación, a pesar de los beneficios que pueden aportar, por miedo a contaminar el baño de proceso con productos de degradación, contaminación metálica, entre otros. En todos los casos, la implementación de este sistema presupone un mayor control y mantenimiento preventivo del baño afectado.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de agua en 80%
- Reducción de arrastre sobre el 70%
- Reducción consumo de productos químicos

Inversión/Costos

- Costo bajo: Por la instalación de estanque estanco

3.2 Sistemas medición de consumo y calidad del agua de proceso

Un aspecto importante para optimizar el consumo de agua consiste en controlar todos los puntos donde se utiliza y registrar la información de forma regular (por hora, diario, por turno o semanal) de acuerdo con el uso y las necesidades de control de dicha información. El consumo debe referirse a alguna unidad que permita su comparación y referencia, como por ejemplo: superficie (m²) o peso de piezas (kg, ton) tratadas. Este dato es de alta relevancia pues de acuerdo a información de factores de uso internacional, el consumo de agua en procesos de galvanizado en Europa actualmente no supera los 25 L/ton procesada⁶.

Entre las principales razones de un consumo excesivo de agua, se tiene:

- alimentación de agua innecesaria en posiciones de enjuague, por ejemplo en líneas detenidas sin producción en momentos concretos del día (almuerzo, cambio de turno, entre otros), o por planificación de la producción.

⁶ Fuente ICZ LATIZA

- exceso de enjuague en determinadas posiciones, por encima de las necesidades reales de calidad necesaria
- lavado excesivo de suelos, bidones, instalaciones.
- pérdidas de agua diversas: grifos abiertos innecesariamente o mal cerrados, fugas, goteos.

Entre las acciones propuestas para el control y minimización del agua existen algunas relacionadas con adquisición de equipamiento y otras con la mejora de procedimientos:

- Utilizar caudalímetros para regular el flujo de agua mediante válvulas.
- Emplear equipos automáticos de medición de proceso como pueden ser conductivímetros, pHmetros, etc.; estos deben ir conectados a electroválvulas que permitan la entrada de agua nueva si se ha alcanzado el valor prefijado del parámetro en cuestión (por ejemplo, un nivel de conductividad o pH no deseados).
- En instalaciones automáticas, instalar electroválvulas conectadas a temporizadores, de manera que, si la instalación se detiene durante un período determinado, se cierran las entradas de agua a través de las electroválvulas.
- Emplear válvulas aforadas, de tal forma que se pueda fijar un consumo máximo de agua por línea o proceso; de esta manera, aunque los operarios abran más los grifos, el caudal permanecerá constante. Esta técnica es adecuada si el proceso productivo es bastante homogéneo y no existe gran variación del tipo de piezas a lavar; de lo contrario, puede ser necesario un mayor caudal de enjuague para garantizar un proceso eficiente, siendo la técnica no recomendable.
- Lavar instalaciones y áreas con equipos a presión, reutilizando las aguas, en la medida de lo posible;
- Llevar un correcto mantenimiento de instalaciones y equipos, con un programa de control y supervisión y formación del personal.

Con estas medidas, pueden alcanzarse reducciones del consumo de agua, entre el 20-45%.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo agua en 20-45%
- Reducción de la generación de residuos líquidos

Inversión/Costos

- Costo medio-alto al incluir equipos de control

3.3 Sistemas de reutilización de agua

Una posibilidad para reducir el consumo de agua en el proceso es la reutilización de las aguas de algunos estanques de enjuague en otros enjuagues o en otras áreas del proceso.

a) *Técnica de Skip*

Uno de los sistemas más sencillos que puede emplearse para disminuir el consumo de agua es la denominada “Técnica de skip”. Esta técnica consiste en utilizar un mismo caudal de enjuague para diferentes operaciones de enjuague que, químicamente sean compatibles o sirvan para neutralizar la pieza antes de entrar en el siguiente baño de proceso.

Por ejemplo, es posible utilizar un enjuague posterior a una etapa de decapado ácido como enjuague previo a otro baño ácido que sea químicamente compatible o para preparar un nuevo baño, o bien utilizar las aguas de ese decapado ácido como aguas de enjuague posteriores a un desengrase alcalino previo al decapado.

Con esta simple medida, es posible reducir el número de entradas de agua de enjuague, consiguiéndose una reducción del consumo de agua, así como neutralizar en parte las aguas del lavado previo al baño.

Para poder aplicar esta técnica, es necesario que los arrastres puedan minimizarse suficientemente, ya que el agua que entra en la segunda posición de enjuague vendrá contaminada con el arrastre del baño anterior; en caso contrario, el efecto pretendido con la técnica puede quedar devaluado por el incremento del arrastre de la segunda posición de enjuague.

Otro factor a tener en cuenta para la posible aplicación de esta técnica es el riesgo de formación de precipitados que acabarían contaminando la cuba de enjuague en cuestión, así como el incremento en la conductividad por un mayor incremento relativo de sales.

La implementación de esta técnica permite eliminar el consumo de agua en una de las posiciones de enjuague, con el ahorro añadido en depuración de aguas y gestión de lodos residuales. Por ello, el valor asociado de reducción del consumo de agua entre las dos posiciones de enjuague estará entre el 30-50%.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo agua en 30-50%

Inversión/Costos

- Costo bajo solo por inclusión de estanques

b) Resinas de intercambio iónico en la regeneración del agua de enjuague

El sistema consiste en hacer pasar las aguas por columnas con resinas intercambiadoras de cationes por hidrogeniones (H⁺), y aniones por hidroxilos (OH⁻), retornando el agua con bajo contenido en iones. El sistema retorna el agua al estanque de enjuague puesto que el diseño de la instalación funciona en circuito cerrado.

Los enjuagues recirculados con resinas de intercambio iónico, según la operación a la que se destinen, pueden trabajar durante largo tiempo, a conductividades inferiores a 50 µS/cm, e incluso, por debajo de 5 µS/cm si se trata de enjuagues finales. No es adecuado su uso en presencia de agentes oxidantes fuertes y elevadas concentraciones de materia orgánica.

Estos sistemas van provistos de una instalación para su regeneración (ácido clorhídrico o sulfúrico para resina catiónica, e hidróxido de sodio para aniónica).

