



Sector de tratamientos superficiales



La redacción de esta guía fue realizada por SADAM para la Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. La Asociación Argentina de Acabado de Metales (SADAM) fue fundada en 1963 con el objeto de agrupar y representar a los industriales del rubro, y es una de las cámaras asociadas de ADIMRA. Desde 1999 SADAM promueve el Desarrollo Sustentable en el sector a través de acciones en conjunto con autoridades ambientales nacionales y provinciales, así como con otras organizaciones. La presente Guía recoge la experiencia acumulada y aspira a brindar una adecuada orientación que ayude a promover la Producción Sustentable en los establecimientos del rubro. Para mayor información sobre SADAM, por favor dirigirse a www.sadam.org.ar



Introducción

1. Caracterización del sector	11
2. Descripción de los principales procesos y sus aspectos ambientales	14
3. Eficiencia en los procesos. Herramientas de autodiagnóstico, implementación y gestión	18
3.1 Eficiencia en los procesos	19
3.2 Principales herramientas para un autodiagnóstico	23
Layout. Diagramas de flujo. Análisis cualitativo. Diagrama de flujo. Análisis cuantitativo.	
Listas de chequeo (o de verificación). Resumen del autodiagnóstico.	
3.3 Principales herramientas de implementación y gestión	32
Matriz de evaluación de oportunidades de mejora. Matriz de evaluación de soluciones propuestas.	
Valoración de las mejoras. Ficha de proyecto y cronograma de seguimiento. Monitoreo de las mejoras.	
4. Producción sustentable en el sector de tratamientos superficiales	37
4.1 La producción sustentable y las buenas prácticas.....	38
4.2 Concientización y capacitación del personal.....	39
4.3 Control, uso y almacenamiento adecuado de productos químicos	40
Control de ingreso de productos químicos.	
Manejo y almacenamiento adecuado de químicos.	
4.4 Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.....	42
4.5 Control y mantenimiento de baños de proceso	43
4.5.1 Medidas preventivas	43
4.5.2 Medidas correctivas	44
filtración; tratamiento con carbón activado; electrólisis; cristalización de carbonatos; precipitación; transferencia iónica. Otras tecnologías utilizadas para el mantenimiento de baños (microfiltración/intercambio iónico/sorción ácida/electrólisis con membranas/ diálisis).	
4.6 Minimización del arrastre	52
4.6.1 Principios para la reducción del arrastre.....	52
4.6.2 Técnicas para reducir el arrastre	52
minimizar la formación del arrastre (controlar la composición de los baños; colgar las piezas de manera adecuada, extracción de las piezas y tiempo de escurrido, diseño y mantenimiento de gancheras y tambores; enjuague sobre la cuba del baño; deflectores o bandejas de escurrido, cuchillo de aire), recuperación del arrastre (cuba de escurrido, enjuague estanco, enjuague de entrada y salida).	
4.7 Minimización del uso del agua en los enjuagues. Ventajas.....	58
4.7.1 Diseño óptimo de las cubas de enjuague.....	58
4.7.2 Control del caudal de agua en los enjuagues	59
(limitadores de caudal, control manual del caudal, controles basados en la conductividad eléctrica, control de caudal por temporizador, medidor de caudal).	

4.7.3	Alternativas para la configuración de los enjuagues.....	60
	(cuantificación del arrastre, enjuagues en contracorriente, enjuagues en cascada-reactivos y doble propósito, enjuagues químicos, enjuagues con pulverizadores o rociadores, sistemas de enjuagues combinados).	
4.7.4	Reutilización de aguas residuales tratadas.....	67
4.8	Tratamiento de superficies y el enfoque de ciclo de vida	68
	Sustitución de materiales y tecnologías.Minimización/eliminación del uso de solventes clorados.	
	Minimización/eliminación del uso de cianuros. Minimización /eliminación del uso de cadmio.	
	Minimización/eliminación del uso de cromo. Reutilización de envases.	
	Diseño y fabricación de las partes y piezas que recibirán tratamientos superficiales.	
4.9	Eficiencia energética	74
	Alternativas para la calefacción de cubas. Calefacción eficiente. Aislación de las cubas. Iluminación.	
4.10	Emisiones gaseosas: minimización y tratamiento	76
4.10.1	Medidas preventivas	76
	Disminución de la concentración o la temperatura de los baños. Agregado de espumígenos.	
	Uso de esferas plásticas. Sustitución de materias primas/procesos.	
4.10.2	Medidas de control.....	78
	Ventilación natural y extracción eólica. Extracción forzada.	
4.10.3	Tratamiento de las emisiones gaseosas.....	79
	Precipitadores ciclónicos. Torres lavadoras. Filtro de nieblas.	
4.11	Aguas residuales: segregación, recuperación química y tratamiento	81
4.11.1	Segregación o separación de corrientes de aguas residuales	81
	Aguas residuales libres de cianuros y cromatos. Aguas residuales que contienen cianuros.	
	Aguas residuales que contienen cromatos (cromo hexavalente). Otras corrientes de aguas residuales.	
4.11.2	Recuperación de materiales	82
	Evaporadores atmosféricos. Evaporadores al vacío. Intercambio iónico:	
	descontaminación de baños; recuperación de materiales de aguas de enjuague diluidas.	
	Recuperación por electrólisis. Electrodiálisis. Tecnologías de membranas. Recuperación electrolítica.	
4.11.3	Tratamiento de aguas residuales	88
	Tratamiento de las corrientes segregadas.	
	Tratamiento discontinuo (batch): tratamiento de aguas residuales con cianuros, tratamiento de aguas residuales que contienen cromo hexavalente, tratamiento de aguas residuales libres de cromo hexavalente y cianuros, tratamiento de los descartes de baños agotados/ aguas residuales de regeneración de sistemas de resinas de intercambio iónico, deshidratación de sedimentos con filtros de arena, deshidratación de sedimentos utilizando filtros prensa.	
4.11.4	Tratamiento continuo.....	93
	edución de cromo, oxidación de cianuros, remoción de metales (pretratamiento, precipitación, floculación, clarificación), deshidratación de los barros.	
4.12	Gestión de residuos: segregación, almacenamiento, valorización y disposición final	98
4.12.1	Residuos generados en industrias de tratamientos superficiales	99
4.13	Riesgos presentes en la industria de acabado de metales.....	100
4.13.1	Prevención de derrames y pérdidas en equipos e instalaciones	100
4.13.2	Prevención de incidentes con productos químicos y residuos	103

5. Caso de estudio	105
Características del establecimiento, descripción del proceso donde se aplicaron las mejoras, medidas implementadas, cuantificación, análisis de los resultados y conclusiones.	
6. Glosario	112
7. Referencias bibliográficas.....	115
8. Anexo.....	117
Anexo I – Lista de chequeo tratamientos superficiales	118
Anexo II - Procedimiento de mantenimiento preventivo	120
Anexo III - La celda de Hull	124



Introducción

Los tratamientos superficiales tienen por objeto modificar las características exteriores de diversidad de objetos, partes o piezas.

La principal función de los tratamientos superficiales es la protección del acero y otros metales contra la corrosión. Esta protección se logra recubriendo un determinado objeto con una o más capas de otros metales (cobre, níquel, cinc), o con un recubrimiento orgánico que puede incluir compuestos metálicos o no (pintura, laca). Otra función de los tratamientos superficiales es la mejora del aspecto (cromado, dorado), muy apropiado para fines decorativos o suntuarios.

La posibilidad de aplicar distintos tratamientos también permite conferir otros atributos que antes no poseía la pieza; por ejemplo, aumentando su dureza o mejorando su conductividad eléctrica. De esta manera y a través de diferentes tratamientos es posible otorgar a un material funciones tecnológicas adicionales a las propias, permitiendo la elaboración de productos que serían técnica o económicamente inviables.

Casi todos los objetos metálicos que nos rodean han recibido algún tipo de tratamiento superficial y a veces más de uno. Esto muestra que la industria de tratamientos superficiales es un eslabón imprescindible de la cadena de agregado de valor metalmecánico, y de la industria manufacturera en general.

Como se verá a continuación, aplicar un tratamiento sobre un producto tiene sus beneficios, pero también aspectos no deseados. Un ejemplo: se puede obtener jugo al exprimir naranjas, pero también se generan residuos (cáscaras y semillas). La pregunta sería ¿es posible hacer las cosas de otra manera? Volviendo al ejemplo, hay distintas maneras de exprimir (manual o mecánica) y distintos modelos de exprimidores, lo cual hará variar la cantidad de jugo obtenido con cada técnica y la cantidad de residuos. Deberíamos entonces elegir aquella técnica que nos dé más jugo y genere menos residuos, pero no siempre se aplica esta forma de pensar...

Esta guía tiene entre sus objetivos, sembrar la duda sobre lo que hacemos de manera rutinaria, y estimular a hacernos aquellas preguntas que nos permitan descubrir las ineficiencias que consentimos por costumbre.

De manera similar a un investigador que resuelve un problema a partir de interrogarse qué mirar y dónde buscar; para descubrir ineficiencias deberán realizarse las preguntas pertinentes. Es difícil, pero intentarlo permitirá avanzar en un camino de mejora continua de la propia actividad logrando, al final del camino, beber más jugo y descartar menos residuos. En otras palabras, pagará menos por materiales, energía, agua, tratamientos, disposición de residuos, cumplimiento legal; y ganará más brindando mejor servicio, calidad y precio. Esto es posible y accesible para cualquier persona que contemple la posibilidad de no estar realizando sus actividades de la mejor manera posible.

A primera vista se puede pensar que, si una empresa funciona bien, produce bienes y servicios que satisfacen a los clientes y el saldo económico es satisfactorio, entonces todo está bien y coincidiremos en afirmar que la empresa cumple su función de manera eficaz.

Pero, ¿resulta eficiente la empresa? La diferencia entre eficacia y eficiencia es el costo, que depende de cómo se hacen las cosas. La eficacia no atiende el costo de los materiales y energía desperdiciados por producir piezas defectuosas que deberán ser reprocesadas, solo ve las que pasan el control de calidad y conforman al cliente. La eficiencia corrige estos errores de procesos, minimizando la generación de residuos y logrando más calidad a menor costo.

Esta guía acerca herramientas para la mejora del sector de tratamientos superficiales, promoviendo la sustentabilidad productiva del mismo. Su contenido resume la experiencia de especialistas, empresarios y trabajadores del rubro que en su oportunidad aceptaron el desafío de producir eficientemente y con mayor rentabilidad, ¡y tuvieron éxito!

1.

Caracterización del sector

Dentro de la industria manufacturera, el sector metalúrgico ocupa un lugar de gran importancia. Se encuentra concentrado en la zona centro de Argentina, donde se radica la mayor parte de la población del país y se desarrolla una intensa actividad agrícola que demanda maquinarias, herramientas y servicios. Para tener una idea de su escala, vale considerar que este sector produce el 55 % del acero consumido en el país, el 43 % de las maquinarias agrícolas, y el 18 % de los vehículos automotores, sin contar las exportaciones.

Dentro de la industria metalúrgica existe un complejo entramado de cadenas de agregado de valor, que pudo ser construido por la participación de distintas especialidades que concurren en diversas proporciones y formas. Es importante destacar este modo cooperativo de producción, ya que no existen dentro del ramo metalmecánico las grandes empresas con producción totalmente integrada, sino que predominan las pequeñas y medianas con distintos grados de especialización, y algunas de mayor porte que ensamblan sus productos finales con partes producidas por las menores.

Como toda actividad humana, la industria metalúrgica produce ciertos impactos sobre el ambiente que dependen de múltiples factores, entre los cuales se podrían citar su tamaño, la naturaleza de sus procesos, la tecnología aplicada, las prácticas operativas, los insumos utilizados y las medidas de control y mitigación.

Es posible llevar adelante una actividad productiva con muy bajo impacto sobre el ambiente, siendo menester aplicar soluciones tecnológicas, asumiendo los costos asociados. Si estos no se asumen, los impactos generados al ambiente y a la sociedad afectarán de manera directa en la sustentabilidad de la actividad.

Dentro de la industria metalúrgica existe un sector que es un eslabón imprescindible en todas las cadenas productivas: los tratamientos superficiales. En general no existe un producto metálico que no haya recibido algún recubrimiento para protegerlo de la corrosión, mejorar su apariencia o conferirle características especiales para un uso específico. Sin tratamientos superficiales no habría automóviles, barcos, computadoras, teléfonos, ni maquinarias para producir y procesar alimentos, textiles, papel, etc.

En la actualidad la investigación y desarrollo en la temática han logrado altos niveles de conocimiento, que por lo general residen en el ámbito científico académico, y en las empresas químicas que proveen los procesos de tratamiento, por lo general “llave en mano”, lo que equivale decir que pocas veces los empresarios de tratamientos superficiales tienen conocimiento pleno de los materiales y equipamientos que diariamente manejan. Se trata de procesos complejos que abarcan numerosas operaciones y utilizan múltiples equipos y sustancias que involucran distintos grados de riesgo y peligrosidad que potencialmente pueden dañar al ambiente y la salud humana.

Se estima que la Ciudad Autónoma de Buenos Aires¹ y la provincia de Buenos Aires agrupan a las dos terceras partes del sector, una tercera parte se radica en las provincias de Santa Fe y Córdoba; y un número minoritario en el resto del país. Con algunas excepciones (CABA y Provincia de Buenos Aires) las empresas del sector galvanico son en su abrumadora mayoría pequeñas y micro, con un promedio de diez o quince empleados, existiendo muchas que califican como emprendimientos, con dos o tres empleados.

¹ Estimaciones realizadas por la cámara sectorial (SADAM) y proveedores

Los tratamientos superficiales se hacen en su mayoría en medio acuoso, sumergiendo piezas metálicas en soluciones de productos químicos contenidas en cubas de proceso, y aplicando enjuagues entre las diferentes operaciones para evitar que la siguiente se contamine con la anterior. El uso del agua sin el adecuado control, genera impactos sobre el recurso hídrico superficial y subterráneo. Su uso no sustentable, conlleva, entre otros, al aumento de los caudales de las aguas residuales o efluentes, haciendo difícil y más costoso el tratamiento de las mismas.

Debe considerarse que, en general, el personal del sector no siempre cuenta con formación técnica específica. El montaje y puesta a punto de las plantas, y la capacitación del personal se encuentra habitualmente a cargo de los proveedores de productos químicos, como así también el monitoreo y mantenimiento periódico de los baños de proceso. Ante la falta de conocimientos técnicos específicos o de un adecuado asesoramiento externo en los establecimientos o “talleres galvánicos”, los proveedores cubren los aspectos técnicos de los mismos con la excusa de hacerlo como un servicio de cortesía para quienes compran sus productos. Se observa así que, salvo contadas excepciones, la gestión del conocimiento en el sector presenta debilidades, propiciando manejos inadecuados con pérdida de eficiencia productiva. El desafío de modernizar su operatoria mediante la capacitación continua se impone entonces como una necesidad, a los fines de incorporar destrezas y tecnologías que permitan fortalecer el aparato productivo nacional.

2.

Descripción de los
principales procesos
y sus aspectos
ambientales

La industria de tratamientos superficiales satisface la demanda de productos o semielaborados con determinadas cualidades, tratándose en la mayoría de los casos de piezas, partes u objetos metálicos. Pero además se generan materiales residuales, tratándose en su mayor parte de efluentes de proceso que pueden resultar contaminantes, por lo que deben recibir un manejo adecuado, involucrando un costo adicional al proceso productivo.

A continuación, se presentan tres cuadros con las operaciones más comunes del sector y sus consecuencias no deseadas, agrupándolas según su naturaleza.

Operaciones mecánicas y sus aspectos ambientales más relevantes

Operación	Caracterización	Corrientes residuales y otros efectos no deseados
Arenado / blasting	Utiliza arena o esferas de vidrio para limpiar por proyección las piezas y dar una terminación regular.	Arenas con arrastre de metales, óxidos metálicos y aceites. Emisiones con material particulado.
Pulido	Diferentes operaciones con el objeto de limpiar, desbastar y pulir las superficies.	Abrasivos con aceites, grasas, detergentes, ceras, metales y óxidos. Ruidos y vibraciones.
Tamboreado y pulido por vibración	Procesos mecánicos que frotan en medio húmedo las piezas entre sí, a veces con chips cerámicos y/o aditivos de limpieza.	Aguas residuales con hidrocarburos y tensoactivos. Barros. Ruidos y vibraciones.

Operaciones físicoquímicas y sus aspectos ambientales más relevantes

Operación	Caracterización	Corrientes residuales y otros efectos no deseados
Limpieza con solventes	Se utilizan solventes orgánicos para eliminar grasas, ceras o aceites pesados de las piezas.	Solventes agotados que contienen sedimentos, grasas, ceras, aceites, entre otros. Vapores de solventes. Olores.
Limpieza alcalina	Uso de productos químicos específicos para la limpieza de las piezas.	Barros del proceso conteniendo tensoactivos, grasas y óxidos, entre otros. Baños de limpieza agotados. Aguas residuales de enjuague con tensoactivos y otros químicos.
Decapado	Utiliza ácidos, como clorhídrico o sulfúrico para limpiar de óxidos la superficie.	Baños de decapado agotados. Aguas residuales de enjuague conteniendo metales y bajo pH. Vapores ácidos.
Activación	Preparación de la superficie para una etapa posterior, como la inmersión previa a un cromado.	Baños agotados. Aguas residuales de enjuague conteniendo metales y bajo pH.
Recubrimientos de conversión	Recubrimientos de cromatos o fosfatos que se aplican a las piezas para proveer resistencia a la corrosión.	Baños agotados. Barros. Aguas residuales de enjuague con cromatos o fosfatos y metales diversos.
Metalizado químico	Se deposita un recubrimiento metálico sin pasaje de corriente, por reducción química.	Baños agotados. Aguas residuales de enjuague con metales y complejantes fuertes.
Recubrimientos plásticos y pinturas	Se aplican por inmersión o aspersión.	Residuos. Efluentes líquidos. Emisiones con vapores y sólidos. Olores.
Galvanizado en caliente	Las piezas se recubren por inmersión en un baño de cinc fundido.	Emisiones con alto contenido de sólidos, gases de combustión, humos. Aguas residuales de enjuague.
Tratamiento de aguas residuales	Remoción o eliminación de los contaminantes de las aguas residuales por operaciones físicoquímicas.	Residuos peligrosos (barros, aceites). Efluentes de tratamiento. Emisiones gaseosas irritantes, olores.
Tratamiento de emisiones	Remoción o eliminación de los contaminantes de las emisiones por reacciones físicoquímicas.	Polvos y otros residuos peligrosos. Aguas residuales. Emisiones gaseosas.

Operaciones electroquímicas y sus aspectos ambientales más relevantes

Operación	Caracterización	Corrientes residuales y otros efectos no deseados
Limpieza o desengrase electrolítico	Utiliza un baño alcalino con aplicación de corriente eléctrica para eliminar las trazas de suciedad presentes en las piezas.	Barro conteniendo tensoactivos, grasas, óxidos, etc. Baños agotados. Aguas residuales de enjuague que contienen tensoactivos y otros productos químicos.
Electropulido	Pulido utilizando el pasaje de corriente eléctrica, se aplica especialmente para el tratamiento de acero inoxidable.	Baños agotados. Aguas residuales de enjuague. Emisiones gaseosas (spray proveniente de los baños).
Anodizado	La pieza actúa como ánodo, formándose una delgada capa de óxido en su superficie. Especialmente usado para aluminio.	Baños agotados. Aguas residuales de enjuague. Emisiones gaseosas (spray proveniente de los baños).
Electrodeposición	Es la operación de acabado superficial más común. Utiliza corriente eléctrica para depositar el metal en la superficie de la pieza (cátodo). Por lo general implica la disolución del ánodo, que suele ser del metal a depositar.	Aguas residuales de enjuague. Barros con metales pesados y/o cianuros. Descartes, purgas y aguas residuales de operaciones de mantenimiento e los baños (filtrado, etc.). Eventuales descartes de baños contaminados.

En todas estas operaciones se generan materiales residuales en distinto estado (sólido, semi-sólido, líquido o gaseoso), y también ruidos, vibraciones y olores, según el caso. Todos estos aspectos se encuentran regulados por normativa específica, y muchos de estos materiales tienen características peligrosas que merecen especial atención. Algunas de las sustancias con características peligrosas que pueden estar presentes en los materiales residuales (sobre todo aguas y barros) son:

- **Compuestos cianurados:** cianuro de sodio, potasio, cinc, cobre, plata. Se encuentran en altas concentraciones en los baños de proceso, sus sedimentos y residuos de filtrado y decantación, y en bajas concentraciones en sus enjuagues.
- Los envases de cianuros y de cualquier otro material peligroso son considerados residuos peligrosos por la normativa ambiental vigente. Todo residuo peligroso (ver apartado 3.19) debe ser gestionado de forma adecuada.
- **Compuestos de metales pesados:** cromo, níquel, cadmio, cobre, cinc, etc. se utilizan principalmente en los baños de electrodeposición y se encuentran presentes en todas sus corrientes residuales.
- **Ácidos:** son de uso común el clorhídrico, el sulfúrico, el nítrico y el fosfórico. Son corrosivos y se utilizan en distintas concentraciones para ajustar el pH en diversos baños y en decapados. En general se encuentran acompañados de metales en solución.
- **Álcalis o sustancias cáusticas:** hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de potasio, productos de limpieza o baños de electrodeposición formulados con ellos. Al igual que los ácidos, son corrosivos y afectan el pH de las aguas residuales, aunque no siempre van acompañados de metales en solución.
- **Solventes orgánicos:** se utilizan sobre todo en operaciones de limpieza. Pueden clasificarse en clorados (como el tetracloruro de carbono y el tricloroetileno) e hidrocarburos. Los primeros poseen elevada toxicidad y son carcinogénicos, por lo cual su uso está prohibido en casi todos los países. No son inflamables y cumplen muy bien su función limpiadora, pero su volatilidad y su elevado peso molecular favorecen su penetración en el suelo y posterior contaminación de acuíferos.

- **Los hidrocarburos** son derivados del petróleo, aunque podríamos agrupar con ellos algunos alcoholes, éteres y cetonas. Todos son inflamables y sus vapores forman mezclas explosivas con el aire, pero su toxicidad es muy inferior a la de los clorados y su uso encuentra aplicación para piezas delicadas. Los solventes pueden estar presentes como vapores en emisiones gaseosas, pero también pueden encontrarse en materiales residuales sólidos, semisólidos y líquidos. El uso de solventes está cada vez más cuestionado por los riesgos que implican, lo cual está provocando a nivel global un desplazamiento hacia los sistemas de limpieza acuosos.
- **Aceites y grasas:** ingresan con las piezas a procesar, y egresan con los materiales residuales que se generan en las operaciones de limpieza. Estos materiales deben removerse de las aguas residuales y enviarse a disposición final junto a los residuos y barros que los contienen.

Para completar la visión de los aspectos ambientales significativos (aquellos con el potencial de causar un impacto ambiental relevante), hace falta incluir los ruidos y vibraciones producidas por algunos procesos mecánicos, y los olores, que pueden resultar molestos en el vecindario. Es muy común no prestarles demasiada atención por su aparente “invisibilidad” pero en áreas urbanas pueden constituir una potencial fuente de conflictos con posible afectación al normal desempeño de la actividad.

3.

Eficiencia
en los procesos.
Herramientas de
autodiagnóstico,
implementación
y gestión

3.1. Eficiencia en los procesos

En todo proceso industrial se consumen recursos (materiales, energía, mano de obra, etc.); para obtener productos (o servicios) que se comercializan, a veces se generan subproductos que pueden también comercializarse, o son retirados en forma gratuita; y también residuos en estado sólido, líquido o gaseoso, que no pueden utilizarse y por los cuales se debe asumir un costo de tratamiento o disposición final. Esto es válido para cualquier actividad que implique la transformación de materiales, y desde que el ser humano inició la primera industria, que fue la fabricación de herramientas de piedra, madera y hueso.