La regeneración del equipo en la propia empresa genera un solución acuosa que contiene los contaminantes previamente retenidos en la resina, más una elevada conductividad. Bajo estas condiciones dicha solución debe almacenarse en contenedores adecuados y eliminarse, por conveniencia, como un residuo peligroso. Para eliminar la posible contaminación orgánica en los sistemas de enjuague y su posible arrastre hacia otros baños, estos sistemas incluyen filtros de carbón activado. Esta técnica no es recomendable para enjuagues de desengrase.

Mediante el sistema de regeneración de agua por resinas, se obtienen caudales de filtración de gran calidad y, al trabajar en circuito cerrado, se consigue una situación cercana al “vertido cero” de las aguas de enjuague, si la regeneración de las resinas se efectúa externamente.

Principales impactos de la medida

- Reducción del consumo agua limpia en un 80%.

Inversión/Costos

- Costo alto por inversión en sistema de intercambio iónico

4 Optimización de la operación de baños de proceso y baños de enjuague

4.1 Sistema de agitación de baños

En aquellos baños donde sea factible, se recomienda agitar las soluciones de proceso para asegurar la renovación de la solución sobre la superficie de las piezas a tratar. Se recomienda también la agitación en los baños de enjuague para aumentar su eficiencia. Con ello, la eficiencia del enjuague puede ir desde el 50%, en el caso de no existir agitación, hasta el 95% con agitación.

Asimismo, la agitación es especialmente útil en aquellos baños de proceso en los que se calienta la superficie de la pieza, manteniéndose la temperatura más constante.

Los posibles sistemas de agitación son:

- sistemas mecánicos de agitación de las propias piezas
- difusión de aire comprimido
- difusión de aire a baja presión (soplantes o supresores)
- sistemas hidráulicos de agitación del baño

Se recomienda el uso de la agitación mecánica de las piezas en los baños de proceso. El uso de sistemas de agitación por aire puede originar problemas de emisión a la atmósfera, tanto en el lugar de trabajo como en el medio ambiente. La agitación por aire puede también crear importantes pérdidas de energía procedentes del baño (pérdida de calor) y ruido de los elementos empleados (compresores y sopladores). La agitación hidráulica tiene mayor rendimiento que la de los sistemas por aire con lo que la calidad del proceso se ve mejorada.

Sin embargo, la agitación por aire favorece la evaporación del baño, con lo que se facilita la recuperación del arrastre; esta alternativa es especialmente recomendable cuando el arrastre sea importante aunque como consecuencia, será necesario dotar al proceso de un sistema de extracción de vapores y gases.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de productos químicos
- Reducción consumo de agua
- Reducción de arrastre (si se opta por la agitación por aire)

Costo medio al implementar sistemas de agitación

4.2 Control de la temperatura de los baños

Algunos baños de proceso requieren trabajar a cierta temperatura para funcionar de manera adecuada. Entre los sistemas más habituales para calentar los baños se encuentra:

- Calentamiento directo del baño, mediante calentadores eléctricos sumergidos o mediante quemadores de gas o gasoil aplicados a la tina de proceso
- circuitos de agua caliente a presión
- Circuitos de agua sin presión
- Con fluidos térmicos (aceite)

Debido a que el arrastre es la principal fuente de generación de contaminantes, se recomienda seleccionar aquellos procesos que trabajen a mayor temperatura para que, de esta manera, el rango de evaporación sea el máximo y pueda así recuperarse la mayor cantidad de arrastre posible. Otros factores, como el grado de ataque del baño sobre la superficie tratada o la emisión de contaminantes a la atmósfera deben también considerarse para reducir su impacto.

La utilización de intercambiadores de calor puede ser económicamente ventajosa para aprovechar el calor desprendido por soluciones o enjuagues calientes que deben ser cambiados periódicamente por soluciones o enjuagues nuevos.

En todos los casos, es importante monitorizar la temperatura del baño y mantenerla dentro del rango óptimo del proceso, en su valor máximo admisible.

Con estas medidas, puede alcanzarse un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 10-15%.

Principales impactos de la medida

- Reducción de arrastre
- Reducción consumo eléctrico en 10-15%.

Inversión/Costos

- Costo medio: si se utiliza calentamiento directo del baño
- Costo alto: si implica un cambio estructural de los estanques para el calentamiento de las soluciones

4.3 Control de pérdidas de calor en los baños que requieren alta temperatura

El reducir las pérdidas de calor del baño reduce el consumo energético. La reducción de las pérdidas de calor del baño debe hacerse teniendo en cuenta el garantizar una buena evaporación, para permitir el máximo rango de recuperación del arrastre producido.

Como medidas a aplicar, se proponen:

- Aislar térmicamente los estanques de aquellos procesos que trabajan por sobre o bajo la temperatura ambiente.
- No utilizar sistemas de agitación por aire para soluciones de proceso en caliente debido a la

formación de emisiones contaminantes a la atmósfera. Si es necesaria la agitación por aire, se requiere la instalación de sistemas de captación y extracción de vapores, con o sin tratamiento, según el tipo de emisión. Las extracciones de gases, en caso de ser necesarias, favorecen también las pérdidas de líquido por evaporación, por lo que su implementación facilita la recuperación del arrastre.

- Buscar alternativas para recuperar el calor entre diferentes etapas de proceso; por ejemplo, el agua empleada en refrigerar un baño puede utilizarse para calentar otras soluciones de proceso que trabajen a menor temperatura, o para enjuagues finales, reutilizando de esta manera la energía procedente de otras etapas que generen calor.
- Dado que el arrastre es la principal fuente generadora de contaminantes, habrá que analizar, caso por caso, la adecuación de las medidas propuestas y establecer unas opciones u otras, pero procurando priorizar, siempre que se pueda, la reducción y recuperación del arrastre. Por tanto, deberá existir un equilibrio entre la reducción de pérdidas de calor en soluciones de proceso y la existencia de cierta evaporación del baño para recuperar el arrastre, siempre que no exista una excesiva cantidad de emisiones atmosféricas de vapor de agua que arrastra productos químicos del baño.

Con estas medidas, puede alcanzarse un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 10-20%.

Principales impactos de la medida

- Reducción de arrastre
- Reducción consumo eléctrico en 10-20%

Inversión/Costos

- Costo medio al incluir sistemas de recuperación de calor

4.4 Reducción del arrastre entre baños por control de viscosidad

El arrastre es la principal causa de la generación de contaminantes dentro del sector de Tratamiento de Superficies Metálicas. Por ello, se da prioridad a las alternativas que tiendan a su reducción en origen frente a otro tipo de mejoras.