A continuación, un ejemplo sencillo y cotidiano:

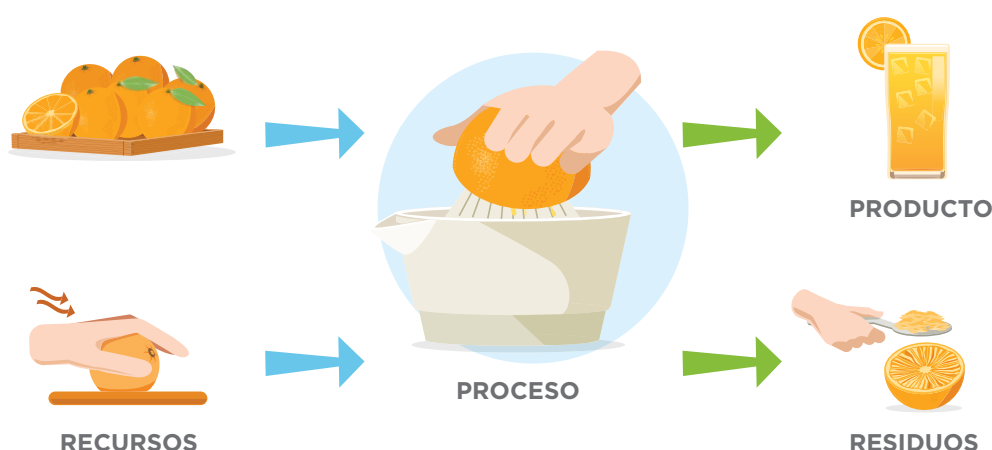


Figura 3.0. Eficiencia en procesos.

En general no suele prestarse atención a algunos factores que pueden influir en la cantidad de jugo que puede obtenerse, y la cantidad de residuos a disponer. Pero hay cantidad de preguntas que podrían hacerse:

RECURSOS:

¿las naranjas son de la mejor variedad para obtener jugo? ¿La relación cáscara / pulpa es favorable? ¿Están en su grado óptimo de madurez? ¿Fueron bien almacenadas o conservadas? ¿Se aplica la fuerza correcta para sacar todo el jugo posible?

PROCESO:

¿el exprimidor es el más adecuado, su tecnología es la mejor? ¿Funciona correctamente, se le ha hecho el mantenimiento necesario? ¿Se recoge todo el jugo, o parte gotea o se derrama? ¿Se exprime jugo para todo el día de una vez, o se usa varias veces por día, lo cual obliga a limpiarlo varias veces, lo que implica usar más recursos y generar más residuos?

PRODUCTO:

¿se produce la cantidad exacta que se va a consumir? ¿Se almacena en condiciones adecuadas para prevenir pérdidas? ¿Cumple con las especificaciones esperadas?

RESIDUO:

¿se puede hacer algo para evitarlo, o generar menor cantidad? ¿Se puede hacer mermelada con las cáscaras y hollejos? ¿En lugar de tirarlo, lo podrá aprovechar alguien?

Independientemente de las respuestas del caso, se pueden sacar algunas conclusiones:

- No es lo mismo obrar con eficacia (hacer jugo de naranjas) que hacerlo con eficiencia (obtener la cantidad de jugo necesaria, de la calidad requerida, con el menor consumo de recursos y la menor generación de residuos).
- Los costos operativos de un proceso eficiente son siempre menores a los de aquel que no lo es. Una empresa más eficiente siempre será más rentable, y sus productos y servicios más atractivos a los clientes.
- Siempre se puede mejorar un proceso o actividad. Requiere hacerse las preguntas oportunas en forma permanente.

En un mercado con libertad de elección, la calidad y el precio son los factores más importantes frente a una toma de decisión.

La calidad es un requisito que la empresa debe cumplir si pretende vender sus productos o servicios, pero alcanzarla y mantenerla requiere una cierta capacidad de gestión.

El precio de venta puede definirse como la suma del costo de producción y la utilidad que le queda a la empresa. En forma de ecuación sería:

$$\text{Precio de venta} = \text{costo de producción} + \text{utilidad}$$

En la actualidad, en el sector que nos ocupa el empresario no puede decidir arbitrariamente qué precio de venta establecer. Si supera al promedio del mercado, los clientes comprarán a la competencia. Si es muy bajo, es posible que venda mucho, pero corre el riesgo de no cubrir el costo de producción. Las posibilidades de influir en el precio son reducidas, y están por lo general asociadas a la escala del proceso.

¿Qué ocurre del otro lado de la ecuación? Hay dos factores. Si uno se incrementa, el otro necesariamente debe disminuir. Hay dos posibilidades:

$$\text{Precio de venta} = \text{costo de producción} + \text{utilidad}$$

$$\text{Precio de venta} = \text{costo de producción} + \text{utilidad}$$

La empresa que tenga elevados costos de producción, tendrá menores utilidades, por lo cual le será difícil acceder a los mejores recursos humanos y materiales, no podrá mantenerse al día con los avances tecnológicos y será vulnerable a los vaivenes de la economía local y global.

Queda claro que el empresario que pretenda ser sustentable y prosperar, debe enfocarse en la reducción de los costos de producción, lo cual incrementará sus utilidades.

Si bien los costos no son el objetivo principal de esta guía, no puede dejarse de lado su consideración, ni olvidar la recomendación de estudiar continuamente su estructura, composición y dinámica, ya que ellos definen el éxito o el fracaso de la empresa.

Pero, ¿cómo hacer que los costos de producción se reduzcan? Un ejemplo universal podría mostrar la estrategia a seguir.

Toda industria consume energía eléctrica. Para la mayoría es un factor a considerar en la estructura de los costos, cuyo proveedor es monopólico, es decir que no puede optar por otros ni influir en el precio. Se deben entonces considerar ciertas cuestiones: ¿todos los artefactos y equipos que utilizan energía eléctrica son eficientes? El caso más común es la iluminación: el reemplazo de artefactos tradicionales (los que probablemente estén en uso en la empresa) por luminarias LED puede reducir el consumo/costo operativo de las luminarias entre un 50 % y un 90 % dependiendo de la situación inicial, sin olvidar que la vida útil de las lámparas se puede incrementar entre 10 y 30 veces. La pregunta tuvo su respuesta y el costo se redujo, lográndose así el objetivo buscado.

Pero, ¿no hay más preguntas que hacer? Es muy común que la primera opción a considerar sea la tecnológica, y se pierda de vista a otras más sencillas o modestas, pero no menos relevantes, como: ¿el nivel de luminosidad es el requerido para las tareas desarrolladas? ¿se puede aprovechar la luz natural? Cuando no hay nadie trabajando en un sector, ¿se apagan las luces? Podrían formularse otras preguntas, algunas de las cuales conducirían a mayores ahorros, y muchas de ellas podrían implementarse sin costo o con muy baja inversión. Esto es válido también para todas las máquinas y equipos de la planta, y en realidad, para todos los recursos que se utilizan. A través de este simple ejemplo se pueden visualizar dos caminos para mejorar la eficiencia:

- **Eficiencia tecnológica:** ¿la firma se mantiene actualizada sobre los progresos que se producen día a día?
- **Eficiencia de proceso:** ¿los procesos se relevan periódicamente en busca de reducir las pérdidas y aumentar los rendimientos y la calidad?

Ambos enfoques son complementarios. El primero suele tener como desventaja los costos; el segundo la resistencia al cambio, factor eminentemente humano. Pero al aplicarlos la empresa se volverá más eficiente, sus costos de producción bajarán progresivamente, y la calidad irá mejorando. Se puede decir que **la búsqueda de la eficiencia es una estrategia de prevención evita los desperdicios trabajando sobre las causas, no sobre los resultados. La empresa se vuelve sustentable.**

Las estrategias de prevención no son nuevas y reciben muchos nombres: prevención de la contaminación, producción más limpia, ecoeficiencia, productividad verde, etc., pero todas tienen un común denominador: la búsqueda de la eficiencia. En otras palabras, no convertir en residuo lo que se compró para hacer producto. Hay acciones que son comunes a todas ellas, como:

- **Cambio en las materias primas, insumos y/o materiales:** elegir materiales con menor o ningún grado de peligrosidad, con menor relación envase/embalaje por unidad de producto, y que generen menos contaminantes al ser usados. Ej.: reemplazo de limpieza con solventes por desengrase acuoso.
- **Cambio en los procesos productivos mejorando prácticas o tecnología de producción:** mejorar la utilización de los espacios (layout), eliminar los movimientos innecesarios, mejorar las prácticas de enjuague, escurrido y limpieza; mejorar el control de parámetros de proceso, implementar sistemas de gestión, programación de la producción y de compras.
- **Cambio o rediseño de productos:** aumentar la vida útil de los productos, realizar acuerdos con clientes y proveedores, reducir el uso de materiales de embalaje.
- **Reciclado, reutilización o reducción de desechos:** reutilizar el agua de enjuagues, recuperar productos químicos, emplear envases reutilizables, valorizar los residuos.
- **Eficiencia y racionalidad en el uso de la energía y de los materiales:** evitar pérdidas de calor o frío en los procesos, mejorar la tecnología de rectificadores, motores y luminarias, aprovechar la luz diurna, reemplazar energías no renovables (fósiles) por alternativas.

Se puede concluir que el eje de la producción sustentable está en la continua mejora de la eficiencia y en la cotidiana aplicación de las estrategias preventivas. Pero, ¿cómo aplicarlo en cada empresa, si todas son distintas? Una alternativa para comenzar a transitar este camino incluye la realización de un autodiagnóstico o línea de base que permita identificar las oportunidades de mejora de cada empresa. Este proceso, de características críticas respecto del propio quehacer cotidiano, comienza con preguntas tales como ¿por qué se hacen las cosas de esta manera?, ¿existen alternativas?, ¿es necesario incrementar los costos, o una mayor eficiencia permitiría reducirlos? Para ello existe metodología que permite direccionar estos procesos.

Corresponde señalar que no existe una sola metodología, ni que la misma será la mejor para todos los casos posibles, por lo que se invita al lector a introducir las correcciones que la propia experiencia le indique. No obstante, es bueno tener alguna para empezar, que luego será cuestionada y mejorada como un proceso más de la empresa.

El resultado de un autodiagnóstico (o línea de base) de la empresa, será la detección de problemas y de oportunidades de mejora que, inicialmente, pueden resultar abrumadores. ¿Por dónde empezar? Una posibilidad es utilizar una planilla de ponderación, para poder comparar y elegir aquello que conviene acometer primero, por ejemplo, por ser más fácil y de bajo costo y con un resultado más rentable.

Por último, es recomendable traducir los problemas detectados en un plan de mejoras que considere para las mismas el tiempo, los recursos necesarios, y los responsables, pero sin dejar de lado el estado inicial y los costos por ineficiencia detectados, a los fines de proyectar la mejora y posteriormente medir los resultados. Esta secuencia de pasos es una forma racional y eficiente para alcanzar las metas planteadas, habiendo sido demostrada su utilidad por cantidad de firmas de muchos sectores en el ámbito nacional.

3.2 Principales herramientas para un autodiagnóstico

Iniciar un autodiagnóstico de la propia empresa requiere dar algunos pasos previos a la acción efectiva. El primero es lograr el compromiso del mando superior (dueño, director, o gerente) quien debe estar convencido que no es posible mejorar algo si se ignora cómo funciona. El segundo, es una actitud cooperativa. Debe involucrarse a todo el personal, ya que todos conocen una parte del proceso y, con el aporte de todos, se pueden reunir y relacionar la totalidad de los datos permitiendo identificar los problemas para su solución. Importa aquí observar que se buscarán problemas a resolver, y no responsables. Si no se plantea un diálogo franco y de respeto, el personal será reticente a colaborar y el auto-diagnóstico fracasará. El diálogo, debe comenzar explicando a todos qué se quiere hacer, para qué y cómo. El respeto y la humildad resultan un complemento necesario para que puedan resolverse los conflictos que inevitablemente surgen en este proceso, ya que cada persona tiene su punto de vista y probablemente no coincida con otros. También es posible que se planteen actitudes de resistencia frente al cambio que son habituales en este tipo de procesos y se superan generando un clima de confianza y colaboración.

La materia prima para una línea de base es la información, y seguramente mucha de ella se encuentra disponible pero dispersa, por lo que debe ser encontrada y ordenada.

A continuación, se sugiere una lista que puede facilitar el trabajo de búsqueda inicial:

- Planos de la empresa (edilicio, electricidad, agua, gas, etc.). Lay out (disposición de áreas y equipos).
- Facturas de servicios (consumos históricos).
- Habilitaciones, permisos, intimaciones, sanciones, multas.
- Diagramas de flujo de los procesos.
- Sistemas de gestión, buenas prácticas, capacitación.
- Materias primas, insumos, productos. ¿Cuáles son? ¿Cuánto se usa?
- Materiales residuales que se generan, cantidad, tipo, tratamiento, disposición.
- Relevamiento de la normativa aplicable a la empresa.

Estos son algunos aspectos a considerar y según el caso, la lista puede ampliarse o reducirse.

Cerrando los preparativos previos, corresponde considerar un obstáculo que siempre se presenta en estos casos: la consentida convivencia con algo que no funciona bien o está en mal estado, pero no tanto como para que se solucione de inmediato. El vidrio rajado, el caño que gotea detrás de la cuba, nada grave, si se lo mira individualmente; pero la sumatoria de estas “pequeñeces” termina acumulando costos no contemplados. ¿Cómo reaccionar frente a lo que vemos a diario y reconocerlo como una pérdida de recursos (calor, energía, reactivos químicos, agua)?

Una posibilidad es cambiar el punto de vista, mirando desde otro lugar y con una perspectiva más exigente que nos permita ver la raíz de los problemas.

Posicionamiento en el espacio. Layout

Toda empresa posee planos de obra, instalaciones eléctricas, de agua, gas, desagües, uso de sectores, etc. Se utiliza el término layout para la representación sobre un plano de edificación de las líneas de producción, maquinarias, servicios auxiliares (generación de vapor, aire comprimido, frío, etc.).

El mismo permite tener una visión de la distribución de los procesos, que puede mejorarse marcando sobre el plano el circuito que recorren las piezas durante su tratamiento, y también los recorridos del agua y los desagües de las distintas corrientes de efluentes que se generan.

Para el caso es común observar avances y retrocesos, bucles y demás movimientos vinculados a la tarea productiva que pueden mejorarse ahorrando tiempo y esfuerzo, y que involucran un costo. Por lo general, estas ineficiencias derivan de la adaptación de la configuración de los procesos a la edificación preexistente. En otros casos sucede que los procesos van cambiando a lo largo del tiempo para atender nuevas demandas del mercado o incorporar nuevas tecnologías o servicios, con lo que el diseño original no se adecua a las nuevas condiciones. Un layout actualizado permite identificar los movimientos innecesarios, y corregir la ubicación de los procesos y maquinarias para evitarlos, así como también reducir pérdidas por el manejo inadecuado de piezas (por ejemplo, durante los movimientos de piezas pueden producirse goteos que además de derramar contaminantes, deterioran las instalaciones).

Algunos consejos útiles: si no se dispone de un layout actualizado, se puede dibujar sobre fotocopias de los planos. Si son confusos, una aproximación realizada a mano alzada (dibujo) también ayuda. Otra opción es recortar siluetas de planta de las maquinarias y cubas y presentarlas sobre el plano; respetando la escala se pueden acomodar las siluetas para ensayar nuevas posiciones. Por último, si no se dispone de planos, se pueden ha-

- | Referencias | |
|-------------|---|
| 1. | Desengrase en tambor |
| 2. | Desengrase manual |
| 3. | Enjuague |
| 4. | Decapados |
| 5. | Neutralizado |
| 6. | Línea de cincado en tambores, ver detalle en hojas siguientes |
| 7. | Máquinas secadoras |
| 8. | Pasivado y sellado para auto motrices |
| 9. | Horno secado de piezas y barras de tratamientos Cr |
| 10. | Rectificadores corriente |
| — | Resalto de contención |

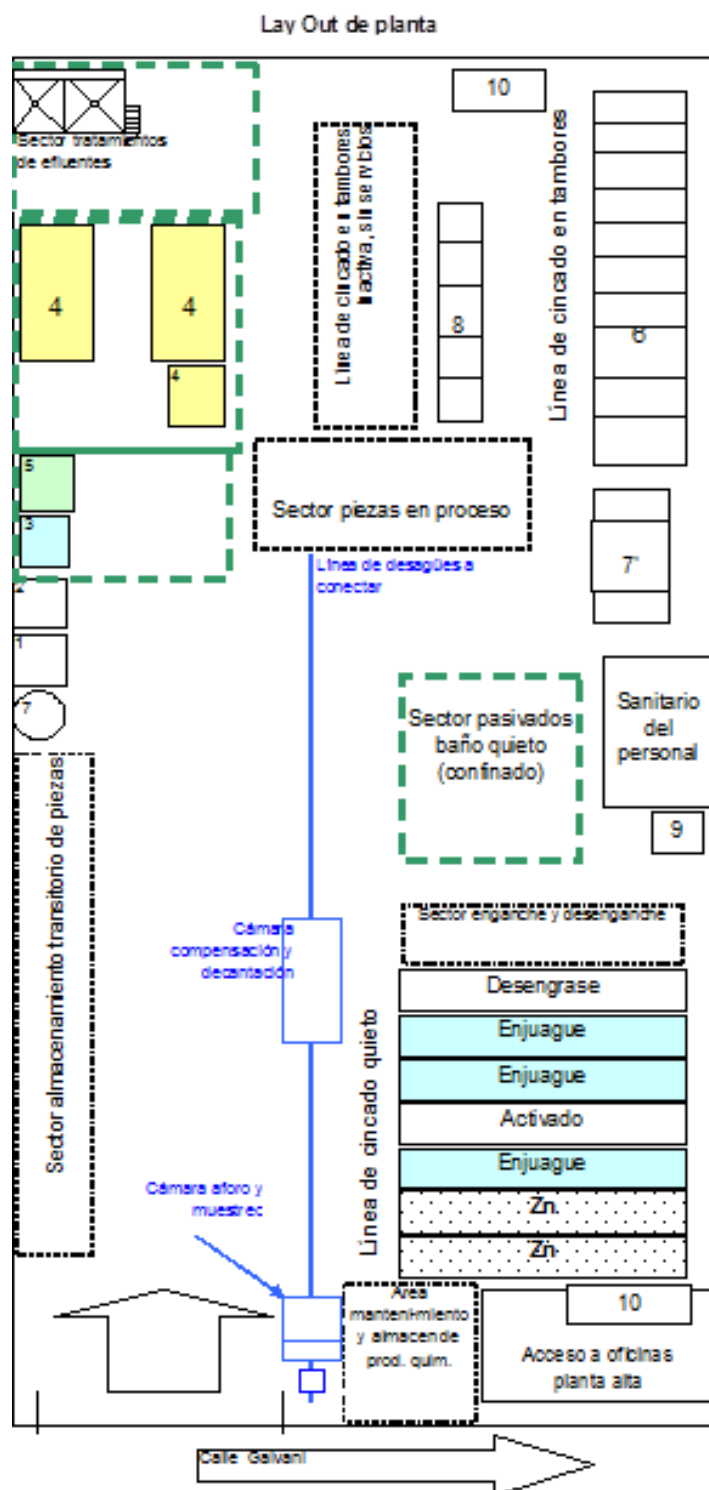


Figura 3.1. Ejemplo de layout confeccionado con un software básico.

Diagramas de flujo - Análisis cualitativo

Como fue visto anteriormente, los procesos de tratamientos superficiales requieren que se siga una secuencia que ha sido determinada originalmente en el diseño de la planta, y posiblemente haya sufrido modificaciones derivadas de la necesidad o conveniencia. Una forma de expresarlo en forma abstracta para su comprensión es el diagrama de flujo de procesos, donde se representan las distintas operaciones como bloques de proceso, siguiendo un orden desde que la pieza ingresa al tratamiento hasta que sale terminada, como se ilustra a continuación:

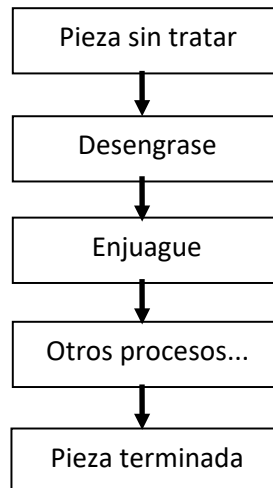


Figura 3.2. Ejemplo de diagrama de flujo de proceso.

Posteriormente, sobre el mismo esquema, se incluyen los materiales e insumos que entran y que salen de cada bloque de proceso (en sentido horizontal), como se ilustra a continuación:

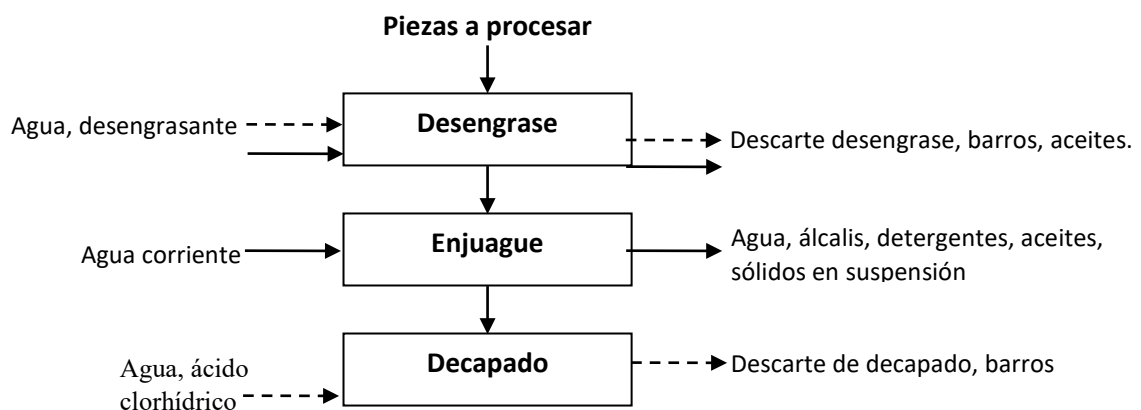


Figura 3.3. Ejemplo de diagrama de flujo de materiales.