En general, el arrastre de solución de baño de proceso conlleva:

- pérdida de materias primas,
- necesidad de lavado,
- mayor riesgo de contaminaciones cruzadas entre procesos,
- necesidad de tratamiento de residuos líquidos y, consecuentemente,
- consumo de reactivos para el tratamiento de residuos líquidos,
- consumo de energía,
- importante generación de lodos (en muchos casos, peligrosos) y
- mantenimiento de las instalaciones implicadas.

El conocimiento de los condicionantes que contribuyen al arrastre es clave para su reducción. Los principales son tamaño y forma de las piezas, viscosidad y concentración química del baño, tensión superficial del baño y temperatura del baño. Con todos estos factores se establece que el

arrastre es directamente proporcional a la superficie de la pieza y a la viscosidad, concentración y tensión superficial del baño e inversamente proporcional a su temperatura.

Entre las principales técnicas de reducción del arrastre cabe considerar es reducir la viscosidad de la solución de proceso, lo que se puede lograr:

- disminuyendo la concentración de los componentes del baño o empleando procesos de baja concentración en la medida que ello no afecte la eficiencia de la operación,
- añadiendo agentes humectantes que reduzcan la tensión superficial del baño; esta medida puede reducir el arrastre hasta un 50%. (medida válida sólo si no se genera espuma en el baño)
- garantizando que la temperatura del baño es máxima, dentro del rango óptimo del proceso y la conductividad requerida; a mayor temperatura menor viscosidad y, por tanto, menor arrastre; (se debe evaluar como beneficio adicional el que incrementa el rango de evaporación del baño, lo cual permite la introducción de enjuagues estancos de recuperación, que contribuyen de una forma muy efectiva a la recuperación del arrastre).

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de agua en 50%
- Reducción de arrastre sobre el 50%
- Reducción consumo de productos químicos

Inversión/Costos

- Costo: bajo - medio

4.5 Aumento vida útil baños de desengrase

Para la etapa de desengrase existen alternativas disponibles en el mercado como son los tradicionales desengrases alcalinos y aditivos al ácido en la etapa de decapado posterior .

El desengrase alcalino requiere altas temperaturas para trabajar, genera mucho más lodos que los aditivos de desengrase ácido , es mucho más peligroso al operador, reduce la vida útil del ácido del decapado por neutralización, requiere enjuague adicional , y los vapores que genera por su alta temperatura se condensan en las estructuras aumentando la probabilidad de generar corrosión, con el consiguiente mayor costo de mantención.

El uso de aditivo al ácido en los decapados es solo un tensoactivo que retira los aceites de la superficie del acero y los emulsiona hasta saturar la solución, momento en que se debe descartar el baño. Estos aditivos, además de inhibir la eficiencia del ácido por alta concentración de materia orgánica, generan un alto grado de no calidad o rechazo por el arrastre a las etapas posteriores de los aceites que se mantienen permanentemente en la superficie. Estos restos de aceite también aumentan la generación de humos al momento de galvanizar.

El uso de Desengrasante ácido HYDRONET disponible en el mercado nacional presenta las siguientes ventajas:

- No se satura, por lo tanto nunca de descarta
- Trabaja a temperatura ambiente, no requiere calentamiento.
- Transforma la grasa en una arena que se deposita al fondo del tanque
- No genera olores ni emanaciones ni vapores.
- Al ser ácido, predecapa el acero.
- Es compatible con el decapado con HCL por lo que no requiere enjuague.
- Tiempo de trabajo de 3 a 10 minutos
- Se consume a razón de 0,6 a 1,5 Kgs/ton. Dependiendo del tipo de material y aceite.
- Es muy seguro al operador, no produce lesiones por contacto.
- Genera menos lodos que desengrase Alcalino
- Requiere mantención del baño una vez por año aproximadamente, frente a 3 o 4 veces con el desengrase alcalino.

Adicionalmente, el reemplazar un desengrase alcalino por un desengrase ácido, permite aumentar la cantidad de decapados o colocar un segundo enjuague previo al fluxado, en caso que exista solo uno.

El aporte ambiental y operacional de este producto está en:

- Reducir los descartes del baño
- Reducir descartes del enjuague, (reducir huella de agua.)
- Ahorro energético del calentamiento, (reducción de huella de carbono).
- Reducir costos de operación.
- Reducir los consumos de HCL en el decapado en hasta 20 %.
- Aumenta vida útil y reduce periodicidad de descarte.
- No genera evaporación, por lo que reduce la formación de corrosión por condensación de agua.

4.6 Aumento vida útil baños de decapado

El empleo de inhibidores es una medida de minimización para alargar la vida del baño de decapado. El espesor de las capas de óxido y cascarilla sobre una pieza de acero a ser galvanizada no suele ser homogéneo, por lo que las piezas deberán permanecer en el baño de decapado hasta que haya sido eliminado el último rastro de óxido y cascarilla. Es decir, superficies ya brillantes (completamente decapadas) siguen estando expuestas al ácido (sobredcapado), lo cual repercute en un aumento del consumo de ácido. Para evitar que las superficies de acero sigan decapándose una vez eliminado el óxido y la cascarilla, se utilizan los inhibidores de decapado.

En las empresas de galvanizado por inmersión se emplean normalmente inhibidores de decapado a base de hexametilentetramina, con lo cual la erosión de material puede reducirse de esta forma hasta en un 98%, mientras que el ahorro en ácido debido al empleo de inhibidores del decapado

dependerá en gran medida del grado de oxidación y de formación de cascarilla que presenten las piezas.

No obstante, algunos inhibidores del decapado, por ser sustancias orgánicas, pueden incidir negativamente en las alternativas de valorización para baños de decapado agotados. Por lo tanto, la decisión de emplear o no inhibidores del decapado para minimizar el consumo de ácido y con ello la cantidad de baño agotado que se genera, deberá tomarse dependiendo del proceso de valorización y/o eliminación aplicado en cada empresa.

En el mercado existe el Inhibidor IRONSAVE, del cual se indica no contener hexametilentetramina, las cuales presentan riesgos al mezclarse con el HCl.