Se puede apreciar en el ejemplo que algunas flechas de entrada / salida son llenas y otras se dibujan con línea de puntos, simbolizando la primera el flujo continuo (agua de un enjuague corriente o gas para la calefacción del desengrase) y la segunda el discontinuo (agua y desengrasante que se cargan en la cuba solo cuando se prepara el baño, o se le hace mantenimiento). Un ejemplo de diagrama de flujo de procesos más completo, puede observarse a continuación:

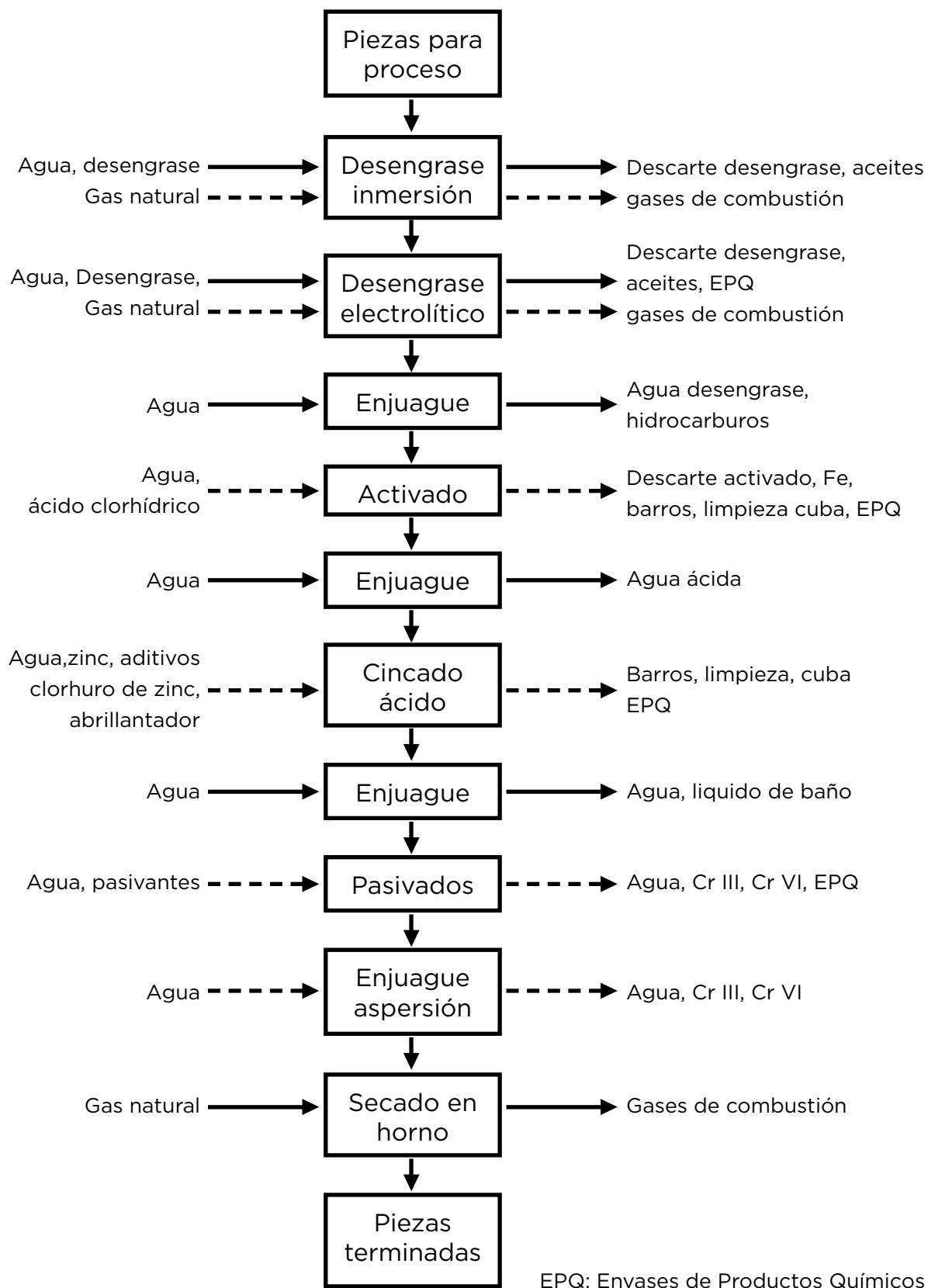


Figura 3.4. Diagrama de flujo de materiales de un proceso de cincado

El proceso no necesariamente debe ser lineal, puede tener derivaciones alternativas, o incluir procesos auxiliares como generación de frío, calor, aire a presión o tratamiento de efluentes, pero en todos los casos se debe respetar el formato. Con esta herramienta de análisis, **pueden identificarse las operaciones donde se consume agua, materiales, energía, etc., y los puntos donde se generan efluentes, residuos o emisiones que deben recibir algún tipo de tratamiento.** Es decir, el diagrama de flujo facilita visualizar posibles ineficiencias del proceso, que conllevan un costo (por desperdicio de recursos), y que al mismo tiempo promueven la generación de corrientes (o materiales) residuales que también tienen costos asociados a su tratamiento o disposición. Al incrementar la eficiencia, se reducen los costos de los insumos para el proceso (energía, materiales, mano de obra), y disminuyen las cantidades de residuos a tratar; reduciendo los costos y minimizando los impactos de la actividad. La ubicación de los puntos de consumo y de generación de residuos y efluentes debe confrontarse con el lay out, lo cual permitirá analizar otros aspectos tales como donde almacenar los materiales, la posibilidad de segregar corrientes de efluentes de proceso (aguas residuales) a las que les corresponda un tratamiento común o compatible, cuestiones relativas a seguridad y contingencias, logística, etc.

Se logra así reconocer los puntos críticos del proceso y la ubicación física de cada ingreso o salida del sistema. Una vez alcanzada esta instancia, es necesario “hacer números” (cuantificar los procesos).

Diagrama de flujo. Análisis cuantitativo

En esta etapa se representa la planta y sus procesos como una caja negra, atravesada en sentido vertical por las piezas a procesar, y en sentido horizontal por las entradas del proceso (Insumos, materiales, agua, energía a la izquierda) y las salidas del sistema (residuos, emisiones y aguas residuales a la derecha).

Este diagrama se utiliza para cuantificar las corrientes de entrada y salida, por lo cual el primer paso es determinar un período de tiempo que sea representativo de un ciclo operativo de la empresa, definido como el lapso que contemple el promedio de consumos y producción. Dentro de ese período se deben realizar las compras promedio (muchas empresas compran lotes importantes de metales o productos químicos una o dos veces al año), por lo cual no se recomienda utilizar una base mensual, en todo caso puede referirse un promedio mensual basado en una cuantificación anual o de los últimos 12 meses. La producción debe incluir los productos cotidianos y los estacionales. Para este trabajo se requiere la participación de personal administrativo. En el caso en que la administración se encuentre parcialmente tercerizada o no se acostumbre a realizar un inventario mensual de materiales (que permita conocer los consumos), deberán tomarse los recaudos del caso para recopilar tal información.

A continuación, se definen algunos conceptos útiles a fines del trabajo a realizar en esta etapa: Clasificación de entradas y concepto de valor: se deben clasificar todos los materiales que entran al proceso, de acuerdo con su naturaleza y función.

Materiales de valor: son aquellos que forman parte del producto final (a entregar). Pueden incluirse las piezas a procesar, las materias primas (si se fabrica la pieza en la planta), y los metales u otros compuestos que la recubren como pieza terminada.

Materiales de no valor: son aquellos que no forman parte del producto final y deben ser eliminados; se pueden mencionar la suciedad de las piezas (óxidos, grasas, aceites, tierra, pinturas, etc.) y los materiales de embalaje y envases que contienen materiales auxiliares y en algunos casos, los de valor.

Materiales auxiliares: son aquellos que no forman parte del producto final, pero cumplen una función auxiliar, como desengrasantes y ácidos (se utilizan para la limpieza de las piezas).

El objeto de esta clasificación es conducir a una reflexión. Tanto los materiales de no valor como los auxiliares, luego de ser utilizados en el proceso no formarán parte de los productos, sino que serán transformados en residuos sólidos, diluidos o arrastrados en las aguas residuales, o como parte de las emisiones, todo lo cual tiene un costo de tratamiento o de disposición, que se incrementa cuando se trata de materiales peligrosos.

Luego, **el costo real de un material o insumo es el precio de su compra, más el costo por la adecuada gestión (tratamiento y disposición) de la fracción transformada en residuos.**

Cuando se presupuesta el tratamiento superficial de un determinado material, suele no tomarse en cuenta las condiciones de entrega (si está libre o no de óxido, suciedad o virutas), que pueden tener (para su remoción se requerirá más trabajo, energía y productos químicos y se generará una mayor cantidad de residuos). Para todos los materiales a procesar en la empresa, la proporción valor/ no valor es variable, por lo cual debería ser considerado y discutido con el cliente o proveedor para tratar de evitar asumir costos asociados con la ineficiencia o el descuido de terceros. Algo tan sencillo como una logística sensata puede lograr que las piezas no lleguen oxidadas o sucias; o que la compra de productos químicos implique menor cantidad de envases y embalajes, solo es necesario explicar estos conceptos, que pueden ser adoptados por los terceros para su propio beneficio ².

Proceso productivo global un año de trabajo

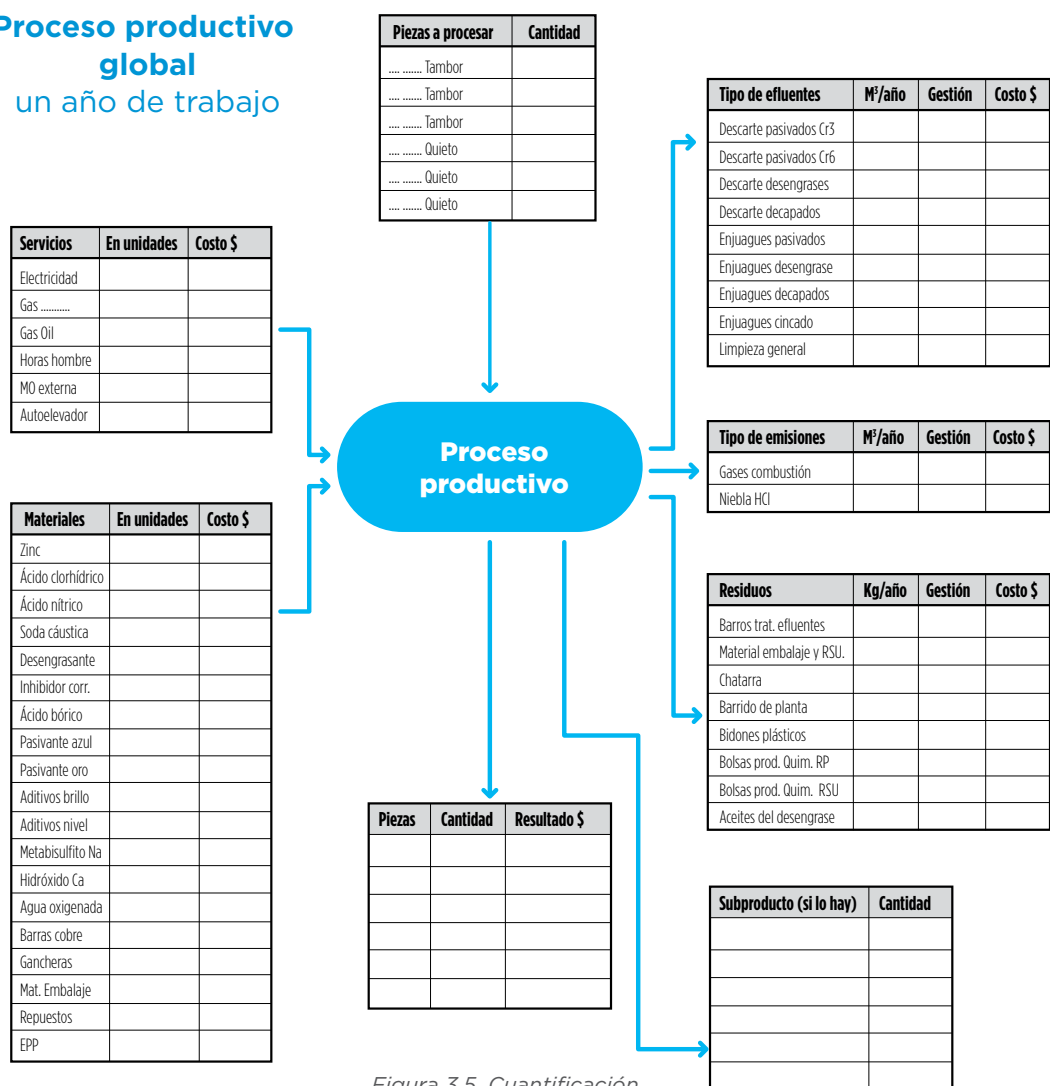


Figura 3.5. Cuantificación del flujo de materiales

² Estos aspectos relacionados con los materiales de “no valor” serán abordados nuevamente en 4.10

SENTIDO VERTICAL:

Para el lapso de tiempo establecido, se indica en la tabla superior el promedio de piezas en kg, dm², unidades, o con la unidad que la empresa utilice habitualmente (si bien el mejor indicador es la cantidad de superficie procesada), pudiendo detallarse el tratamiento (cincado, niquelado, fosfatizado, pintura, etc.) y el sistema (tambor, baño quieto, etc.). En la parte inferior debe constar la cantidad de piezas tratadas que cumplen con los requisitos de calidad habiendo sido procesadas una única vez. Esto implica llevar un estricto control sobre las piezas que se rechazan y deben ser reprocesadas, y permite determinar el índice de rechazo. Una pieza reprocesada tiene un costo mayor al doble que el normal, porque debe ser desplazada y vuelta a procesar, con los correspondientes gastos de mano de obra, insumos, amortización y la generación de residuos extra a gestionar. Podría entonces decirse que el material de rechazo que debe reprocesarse es el que cuesta más caro y el que más impactos ambientales genera.

Un índice de rechazo superior al 1,5 % es común en este sector industrial. Si se estima el costo asociado (multiplicando el costo de esa proporción de la producción por un factor conservador de 2,5), podría justificarse la inversión en gestión de la calidad, o al menos prestar más atención a este tema y trabajar en su mejora.

SENTIDO HORIZONTAL:

Se representan en este sentido los flujos de entradas a la izquierda (mayormente materiales auxiliares), y salidas a la derecha (en su mayoría materiales residuales).

ENTRADAS AL SISTEMA:

Se recomienda el uso de dos tablas. En la superior (servicios) se detallan insumos que se utilizan a granel (fluidos) como: agua, energía eléctrica, gas, etc.; también se incluyen otros componentes o factores de costo como mano de obra, análisis, etc. En la inferior (materiales) se listan los materiales de valor y los productos químicos. El primer paso es llenar la primera columna a modo de inventario, copiando todas las entradas que se ubicaron a la izquierda en el diagrama de flujo de proceso. El segundo paso es agregar los datos de consumo correspondientes para el período de tiempo establecido (generalmente anual o promedio mensual con base anual), con las unidades correspondientes, para lo cual se recurre a registros (compras, consumo y stock). Ligada a esta información, debe solicitarse a la administración el precio de cada material o servicio para completar la tercera columna ³ (costo \$). Esta etapa del auto-diagnóstico debe ser respetada rigurosamente, bajo riesgo de invalidarlo. Los datos que se vuelcan deben estar respaldados por las correspondientes mediciones y registros administrativos, ya que el diagrama de flujo de materiales es fundamental para establecer la “línea de base” en la gestión productiva y ambiental de la empresa; el punto de partida contra el cual se compararán las mejoras implementadas a posteriori, con objeto de conocer desde el punto de vista cuantitativo (cantidades y costos) el impacto de las mismas.

SALIDAS DEL SISTEMA:

Se trata de tres tablas que contemplan las salidas “no deseadas” o materiales residuales del sistema, según su estado: líquido (efluentes), gaseoso (emisiones) y sólido (residuos). La cuantificación de estas corrientes suele enfrentar algunas dificultades ya que, salvo contadas excepciones, la mayoría de las compañías no suelen llevar un registro de los materiales resi-

³ Como el período que se define al principio puede llegar a abarcar un semestre o un año, debe tenerse en cuenta el ajuste por inflación o evolución de los precios.

duales o desperdicios, dado su valor escaso o nulo, y en el caso de los residuos, su posible valoración depende de factores como la cantidad generada y la concentración o contenido de materiales de interés. Considerando que los residuos no pueden ser a priori valorizables, su tratamiento y disposición adecuada conlleva un costo que debe ser evaluado.

TIPO DE EFLUENTES:

Las distintas operaciones que componen los procesos generan corrientes de aguas residuales que varían en su composición y en su modo de vuelco (continuo o discontinuo). Primero deben identificarse los puntos de generación (ver diagrama de procesos y layout), medir sus respectivos caudales y agruparlas según su naturaleza. La posibilidad de medición de caudales puede no estar prevista en la configuración de los equipos, pero pueden utilizarse estrategias como vaciar parcialmente las cubas y medir el tiempo que tarda el líquido en subir una determinada altura, etc. La etapa de autodiagnóstico (o generación de línea de base) por sí misma no justifica la instalación de caudalímetros (aunque es posible que más adelante sea considerado necesario), por lo cual los caudales parciales se pueden medir de la forma ya mencionada o con un recipiente de volumen conocido y un reloj. Por ejemplo: la empresa cuenta con una línea de producción donde hay desengrasados de inmersión y electrolíticos, con enjuagues simples. En el diagrama de procesos aparecerán dos puntos de generación de descartes de desengrasantes (discontinuos y concentrados) y otros dos de enjuagues (continuos y diluidos). Luego, en el diagrama de flujo de materiales se utilizará un renglón para “descarte de desengrasados”, en el que se consignará el volumen descartado de los dos baños en el tiempo que se determine analizar; y otro renglón para “enjuague de desengrasados”, en el que se consignará el volumen emitido de los dos enjuagues durante el período de análisis adoptado. De igual forma se procederá para las otras corrientes de efluentes (decapados, pulidos por vibración, baños de electrodeposición, pasivados, etc.). En la siguiente columna (gestión) se debe indicar el destino de la corriente (tratamiento o descarte directo) y en la última (costo \$) el costo asociado, si se conoce, y si no una estimación.

La sumatoria de la segunda columna (m³/año) debe indicar el total de agua que utiliza la empresa, por lo cual debería ser contrastado con el registro de provisión o extracción, si se dispone. Salvo casos particulares, las pérdidas por evaporación no son significativas. Si se utiliza agua de refrigeración a circuito abierto, hay que incorporarla como una corriente más, aunque su composición no se modifique.

Si la empresa posee laboratorio propio, puede ser recomendable analizar los parámetros críticos de cada corriente, caso contrario, reservar los recursos para utilizarlos en lo que el autodiagnóstico indique.

TIPO DE EMISIONES:

El primer paso es ubicar las fuentes y listarlas a modo de inventario en la primera columna. Si estas son significativas por su caudal o composición, deberán ser relevadas por especialistas. Los ruidos y vibraciones se incorporan en esta tabla con fines cualitativos. Si el nivel de ruidos o vibraciones es intenso, también se recomienda hacer alguna consulta con un experto.

RESIDUOS:

Nuevamente se debe prestar atención al inventario de entradas; la mayor parte de los

materiales incluye componentes de no valor (envases, aceites, etc.), que terminan separándose como residuos. Otros se producirán en los procesos (ej. barros de purificación de baños o tratamiento de aguas residuales), en el mantenimiento, expedición, etc. La lista se completa examinando los recipientes de basura, y cualquier material o elemento que se descarta o dispone. La cuantificación de todas estas corrientes enfrentará diversos grados de dificultad; algunas se infieren directamente a partir de las corrientes de entrada; otras deben segregarse y pesarse, lo cual requiere trabajo específico. En muchos casos deberán estimarse, ya que para un período semestral o anual se pueden ubicar con cierta facilidad datos de consumo o compras, pero no se puede “volver en el tiempo” a pesar residuos, por lo cual se realizará la cuantificación durante un período más reducido y el resultado se extrapolará a fines de no demorar innecesariamente el autodiagnóstico.

Conocer las cantidades de residuos generadas puede llevar a considerar la posibilidad de valorizar o vender parte de ellos, si de alguna manera se justifica económicamente. Por ejemplo, en lugar de descartar pequeñas cantidades de chatarra cada semana, se puede almacenar y vender en forma periódica.

Como en los casos anteriores, se deberá consignar la gestión aplicada a los residuos y el costo asociado a la misma. Los barros merecen un párrafo especial, ya que en todos los casos son considerados residuos peligrosos por las normas vigentes y en general su gestión externa (transporte, tratamiento y/o disposición final), tiene un costo significativo. La humedad de los barros puede variar ampliamente, pero es frecuente que el contenido de agua varíe entre el 60 y el 95 %, por lo cual es importante determinar este parámetro y considerar la posibilidad de reducirla, por ejemplo, utilizando un filtro prensa.

Si la empresa ha llegado de manera exitosa a este punto, puede afirmarse que conoce su “línea de base” y, sobre todo, los costos de sus procesos con un grado importante de detalle. Pero lo más importante es que para llegar a este momento, todos los involucrados tuvieron que ver su trabajo desde otro punto de vista, recorriendo minuciosamente todos los procesos, comprometiéndose en la búsqueda de información; y seguramente se han detectado en el proceso muchas oportunidades de mejora.

Listas de chequeo

Son herramientas muy efectivas para realizar un autodiagnóstico, ya que compilan preguntas para guiar en el relevamiento, y a veces incluyen la mención de posibles medidas a aplicar. Al inicio de esta guía se destacó la importancia de las preguntas, imprescindibles en un proceso de mejora continua. Una lista de chequeo comienza a utilizarse luego de haber realizado la revisión del proceso o de la planta. A modo de ejemplo se adjunta en el Anexo I un modelo de lista de chequeo, que puede ser adaptada según necesidad.

Resumen del autodiagnóstico

Habiéndose cumplido todos los pasos del autodiagnóstico, los resultados deben ser documentados. No es necesario redactar un informe o reporte pormenorizado. Pero en el mismo deben incluirse las últimas versiones de los diagramas y layout (necesarios para futuras actualizaciones), y confeccionar un listado de los problemas o no conformidades a resolver (ordenado según su importancia) hallados en el proceso de autodiagnóstico; y de ser posible, agrupados por áreas de afinidad (agua, materiales, mantenimiento, etc.), para facilitar su identificación. Esa lista refleja las dificultades a superar para mejorar el desempeño productivo. En realidad, cada problema debe ser visto como una oportunidad de mejora, de ahorro de tiempo, esfuerzo, dinero y conflictos, como un paso más hacia la sustentabilidad ambiental y productiva de la actividad.

3.3 Principales herramientas de implementación y gestión

Luego de finalizado el autodiagnóstico, es necesario establecer un orden de prioridades para poder abordar los problemas o no conformidades de la lista. Como fueron identificados en un trabajo de equipo, sería natural que existan distintas opiniones sobre por dónde empezar y qué hacer en cada caso. Por ello es necesario definir criterios para evaluar y priorizar acciones, aplicando algunas herramientas como las que se presentan a continuación.

Matriz de evaluación de oportunidades de mejora

Esta evaluación no se enfoca solo en el ambiente, sino que considera múltiples aspectos que se deben tener en cuenta al momento de tomar decisiones.

Se utiliza un sistema de puntuación con valores consensuados entre los participantes. Debe tenerse en cuenta que algunos de los aspectos a evaluar no son fácilmente cuantificables y se verán afectados por la apreciación subjetiva de cada uno de ellos. A continuación, un ejemplo de aplicación:

Área del problema	Problema identificado	Criterio de valoración					
		E	G	A	L	S	Puntaje

Como se sugirió en 3.5, los problemas, aspectos o no conformidades deben agruparse por áreas de afinidad, ya que es muy probable que la medida que se pretende aplicar a uno de ellos tenga también influencia sobre otro relacionado con las mismas causas.

Los criterios de valoración son:

ECONÓMICO (E):

¿cuánto afecta económicamente a la empresa este aspecto o problema? El impacto debe analizarse con una visión amplia (por ejemplo, un insumo de bajo costo puede traer aparejados problemas de calidad, seguridad operativa y/o ambiental). No debe buscarse un valor absoluto del costo, se trata de una calificación subjetiva que se debe acordar entre los participantes de la evaluación.

GESTIÓN (G):

¿cuánto afecta este problema a la gestión de la empresa? En este punto se analizan todos los inconvenientes, demoras, restricciones, afecciones de trabajadores y paradas de planta, todo con relación a un determinado problema o aspecto.

AMBIENTAL (A):

pondera el impacto sobre los diferentes componentes del ambiente natural (agua, aire, suelo, etc.). Es recomendable la participación de un asesor o especialista. Deben incluirse las consecuencias asociadas a las corrientes residuales generadas, así como también el impacto generado por la demanda de recursos (agua, energía).

LEGAL (L):

¿el problema bajo análisis se encuentra regulado por alguna normativa? Debe establecerse si el aspecto o problema se encuentra regulado por la normativa ambiental vigente, y su grado de cumplimiento, para evitar posibles sanciones, multas, etc. En este punto también puede resultar necesario recurrir a un profesional en la temática.

SOCIAL (S):

¿cómo afecta el problema a la relación de la empresa con su entorno y vecinos? Estas relaciones son frágiles, y el deterioro de la imagen de la empresa en el vecindario puede dar lugar a denuncias, conflictos, y en ciertos casos afectar la continuidad de la empresa en el lugar.