El producto presenta las siguientes características y ventajas:

- Evita el sobredecapado del acero.
- Permite superficies del acero decapadas más lisas por lo que reduce el consumo de zinc
- Permite dejar aceros en el baño de decapado hasta por 36 horas sin ataque al metal base.
- Reduce la hidrogenación del acero.
- Contribuye a aumentar la vida útil del ácido.
- Fácil de usar y dosificar
- Se consume a Razón de 0,1 Kg por tonelada procesada con un consumo de HCL de 20 Kg/ton
- Su efecto dura toda la vida útil del ácido.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de ácido

Inversión/Costos

- Costo bajo, sólo por compra de insumos inhibidores

Adicionalmente, se puede aumentar la vida útil del baño, realizando una filtración periódica del mismo, a fin de retirar restos de material sólido que se va acumulando.

El uso de este sistema permite prolongar de 6 a 10 veces la vida útil de un decapado. Básicamente consiste en un sistema de filtración que permite retener parte del hierro del decapado que se precipita con aditivos específicos (ejemplo PRO-pHX, disponible en el mercado, en base a silicato de sodio). Esto retarda la saturación de los ácidos, permitiendo su recarga

4.7 Optimización de la concentración de ácido en baños de decapado

En los procesos de galvanizado se utilizan fundamentalmente como ácidos de decapado el ácido clorhídrico (HCl) y en mucha menor proporción el ácido sulfúrico (H₂SO₄).

La concentración del baño de decapado es de un 14-16% en peso en caso de utilizar ácido clorhídrico, siendo la temperatura de trabajo de 60-80°C.

La velocidad de la reacción de decapado aumenta en función de la concentración de ácido clorhídrico. Así, a alta concentración de ácido (>200 g/L HCl) el decapado es extremadamente rápido por lo que suele darse un ataque al material base. Por debajo de los 150 g/l de clorhídrico, el tiempo de decapado es más uniforme y permite una gestión óptima de la acidez del baño. Adicionalmente existe un menor riesgo desde el punto de vista de la salud laboral.

Por ejemplo, la reducción de la concentración de HCl desde 190 a 150 g/l permite reducir en más de un 20% el consumo de ácido y realizar la operación de decapado en condiciones más controladas en cuanto al tiempo de reacción. .

Cabe destacar la gran influencia de la temperatura de la solución de decapado sobre la velocidad de decapado. Así, un incremento de la temperatura de 10°C a 20°C permite casi duplicar la velocidad de decapado. A efecto de reducir el impacto de emisiones de ácido en los procesos se utilizan aditivos antivapor.

Los productos antivapor (por ejemplo ANTIVAPOR D) disponibles en el mercado nacional poseen las siguientes características:

- Controla en origen la emanación de vapores ácidos
- Reduce hasta en un 70% los contaminantes ácidos en el ambiente
- Reduce la Hidrogenación del acero, reduce la fragilización. Efecto muy deseable en galvanizado de pernos y cadenas.
- Dura toda la vida útil del Baño
- Reduce los costos por mantención, al reducir el ataque ácido a puentes grúas, estructuras soportantes, cubierta de techos.
- Mejora el ambiente de trabajo. Permite eliminar el uso de máscaras respiratorias
- Elimina la necesidad de extracción forzada y lavado de los gases del decapado.
- No es una barrera mecánica de espuma, sino que actúa químicamente sobre el tamaño de las burbujas de Hidrógeno, reduciéndolas.
- Se consume a Razón de 0,2 Kg por tonelada procesada con un consumo de HCL de 20 Kgs./ton

Tomando como base de partida la necesidad de una velocidad de reacción más o menos homogénea de la reacción de decapado, se recomienda una concentración inicial de decapado en función de la temperatura. Para ello, se ha propuesto el diagrama que fue presentado en la figura 2.3 de la sección 2.1

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de productos químicos (para el proceso de decapado)
- Reducción consumo de agua

Inversión/Costos

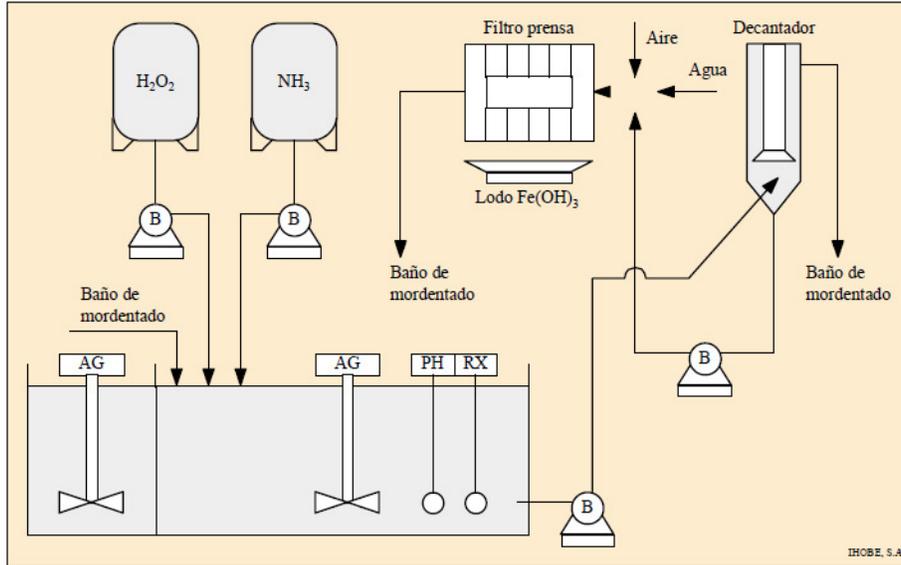
- Costo bajo, requiere sólo un adecuado control de la dosificación del ácido.

4.8 Regeneración de baños de fluxado

Para compensar las pérdidas por arrastre y mantener constante la concentración de sales se añaden regularmente mezclas de sales y agua al baño de fluxado. En éste se acumula cloruro de hierro (II), debido a las sales de hierro adheridas a las piezas. Para evitar que se incremente la formación de mate de cinc en el baño de galvanizado es necesario cambiar o regenerar de vez en cuando el baño de fluxado.