Valoración de los impactos

Se puede utilizar la siguiente escala para ponderar el impacto:

0: impacto nulo; 1: impacto bajo; 2: impacto moderado y 3: impacto alto. Como se mencionó anteriormente, estos valores deben ser consensuados entre los participantes de la evaluación, y aunque su ponderación es bastante subjetiva, la experiencia ha demostrado que los acuerdos se logran rápidamente.

Deben tenerse en cuenta los impactos reales y en la medida de lo posible los impactos potenciales, planteando escenarios de eventuales accidentes o contingencias (derrames, lesiones, incendio, explosiones, etc.).

La evaluación comparativa se realiza sumando en sentido horizontal los puntajes parciales. Ello mostrará los puntajes finales de cada uno de los aspectos analizados, lo que permitirá establecer prioridades.

Un ejemplo facilitará su mejor comprensión:

Área del problema	Problema identificado	Criterio de valoración					
		E	G	A	L	S	Puntaje
Agua y efluentes	Pérdidas en el circuito de agua	1	2	0	0	0	3
	Enjuagues ineficientes	3	3	2	2	0	10
	Elevado consumo agua de red	2	0	1	0	3	6

En el primer aspecto, si hablamos de una pérdida menor (goteo), puede no resultar prioritario en primera instancia, pero, además de la pérdida de eficiencia en el consumo de agua, debe considerarse la posible afectación que la humedad provoque a equipos o instalaciones que luego deben ser reparados. En cuanto a la gestión, el goteo puede arruinar materiales y

piezas, y los charcos de agua son un riesgo de caídas y otros accidentes. No incide prioritariamente en los aspectos ambiental, legal o social, pero debe ser atendido haciendo el mantenimiento correspondiente.

El segundo se trata de una mala configuración de enjuagues que utiliza mucha agua y que además no logra una correcta remoción de los químicos que pueden contaminar las etapas siguientes, ocasionando problemas de calidad y requiriendo de operaciones de descontaminación (purificación) y mantenimiento. Esto afecta de manera significativa los costos directos y también la gestión, ya que debe realizarse mantenimiento con mayor frecuencia o extraordinario, paradas de líneas de producción, y además provocan problemas de calidad. Esta situación impacta por la mayor generación de residuos y efluentes, posible incumplimiento de la normativa ambiental y sus consecuencias.

En el tercer caso del ejemplo, se trata de una empresa que tomaba agua de la red domiciliar para todos los enjuagues, con un costo moderado. Además, disponía de una perforación y extraía agua para la refrigeración mediante un circuito abierto. Debido a que la planta se ubica en un barrio periférico donde el servicio de agua potable llega con baja presión, se presentaron quejas y finalmente denuncias de los vecinos. Si bien la empresa no infringía ninguna legislación, la situación generada impulsó la búsqueda de opciones para resolver el problema de forma prioritaria.

Algunas consideraciones:

- La selección de los criterios de evaluación puede ser distinta, o incluir otros aspectos que sean relevantes para la situación particular de la empresa.
- Al igual que en una escalera “se sube un peldaño a la vez”, por lo que no se recomienda encarar la resolución simultánea de todos los problemas y sí comenzar por alguno de solución sencilla para ir abordando luego los que presentan mayores dificultades.
- Por formar parte de un conjunto relacionado entre sí es muy probable que la mejora de un aspecto afecte en forma favorable (o no) a otro.
- Es muy común que el grupo de trabajo se enfoque en los problemas técnicos, y no considere con la misma atención los aspectos humanos. De nada sirven las mejores instalaciones (o un layout mejor diagramado), sin buenos equipos de trabajo que las operen, y para ello la capacitación continua es esencial.

Matriz de evaluación de soluciones propuestas

El capítulo 4 está orientado a señalar potenciales mejoras para los aspectos o problemas identificados en la matriz del punto anterior. A fines de comparar alternativas, se puede utilizar una matriz similar:

Área del problema	Problema identificado	Criterio de valoración					
		E	G	A	L	S	Puntaje
Enjuagues ineficientes	Incorporar enjuagues en cascada						
	Agitación con aire						
	Automatización suministro de agua						

En este caso, se evalúan las posibles soluciones con los mismos criterios que se utilizaron en la valoración de los problemas, pero en lugar de tener preeminencia el puntaje más alto, la tiene el más bajo. Esto no significa que deban descartarse las otras alternativas, las cuales podrán implementarse más tarde para complementar la mejora.

Valoración de las mejoras

Es necesario cuantificar de un modo objetivo el éxito de las mejoras implementadas, comparando el resultado obtenido con datos de la línea de base, para lo cual deben seleccionarse indicadores. Todo indicador tiene un grado de dificultad de medición y un costo asociado, por lo cual debe seleccionarse el más adecuado. Algunos son sencillos de ponderar; una mejora que reduzca el consumo de electricidad o gas se refleja en las facturas. Otros requieren mediciones que pueden ser de baja complejidad y costo, como los caudales de agua y efluentes o aguas residuales; y también pueden ser necesarios instrumentos de medición, análisis químicos, muestras en serie, o el concurso de especialistas como en el caso de la medición de contaminantes en aire.

Hay aspectos que son difícilmente cuantificables, como el cumplimiento legal, o la ocurrencia de accidentes. El incumplimiento de la normativa específica para el sector acarrea consecuencias que incluyen desde sanciones administrativas y multas, hasta clausuras parciales o totales (temporales o incluso definitivas).

Ficha de proyecto y cronograma de seguimiento

Llega entonces el momento de planificar la ejecución de las medidas seleccionadas, o sea la realización de una cierta cantidad de mejoras (acorde a los recursos humanos y económicos disponibles), definidas en lo técnico y con indicadores preestablecidos y medidos en la línea de base; sin olvidar que cada una de las acciones debe tener un responsable de su ejecución (alguien del equipo). Se recomienda que cada medida cuente con una ficha de proyecto, confeccionando un documento muy sencillo donde quede registrado:

1. Problema o aspecto seleccionado y acción o medida a implementar.
2. Indicadores y línea de base, estimación de resultados a obtener (metas a alcanzar).
3. Análisis económico y tiempo estimado de amortización.
4. Fecha probable de finalización y responsable asignado.

A esta ficha, que nunca supera una carilla, se le anexan los presupuestos, órdenes de trabajo, y todo documento útil para la ejecución y seguimiento. La firman el responsable y la máxima autoridad de la empresa.

$$\text{Amortización en meses} = \frac{\text{Inversiones + gastos}}{\text{Ahorros mensuales + ganancias adicionales}}$$

Donde las inversiones incluyen los elementos o equipos que se compran para la mejora, y los gastos aquello que corresponda por la instalación de servicios, montaje, capacitación, etc., o sea que esta sumatoria incluye todo el dinero a invertir para realizar la mejora.

Conociendo por la línea de base las pérdidas o ineficiencias asociadas al problema o aspecto a mejorar, y estimando el porcentaje de mejora con criterios técnicos apropiados, se pueden estimar meses ahorro mensual que permitirá la amortización de lo invertido. Suele ocurrir que las mejoras posibilitan incorporar nuevos servicios o productos que generan mayores ganancias, en cuyo caso se estiman mensualmente y se suman a los ahorros como denominador de la fórmula. El resultado es el tiempo de amortización teórico en meses, que para la mayoría de las medidas cuantificables suele ser inferior al año.

La experiencia demuestra que para las empresas del sector esta metodología permite mejorar en forma continua y reducir sus costos, amortizando rápidamente las inversiones.

Toda la documentación de la medida de mejora implementada, debe archivar en una carpeta (titulada, por ejemplo, “mejora de enjuagues”), donde en cualquier momento se podrá acceder al historial de la medida, los problemas que se presentaron, y los resultados obtenidos una vez implementada.

Monitoreo de las mejoras

Es importante la medición de los indicadores para verificar las bondades de las mejoras implementadas una vez realizada la “puesta a punto” del sistema. Esto puede demorarse varios meses, ya que no solo deben entrar en régimen las instalaciones; el personal debe desarrollar nuevas habilidades y acostumbrarse a condiciones de trabajo diferentes donde puede encontrarse resistencia al cambio. También hay que considerar las posibles sinergias (interacciones) que se producen con las otras mejoras que se implementan en paralelo, ya que pueden modificar el escenario final, llegándose en muchas ocasiones a plazos de amortización mucho más breves de lo previsto. Se recomienda por lo tanto establecer una rutina de monitoreo de las medidas con una frecuencia adecuada a la empresa, por ejemplo, semestral.

4.

Producción sustentable en el sector de tratamientos superficiales

4.1 La producción sustentable y las buenas prácticas

La producción sustentable se orienta a la reducción en el uso de materias primas y recursos (agua y energía), la minimización en la generación de residuos y la prevención de la contaminación y los impactos en el ambiente, de las actividades productivas y de servicios.

En consideración del ciclo de vida de los productos y los impactos que su producción y comercialización pueden generar, la producción sustentable se enfoca en la búsqueda de materias primas alternativas para los procesos de producción, en los procesos de reutilización o de reciclado de las corrientes residuales, así como en la reducción del uso de energía por unidad de producto. Dirigida al sector de tratamientos superficiales, la producción sustentable se orienta a la eficiencia y seguridad de los procesos sin desatender la mejora de la productividad y sin dejar de considerar que:

- La implementación de modificaciones importantes en un proceso industrial debe realizarse en forma escalonada, incorporando las medidas o cambios de manera progresiva (uno por vez) y evaluando cada resultado antes de avanzar con el siguiente.
- Uno de los principales objetivos en los procesos de tratamientos superficiales debería ser minimizar los rechazos y el consecuente reproceso de piezas; este último de alta relevancia respecto de los costos (consumos evitables en materiales, energía y mano de obra), y en la generación de efluentes, residuos y emisiones.

Respecto de las buenas prácticas, corresponde observar que en las distintas actividades humanas se presentan problemas, existiendo una variedad de maneras de resolverlos, con distintos costos, esfuerzos y resultados; según sea la decisión tomada. Para el caso particular de una empresa que pretende prosperar y mantenerse como fuente de trabajo, las opciones no son tan amplias por lo que debe ser eficiente en sus elecciones, analizando las opciones viables y eligiendo las mejores disponibles. Las buenas prácticas consisten en la aplicación de la experiencia que en contextos similares ha dado buenos o excelentes resultados, lográndose una producción de calidad con la mayor eficiencia en el uso de sus recursos. En el presente capítulo se desarrollan algunas de las mismas.

4.2 Concientización y capacitación del personal

Los trabajadores son el eslabón más importante en la cadena de agregado de valor de una empresa. De ellos dependen los procesos productivos y sus resultados en cantidad y calidad.

Desarrollar en la empresa una cultura de colaboración que contemple el desarrollo laboral de su personal, requiere tiempo y un fuerte compromiso de los involucrados. En lo atinente a la capacitación (como formación técnica laboral), debe ser planificada identificando las necesidades productivas, así como las oportunidades y novedades que pueden ser la clave para la sustentabilidad de la empresa; ya que los cambios socioeconómicos y los avances tecnológicos podrán volver improductivos u obsoletos los procesos utilizados en la industria en la actualidad. En la bibliografía se detallan algunos sitios web donde puede accederse a herramientas de capacitación (ver el apartado “otras referencias”).

4.3 Control, uso y almacenamiento adecuado de productos químicos

El sector galvanizado utiliza gran cantidad de productos químicos en sus procesos, todos ellos con importante incidencia en los costos, y algunos con características peligrosas, es decir, con potencial de causar daño a la salud y al ambiente. Dentro de las buenas prácticas para un uso adecuado de los materiales auxiliares en las operaciones rutinarias (las cuales conllevan un alto potencial de impacto económico y ambiental), se recomienda con énfasis la redacción de un instructivo u hoja de procedimiento con los pasos a seguir en cada caso, de forma de prevenir posibles errores de manipulación que finalmente repercuten en lo ambiental y lo económico.