Para regenerar el baño de fluxado se añade en principio NH_4OH (solución acuosa de amoníaco) o NH_3 gaseoso en la solución compuesta de una mezcla de ZnCl_2 y NH_4Cl , ajustando el pH a un intervalo situado entre 3 y 5. A continuación precipita el hierro bivalente como hidróxido de hierro (III), mediante la inyección de aire o por adición de oxidantes (normalmente H_2O_2). Para la mantención del baño se bombea en forma continua hacia un filtro prensa donde se retiene y deshidrata el lodo, mientras la solución de fluxado clarificada se devuelve al baño.

Como operación alternativa suele procederse al lavado de los lodos, con objeto de reducir su toxicidad, mediante la adición de agua que se hace pasar a través de los lodos en el filtro prensa. La solución resultante se devuelve al baño de fluxado. El diagrama siguiente muestra una instalación de regeneración automática.



B=bomba; Ag=Agitación; pH=Phmetro; RX=conductímetro

Figura 3 Regeneración del baño de fluxado

Fuente: IHOBE 2000

Mediante la filtración continua con filtro de placas, se puede controlar el hierro en el fluxado por debajo de 1 gr/Lt. , lo que contribuirá a bajar la generación de mate. En este punto es fundamental la capacitación a los operadores de la importancia de usar adecuadamente los reactivos que se adicionan para precipitar el hierro.

Como ventaja ambiental se destaca el eliminar el descarte de baños saturados con hierro.

Adicionalmente es posible el uso de aditivos que mejoran el rendimiento de esta etapa y siguientes en el proceso, entre los que se cuentan en el mercado:

FILM FLUX, aditivo basado en solución de cloruro de níquel, que permite:

- Eliminar los riesgos de usar níquel en Polvo.
- Reducir los, costos por uso de aleación Zinc-Níquel.
- Reemplazar la adición de zinc metálico en la cuba de galvanizado.
- Controlar el efecto Sandelin
- Reducir el consumo de zinc mediante la reducción de espesores.
- Mejorar el brillo del galvanizado.
- Reducir la generación de Mate y Ceniza
- Mejorar la ductilidad del depósito de
- Aumentar fluidez del zinc, reduciendo las gotas al sacar la pieza del zinc fundido.

METFIL, aditivo basado en cloruro de amonio y cloruro de sodio

- Reduce las explosiones por humedad del material
- Reduce los humos al momento de galvanizar.
- Reduce la generación de ceniza.
- Contribuye en la reducción del consumo de zinc.
- Seguro al operador.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de sales de fluxado

Inversión/Costos

- Costo: alto (si es un sistema automático)

5. Minimización del uso de zinc en el baño de galvanizado

a) *Minimización de mate de zinc*

Las cantidad de mate de cinc generada puede minimizarse mediante un adecuado lavado intermedio de las piezas tras el decapado, para evitar el arrastre de sales de hierro, así como mediante el control de la temperatura del baño de cinc y evitando un sobrecalentamiento local del baño.

También el empleo de sales de fluxado, de baja producción de humo, que a diferencia de los que contienen cloruro de amonio realizan un efecto decapante limitado en el baño de cinc, deriva en una menor producción de mate de cinc al reducir el arrastre de sales de hierro. Sin embargo, el empleo de este tipo de sales repercute en algunos casos negativamente en la calidad del recubrimiento. A intervalos regulares se elimina el mate del baño de zinc y puede comercializarse en fundiciones para su recuperación

b) *Minimización de las salpicaduras de zinc*

Al sumergir piezas húmedas en el baño de zinc caliente, debido a la súbita evaporación del agua, el zinc líquido sale del baño en forma de salpicaduras.

La minimización de las salpicaduras de cinc se consigue llevando a cabo un secado previo de las piezas y además considerando procedimientos para un buen drenaje del agua desde las mismas. Normalmente, el baño de galvanizado está separado del exterior por unas mamparas laterales que evitan que las salpicaduras se depositen en el suelo de la instalación. Las salpicaduras quedan sobre el borde del estanque y si el grado de suciedad que presentan es bajo, pueden ser devueltas directamente al baño de zinc; en caso de que el zinc salpicado esté demasiado sucio y no pueda ser restituido al baño, puede entregarse a fundiciones.

c) Minimización de la ceniza de zinc

Las cenizas de zinc se forman por reacción de las sales de fluxado, adheridas a la pieza, con el zinc fundido del baño, así como por reacción del zinc fundido de la superficie con el aire de la atmósfera, permaneciendo estas cenizas en la superficie del baño. Reduciendo la concentración de sales en el baño de fluxado, es posible minimizar la cantidad de sales incorporadas y con ello la cantidad de ceniza de zinc que se genera. Sin embargo, una reducción considerable de esta concentración repercutirá negativamente en la calidad del recubrimiento.

Como aditivos recomendados en esta etapa se cuentan:

FLUX ZINC, producto que permite:

- Recuperar hasta 40% del Zinc metálico contenido en la ceniza
- Precipitar el mate fino.
- Reducir la generación de ceniza y el contenido metálico de la ceniza.
- Reducir consumo de zinc.

ALAMBRE DE ALUMINIO

- Evita la formación de óxido de zinc sobre la superficie del baño.
- Mejora el Brillo.
- Ayuda a reducir la formación de cenizas

La ceniza de zinc se compone principalmente de zinc y de pequeñas cantidades de hierro, aluminio, óxido de zinc y cloruro de zinc. La ceniza de zinc es valorizada por ello en fundiciones o utilizada para la obtención de cloruro de zinc.

Principales impactos de la medida

- Reducción consumo de productos químicos (para el proceso de galvanizado)

Inversión/Costos

- Costo bajo

6 Medidas asociadas a la valorización o eliminación de residuos

6.1 Segregación de residuos

La correcta segregación de los diferentes tipos de residuos generados por la empresa, posibilita su minimización, permitiendo la gestión más adecuada a cada tipo de residuo. De esta forma, se puede incrementar su potencial de reciclaje y recuperación, con el consiguiente ahorro económico asociado a su tratamiento.

Por el contrario, la mezcla de diferentes tipos de residuos provoca la imposibilidad de la reutilización, la contaminación entre residuos, su mayor volumen y, en definitiva, incrementa los costos de su gestión.

Por ello, es importante separar, en la propia empresa, los residuos que se generan, de acuerdo con sus características. Se debe dotar de los medios necesarios y de las instrucciones por escrito de manera que puedan segregarse los residuos generados, de acuerdo con lo siguiente:

- Separar los residuos según sus características fisicoquímicas, aislando los residuos líquidos de los sólidos, separando los residuos peligrosos de los no peligrosos. Entre los residuos no peligrosos, es importante segregar aquellos por tipo, de forma que se posibilite su valorización (metal, madera, cartón, chatarra, plástico, entre otros).
- Esta segregación de residuos presupone disponer de contenedores específicos ubicados en cada área de trabajo
- Se debe adecuar y señalar una zona destinada al almacenamiento de los residuos. Se requiere señalar correctamente cada contenedor de residuos, indicando el tipo de residuo, código, condiciones de almacenaje y manipulación.
- Establecer responsables que se encarguen del uso y mantenimiento correcto de cada contenedor y de la zona de almacenaje, avisando al gestor correspondiente para su retirada.
- Informar, formar e incentivar al personal de la empresa sobre la necesidad de segregar y reutilizar o valorizar los residuos.

Actualmente las empresas del sector realizan una adecuada segregación de residuos valorizables como el mate y las cenizas de zinc.

Principales impactos de la medida

- Identificación de residuos valorizables
- Reducción residuos peligrosos que deben ser eliminados debido a una adecuada separación

Inversión/Costos

- Costo bajo, relacionado sólo a contar con contenedores apropiados y sitios de almacenamiento

6.2 Procedimientos de Manejo de Residuos No Peligrosos

Los residuos no peligrosos como excedentes o despuntes metálicos, madera. Plásticos, y envases de materiales no peligrosos pueden ser reciclados. No obstante, para poder ser reutilizados, éstos no deben estar contaminados con otros residuos, por lo cual se requiere como norma general:

- Segregar en áreas específicas (en lo posible bajo techo) o contenedores apropiados cada tipo de residuo, para su posterior gestión (reuso o reciclaje)
- Señalizar cada contenedor con el tipo residuo, código, condiciones de almacenamiento y manipulación.
- Mantener registros actualizados de las cantidades, origen, destino y costos asociados a los residuos generados.

En general, las empresas han incorporado procedimientos de manejo de residuos reaprovechables; sin embargo aún existen problemas con algunos residuos, básicamente en lo que se refiere a registros de cuantificación e identificación de destinos de valorización

6.3 Procedimientos para el Manejo de Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos de la actividad (lodos, trapos de limpieza y elementos de protección personal contaminados, residuos de aditivos químicos, y los envases que los contenían entre otros) deben ser segregados y manejados para lograr su adecuada disposición o reciclaje seguro para lo cual debe elaborarse un plan de manejo, el cual servirá de base para la confección de un manual interno de manejo. La técnica considera:

- Evaluar alternativas de reducción de residuos peligrosos.
- Establecer un área en la instalación como sitio de acopio de contenedores de residuos peligrosos segregados.
- Señalizar cada contenedor con el tipo residuo, código, condiciones de almacenamiento y manipulación.
- Mantener registros actualizados de las cantidades, origen, destino y costos asociados a los residuos generado.
- Gestionar cada tipo de residuo a través de las empresas autorizadas que correspondan para su valorización o disposición final adecuada

Para minimizar la generación de residuos peligrosos, es preferible comprar insumos en contenedores de gran tamaño cuando la cantidad de residuos de envases es elevada. Es recomendable reutilizar como contenedor de RESPEL el mismo envase de la materia prima que lo originó. Además, dependiendo de sus características, los envases vacíos (tanto los que clasifican como RESPEL como los que no) se pueden devolver a los proveedores, bajo el concepto de responsabilidad extendida del productor (REP), lo que reduce los requerimientos de manejo en las instalaciones (la empresa proveedora debe estar autorizada para recibir de vuelta y almacenar los mismos).

El sitio de almacenamiento debe disponer de capacidad suficiente para acopiar la totalidad de los residuos generados, durante el periodo previo del envío de estos a una instalación de eliminación. Los sitios de almacenamiento deben contar con Autorización Sanitaria (ver sección 2.5).

Es conveniente almacenar los residuos peligrosos en un lugar distinto al de las materias primas. No obstante, los residuos podrán almacenarse en conjunto con las materias primas siempre y cuando cumplan las medidas de seguridad correspondientes.

Los residuos peligrosos se deben depositar en contenedores apropiados que faciliten su recolección en función de sus características fisicoquímicas y al volumen generado. Los contenedores deben ser inspeccionados periódicamente para asegurar que se conserven en buenas condiciones. Los que muestren algún grado de deterioro deberán ser reemplazados.

El transporte de residuos peligrosos debe ser realizado por Empresas Autorizadas de Transporte con personal capacitado para esta operación, lo que asegura que se lleve a cabo de un modo adecuado y que se puedan enfrentar posibles emergencias.

Los residuos sólidos peligrosos no inflamables pueden ser enviados a rellenos de seguridad. La técnica de solidificación/estabilización usada en dichas instalaciones es apropiada para materiales que contienen compuestos inorgánicos u orgánicos semivolátiles o no volátiles.

Los restos de aceites pueden valorizarse como combustible alternativo, mediante su envío a empresas autorizadas para su valorización. Un residuo es apto como combustible alternativo si cumple las siguientes condiciones:

- Ausencia o muy bajo contenido de halógenos.
- Bajo contenido de cenizas, traducido en una baja concentración de metales
- Poder calorífico apropiado, de preferencia mayor a 5.000 [kcal/kg].
- Baja viscosidad, menores a 160 [mm²/s] para la pulverización de los líquidos.
- Contenido de sólidos filtrables y azufre mínimo.

Con la implementación de los procedimientos indicados previamente, que son aplicables a cualquier tamaño de empresas, se logra un ahorro económico gracias a que se gestionan separadamente los residuos, con la posibilidad de entregar a valorización algunos de ellos, disminuyendo los costos de disposición final (actualmente estimado del orden de 6 a 8 UF/ton en promedio), a lo que deben sumarse los costos de transporte por lo que por cada tonelada de residuo peligroso que se reduce se ahorran alrededor de \$ 150.000.

6.4 Valorización del ácido clorhídrico presente en los baños de decapado agotados

a) *Regeneración térmica*

Durante el proceso de decapado, al disolverse la cascarilla en el ácido clorhídrico, se forma cloruro de hierro (II) y cloruro de hierro (III), según las siguientes reacciones químicas:



La regeneración térmica del ácido clorhídrico se basa en la siguiente reacción química:



Esta conversión del cloruro de hierro (II) en ácido clorhídrico y óxido de hierro se produce por hidrólisis a alta temperatura en presencia de oxígeno (pirohidrólisis). Para su reutilización química se aplican diferentes procesos.

- Procedimiento de lecho fluidizado
- Proceso de tostación por pulverización
- Hidrólisis bajo presión a alta temperatura

La presencia de Zinc, así como de otras sustancias no deseadas como aceites, grasas, inhibidores del decapado o sustancias de decapado desengrasantes dificultan la regeneración térmica. Asimismo el contenido de cinc tolerable varía de un procedimiento a otro.

b) *Electrólisis*

En principio es posible recuperar en estado sólido mediante electrólisis los metales contenidos en el decapado agotado. Al conectar una tensión eléctrica a dos electrodos sumergidos dentro de un electrolito, son atraídos los iones metálicos por el electrodo negativo (cátodo), donde se reducen (por ganancia de electrones), depositándose como metal. Esta tecnología está desarrollada técnicamente para recuperar el zinc de baños de decapado de bajo contenido en hierro. La electrólisis debe realizarse por membrana para evitar la generación de cloro molecular, por lo que es una tecnología de alto costo.

c) *Obtención de pigmentos inorgánicos y rellenos*

Los baños de decapado de hierro con un contenido relativamente alto de zinc podrían utilizarse en la industria química para la fabricación de pigmentos blancos o de rellenos sobre base de baritina (sulfato de bario) y sulfato de cinc (entre un 29 y 40-60%).

d) Fabricación de cloruro férrico

Si el contenido en zinc de los baños de decapado agotado es despreciable es posible valorizarlos para la fabricación de floculante de cloruro férrico.

En ese caso, los baños se agotan con chatarra de hierro. El hierro II se oxida a hierro III con ayuda de cloro molecular. El precipitado se lava, se filtra y se seca para su uso en diferentes procesos de depuración de aguas.

6.5 Recuperación de compuestos de hierro y de cinc presentes en baños de decapado agotados

a) *Precipitación del cloruro de cinc de baños de decapado de cinc agotados*

De los baños de decapado de cinc agotados bajos en hierro puede obtenerse por precipitación cloruro de zinc, para ello es necesario depurar el baño de decapado de los metales no deseados (como Fe, Al) mediante reacciones de precipitación con control del pH.

El cloruro de zinc recuperado se utiliza para la fabricación de pilas secas de zinc-carbón. Esta valorización exige un contenido de cinc en el baño de decapado de cinc de como mínimo un 10-12%, así como una relación hierro:zinc de 1:10 como máximo. El baño de decapado no puede contener amonio y sólo pequeñas cantidades de aceite, grasas y agentes tensoactivos. La presencia de inhibidores del decapado no es limitante, ya que estos se oxidan durante el proceso.

b) *Extracción por disolvente*

El proceso consiste en la extracción por disolvente (extracción líquido-líquido), en el cual se mezcla la fase acuosa que contiene las sustancias a ser extraídas con un agente de extracción, normalmente sustancias orgánicas prácticamente insolubles en la fase acuosa y que presentan una alta afinidad con la sustancia a extraer. Una vez transferida esta sustancia al producto extractor, se efectúa una separación (por ejemplo, separación gravitacional) entre la fase acuosa empobrecida y el agente extractor.

La extracción por disolvente de iones metálicos presentes en soluciones acuosas se lleva a cabo con compuestos orgánicos que actúan como intercambiadores de cationes. Estos agentes extractores captan los iones metálicos de la solución acuosa liberando un protón o un ion de sodio. La selección se produce utilizando diferentes agentes extractores y/o en base a las condiciones específicas de proceso. Esta técnica aún no tiene demostrada su viabilidad económica.

Principales impactos de la medida

- Valorización externa para recuperación de materia prima
- Reciclaje externo de residuos

Inversión/Costos

- Costo por definir, realizable sólo en industria especializada

7 Gestión de emisiones atmosféricas

Dentro del sector existen algunas operaciones que generan impacto por sus emisiones atmosféricas, en particular los humos y gases provenientes del horno de galvanizado y los vapores de ácido desde baños de decapado

7.1 Capotas extractoras

Para los baños que operan a altas temperaturas, se debe proveer la instalación con sistemas y equipos de reducción de las emisiones generadas. Los principales beneficios que otorga esta MTD incluyen la el control de emisiones dentro de ambientes de trabajo y una mejora de la seguridad laboral de los trabajadores implicados en las operaciones.

La instalación de **sistemas de extracción localizada** por aspiración capta los humos y gases en su origen. No obstante, para asegurar su efectividad, deben considerarse dos principios básicos:

- Instalar el sistema de extracción lo más cerca posible del lugar de emisión;
- Evacuar el aire contaminado hacia zonas donde no pueda contaminar el aire limpio que entra en la zona de operación.

Es recomendable cubrir los estanques de proceso que emitan gases y vapores a la atmósfera, mientras no se utilizan los baños o en el caso de procesos donde la inmersión de las piezas es de un mayor tiempo.

Si es necesario que produzca la evaporación del baño para permitir la recuperación del arrastre a partir de enjuague estático (estanco) se debe priorizar esta acción e implementar capotas de extracción de vapores. En cuanto al tipo de capotas, deberá analizarse la pertinencia de incorporar un sistema automatizado.

En algunos casos, en instalaciones de tratamiento de reducidas dimensiones y diversos baños de proceso que generan emisiones no contaminantes a la atmósfera, es factible ubicar la línea entera en una dependencia aislada del resto del proceso, recogiendo todos los gases y vapores de forma conjunta.

La instalación de capotas extractoras en los bordes de las tinas, que capten y extraigan las emisiones contaminantes no es muy habitual ya que los procesos de tratamiento duran poco tiempo, con lo que están entrando y saliendo continuamente piezas del baño. En este caso, se necesita un sistema de extracción y conducción de los gases y vapores recogidos fuera del interior de la planta.

7.2 Minimización de emisiones

Las emisiones producidas por las sales de fluxado dependen, además de la composición de las sales, de la cantidad de éstas que se incorporan al baño de cinc. La cantidad de sales incorporadas depende solamente de la concentración de sales en el baño de fluxado. La reducción del contenido de sales en dicho baño disminuye la cantidad de emisiones. Esta reducción se debe llevar a cabo hasta un límite, a partir del cual disminuye la calidad del

recubrimiento. Por lo general, sería suficiente con una concentración de sales de 300-350 g/l.

Por otro lado, la cantidad de sustancias tóxicas emitidas depende del contenido de cloruro de amonio en el mordiente. El cloruro de amonio es altamente fumígeno, por lo que este problema ha llevado al desarrollo de sales de fluxado de baja producción de humos en los que el cloruro de amonio ha sido sustituido por cloruros alcalinos. Sin embargo, se debe evaluar este tipo de sales para determinar si no varía la calidad del recubrimiento.

Para el mejoramiento del control y extracción de humos se recomiendan sistemas eficientes y de bajo costo como el uso de cortinas enrollables que permitirán direccionar los humos del galvanizado hasta una campana extractora superior utilizando el fenómeno físico de convección térmica. Esto reduce la potencia y tamaño de los motores de extracción con el consiguiente ahorro de inversión y costo operacional.

7.3 Valorización de los polvos de los filtros

El polvo retenido por los filtros del aire de salida se compone fundamentalmente de cloruro de amonio y cloruro de cinc. Este polvo puede ser directamente devuelto al baño de fluxado o utilizado como materia prima por los fabricantes de sales para la preparación de nuevos mordientes, siempre y cuando no contenga aceites y grasas (el contenido máximo tolerable de aceites y grasas es de un 3%).

7.4 Técnicas de referencia para el abatimiento de emisiones atmosféricas

Como complemento a la información entregada en forma precedente para la extracción de humos y gases, se describen brevemente algunas técnicas de control o mitigación de emisiones atmosféricas, las que se consideran **técnicas de referencia**, pues se encuentran ampliamente desarrolladas. La inclusión o no de una de estas técnicas dependerá de los contaminantes a remover, eficiencia de remoción requerida y las características del flujo contaminante. Entre ellos se cuentan:

Filtros de mangas

Son los sistemas de mayor uso actualmente en la industria mediana, debido principalmente a la eficiencia de recolección y a la simplicidad de funcionamiento. Las partículas de polvo forman una capa porosa en la superficie de la tela, siendo éste el principal medio filtrante. La selección de un filtro de mangas, en cuanto a la superficie del medio filtrante, se basa en la “velocidad de filtración”. Esta velocidad, también es conocida como “razón Aire- Tela (A/C)”.

Lavadores húmedos

Generalmente se utilizan para captar partículas inferiores a 5 mm y gases. Son aptos para trabajar con gases y partículas combustibles y/o de alta temperatura y humedad. Para alta eficiencia con partículas pequeñas se requiere bastante energía, lo que implica altas caídas de presión. En forma parcial son capaces de remover gases, por lo que puede existir un problema de corrosión, y necesitar materiales especiales. Son aplicables sólo para grandes empresas.

Para el tratamiento de gases se sugieren lavadores de gases, los que mediante recirculación en circuito cerrado del agua de lavado, permiten reaprovechar el líquido en la etapa de fluxado. Estos equipos deben ser de material antiácido, de tiro forzado ascendente, con elementos auxiliares en su interior, que permitan aumentar el área de contacto entre el líquido y los humos.

Precipitadores electrostáticos

Un precipitador electrostático es un equipo de control de material particulado, que utiliza fuerzas eléctricas para remover las partículas fuera del flujo de gases y llevarlas a un colector. Los precipitadores electrostáticos tienen eficiencias de 99.9% en remoción de partículas del orden de 1 a 10 μm . Sin embargo, para partículas de gran tamaño (20-30 μm) la eficiencia baja, por lo que se requiere de preferencia tener un equipo de pretratamiento, tal como un ciclón o multiciclón.

Los precipitadores electrostáticos son utilizados para tratar altos caudales de gases, con altas concentraciones de material particulado, ya que el costo de operación es elevado y sólo con un alto nivel de funcionamiento supera a otras alternativas más económicas y de eficiencia similar (lavadores húmedos). Son aplicables sólo para grandes empresas.

Tabla 6 Características de los sistemas de captación de material particulado⁷

Tipo	Tamaño de partículas [um]	Caída Presión [H2O]	Eficiencia Esperada [%]	Temp. Máx. [°C]
Ciclón	> 10	1-3	80 (bajo 20 um)	500
Lavador Venturi	> 0,3-1	15-30	90-99 (bajo 5 um)	250+
Filtros de Mangas	>0,5-1	1-10	95-99 (bajo 5 um)	200-250
Precipitador electrostático	> 0,01	0,25-0,5	80-99,99 (bajo 5 um)	500

Tabla 7 Ventajas y desventajas de los sistemas de Tratamiento de Partículas

Sistema Colector	Ventajas	Desventajas
Filtros de mangas	Alta eficiencia de captación de partículas Finas. Operación simple. Insensible a cambios en el acondicionamiento del flujo de gases. Problemas de corrosión. No hay peligros de explosión con flujos combustibles. Son compactos y fáciles de instalar.	Sensibles a temperaturas del flujo. Requerimiento medio de energía (caída de presión). Vida de las mangas decrece con la temperatura de trabajo. Altos requerimientos de operación.
Lavadores Húmedos	No hay fuentes secundarias de polvos. Bajo requerimiento de espacio. Capacidad para captar gases y partículas. Bajo costo de capital. Capacidad de manejar flujos de altas temperaturas y humedad. Capacidad de captar partículas finas.	Crea problemas de RILES. Producto se capta húmedo. Problemas de corrosión. Altos requerimientos de potencia. Alto costo de operación.
Precipitadores Electrostáticos	Altas eficiencias de captación de partículas. Captación y disposición seca. Bajas caídas de presión. Diseñados para funcionamiento continuo. Capacidad de operar a altas temperaturas. Grandes caudales de gases a tratar (aplicable a grandes empresas)	Alta Inversión. Sensible a cambios en el flujo a tratar (Caudal, temperatura, cargas, concentraciones, etc.).Gran requerimiento de espacio .Peligro de explosiones con flujos combustibles. Alto costo de operación.

⁷ Fuente: ACERCAR-BID, 2004