Control de ingreso de productos químicos

El primer paso a considerar es la compra de estos materiales, que debe obedecer a las necesidades reales de producción. La administración de la empresa debería dar una copia del pedido al personal que realiza la recepción, para que: 1) verifique si el remito que acompaña a los materiales coincide en forma completa; 2) informe faltantes, o 3) rechace materiales enviados por error.

Los productos químicos deben enviarse a través de transportistas habilitados. Esto debería verificarse cada vez que se reciben mercaderías, además de requerir junto al remito las hojas de seguridad de los nuevos productos que ingresan a la empresa, que las mismas cumplan con la norma IRAM 41400 o ISO 11014 ⁴, y estén siempre disponibles y accesibles para el personal de la empresa.

Realizada la descarga, se procederá a examinar los productos para verificar: 1) si coinciden con la orden de compra, y 2) la integridad de los envases y su etiquetado. Deben rechazarse envases dañados, ya que implican pérdidas de material, eventual contaminación y riesgos en su manipulación, haciéndolo constar en la documentación comercial e informándolo a la administración.

Es muy recomendable controlar la cantidad recibida (peso) de los materiales y realizar frecuentemente la toma de muestras para verificar calidad y concentración, para detectar posibles errores de envío o adulteraciones.

Manejo y almacenamiento adecuado de químicos

Es fundamental que el personal que traslada, almacena, o utiliza productos químicos haya sido correctamente capacitado. Obligatoria debe disponer y utilizar los elementos de protección personal (EPP) adecuados al caso, lo mismo que los medios para su transporte interno (auto elevadores, zorras o carretas).

El almacenamiento de los productos debe realizarse en depósitos de acceso restringido y señalizado, preferentemente de mampostería ignífuga, y contemplando la separación de materiales incompatibles entre sí.

⁴ IRAM 41400 Productos químicos. Hoja de datos de seguridad. Contenido y orden de las secciones.
ISO 11014 Safety data sheet for chemical products - Content and order of sections.

Producto o elemento	Incompatibilidad	Efecto
Cianuros	Ácidos	Gas cianhídrico
Hipoclorito	Ácidos	Gas cloro
Oxidantes (H ₂ O ₂ , HNO ₃ , CrO ₃)	Compuestos combustibles	Fuego, explosión
Metales (Zn, Al)	Álcalis o ácidos fuertes	Hidrógeno, fuego, explosión
Todos los productos químicos	Ropas, alimentos	Intoxicaciones, riesgos de salud

Figura 4.1. Incompatibilidad de algunos productos químicos utilizados en tratamientos superficiales.

Cuando se trata de productos formulados por los proveedores y que reciben nombres de fantasía se debe consultar la respectiva hoja de seguridad, donde deben figurar sus componentes relevantes y si poseen incompatibilidades. La ubicación de los químicos incompatibles debe realizarse en depósitos separados, o al menos con resaltos de contención en el piso que impida que un derrame los ponga en contacto.



Figura 4.2. Almacenamiento de productos químicos (Fuente SADAM)

Deben señalizarse los lugares donde se almacena cada producto, como así también los riesgos e incompatibilidades.

Los envases deben estibarse en forma segura y dejando visible su etiquetado y fecha de vencimiento, si corresponde. Debe instruirse al personal sobre el principio “primero entra, primero sale”. Aunque no tengan vencimiento, muchos productos son sensibles a la humedad o lábiles durante el almacenamiento, y con esta práctica pueden evitarse pérdidas y generación de residuos. Las personas que tengan acceso al depósito deben estar calificadas y capacitadas.

4.4 Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos

Resulta muy difícil cuantificar las pérdidas potenciales por accidentes. Inclusive si el accidente se produce, hay costos intangibles que se manifiestan con el tiempo y son inherentes a cada caso. No obstante, puede afirmarse que la inversión en prevención evita un alto costo en daños, y puede evitar pérdidas irreversibles, como las vidas humanas.

Al comienzo del proceso de autodiagnóstico debe confeccionarse un plano de ubicación de equipos y procesos denominado layout, y un diagrama de flujo de los procesos que sobre ese espacio se desarrollan, elementos que permitirán identificar rápida y certeramente los equipos y etapas donde será necesario planificar el mantenimiento preventivo. Una vez hecho esto, con personal idóneo se deberá recabar la información técnica necesaria para definir las acciones y frecuencias de las tareas de mantenimiento. Finalmente, se listarán en una planilla llamada Plan de mantenimiento preventivo, todas las acciones a realizar, sobre qué equipo o instalación se deben efectuar, con qué frecuencia y eventuales condiciones especiales a tener en cuenta. Posteriormente y en base a ese plan podrán programarse días, horarios o paradas para llevarlas a cabo.

Desde el punto de vista ambiental deberá tenerse en cuenta los residuos a generar y los riesgos asociados a los trabajos que se realicen, como así también los materiales, la energía y los combustibles involucrados, por lo cual debe considerarse su ejecución dentro de los marcos legales correspondientes.

Por último, las tareas realizadas deben ser documentadas y archivadas para disponer de un historial que permita el registro para el adecuado monitoreo de los resultados, en vista a la mejora continua. En el Anexo II se incluye un modelo que, con las modificaciones que la empresa considere oportunas, puede ser útil para este fin.

El costo de la prevención siempre es menor al costo y al impacto asociado con paradas de producción no programadas, accidentes, pérdidas materiales y otros imprevistos.

4.5 Control y mantenimiento de baños de proceso

Se incluyen en esta sección las medidas preventivas, las técnicas y las tecnologías más utilizadas para la preservación o recuperación de las condiciones adecuadas de trabajo de los baños de proceso. Los objetivos principales son: 1) minimizar el reproceso de materiales; 2) extender la vida útil de los baños y usarlos de forma indefinida, y 3) minimizar la generación de materiales residuales provenientes de descartes y operaciones de limpieza/descontaminación

4.5.1 Medidas preventivas

Las buenas prácticas operativas que contribuyen con la vida útil y el desempeño de los baños son:

Acciones	Ventajas
Utilizar procedimientos escritos para la preparación de baños y el posterior agregado de productos químicos, limitando la manipulación de estos productos al personal capacitado/entrenado. Llevar un registro de agregados en cada cuba.	Prevención de descartes ocasionados por formulación incorrecta o contaminación de los baños.
Remover lo antes posible las piezas caídas en los baños (por ejemplo utilizando un imán para recuperar las piezas de acero del fondo de la cuba).	Se minimizan los descartes parciales o totales de baños contaminados por la corrosión de las piezas caídas. Se recuperan y valorizan las piezas y objetos caídos, antes que se deterioren por la corrosión.
Enmascarar las áreas que no deben recubrirse o pueden atacarse en el baño (el material utilizado para enmascarar debe ser compatible con la temperatura y composición de los baños a utilizar).	Reduce la acumulación de metales disueltos que pueden ocasionar descartes parciales o totales de los baños. Enmascarar orificios puede ayudar a reducir el arrastre.
Utilizar los baños el mayor tiempo posible antes de su descarte, eliminando los descartes programados. Realizar análisis frecuentes en laboratorio propio o, en su defecto, del proveedor (especialmente aplicable a baños de desengrase, decapado y desplaque). Requiere el monitoreo frecuente y cierta capacidad de interpretación de los resultados.	Reducción del uso (y costo) de productos químicos, y de los descartes.
Uso “en cascada” de los baños de decapado y desengrase (utilizando los baños agotados o envejecidos como una primera etapa antes de una segunda etapa utilizando baños recién preparados o en las condiciones óptimas de trabajo).	Reduce el consumo de productos químicos (ácidos, desengrasantes) y los descartes de baños agotados.
Diseño, uso y mantenimiento adecuado de gancheras y tambores para reducir el arrastre y la contaminación cruzada de los baños.	Contribuye a reducir los descartes y operaciones de descontaminación de baños.

4.5.2 Medidas correctivas

Las medidas más utilizadas para remover contaminantes de los baños son:

Filtración

Es la forma más utilizada para eliminar contaminantes de los baños. Permite remover los sólidos en suspensión, los cuales pueden causar aspereza y quemado de los recubrimientos.

Se utilizan diferentes equipos, pero los más comunes son los que emplean filtros de cartucho o filtros con auxiliar filtrante (tierra diatomea). También se utilizan, aunque con menor frecuencia, filtros de arena y también filtros con diferentes materiales filtrantes (multimedia).

Filtros de cartucho: son los sistemas de filtración más económicos. Pueden utilizarse dentro de la cuba (pequeño volumen), o fuera de la cuba (volumen mayor). Los filtros lavables pueden reutilizarse y su uso resulta más económico y con menor generación de materiales residuales que los descartables.

Filtros de tierra diatomea (con auxiliar filtrante): son los más utilizados para baños grandes. El filtro se carga primero con una determinada cantidad de tierra diatomea (que forma la verdadera capa filtrante sobre la superficie del filtro).

Todos estos sistemas de filtración se dimensionan con base en la carga de sólidos a remover, la composición química de los baños y el caudal a filtrar (generalmente se adopta dos a tres veces el volumen del baño por hora).

Tratamiento con carbón activado

Es muy utilizado para remover contaminantes orgánicos, mayormente en baños de electrodeposición de níquel, y en menor extensión en los de cobre y cinc. La forma más común de aplicarlo es agregándolo directamente al baño, para luego filtrarlo o dejarlo decantar de un día para el otro y trasvasando para eliminar los sedimentos. También puede agregarse el carbón activado a un filtro de tierra diatomea y filtrar el baño. Normalmente se utilizan de 0,5 a 2 kg de carbón por cada 500 litros de baño a tratar.

Electrólisis

Se emplea para remover contaminantes metálicos, ya sea por electrodeposición (electrólisis a baja densidad de corriente), o por oxidación (electrólisis a alta densidad de corriente).

La electrólisis a baja densidad de corriente es la más utilizada y se aplica a una amplia variedad de baños y procesos de acabado de metales, pero principalmente en los baños de electrodeposición de níquel, cinc y cobre. Los contaminantes más comunes que se eliminan por esta técnica son el cobre, el hierro y el plomo. Normalmente se aplica utilizando como cátodo una lámina corrugada de acero, con una distancia ánodo - cátodo de unos 10 cm. La densidad de corriente a utilizar depende de los contaminantes a remover, pero el rango normalmente utilizado es de entre 0,2 y 0,9 A/dm², y la duración del tratamiento varía entre 0,5 y 1,3 Ah/l. La agitación es importante para la rápida remoción de los contaminantes (debe utilizarse agitación con aire si el tipo de baño lo permite). Si se aplica en forma continua tiene la ventaja de

no afectar la producción, pero se requiere una instalación más compleja (cuba auxiliar, sistema de bombeo, etc.) y en este caso se utiliza un cátodo que trabaje a 0,02 A/l de baño y se recomienda filtrar la solución antes de devolverla a la cuba del proceso.

La electrólisis a alta densidad de corriente se aplica en los baños de cromo para oxidar el cromo trivalente, volviéndolo a su estado hexavalente, y para eliminar cloruros (en forma de cloro gaseoso). Se utiliza una relación de superficie ánodo / cátodo que varía entre 10:1 y 30:1, ánodos de plomo y una densidad de corriente de 11 a 32 A/dm².

Cristalización de carbonatos

Los baños que contienen cianuros se ven afectados por la acumulación de carbonatos. Estos se generan por la degradación de los cianuros (sobre todo a altas temperaturas), por la densidad de corriente anódica excesiva y por la absorción de dióxido de carbono del aire.

Un exceso de carbonatos causa una baja en la conductividad eléctrica del baño, reduciendo la densidad de corriente y acentuando los defectos que causan las impurezas metálicas. Además, reduce la eficiencia y el rango de trabajo del baño. Los baños con compuestos de sodio son más sensibles a los carbonatos que aquellos que están formulados con compuestos de potasio (100 g/l vs 300 g/l).

Los carbonatos de los baños con cianuro de sodio pueden eliminarse por cristalización a baja temperatura. Para ello el baño debe enfriarse a unos -3° C, con lo cual se logra la cristalización del carbonato de sodio hidratado. Este tratamiento también elimina el sulfato de sodio y el ferrocianuro de sodio.

Precipitación

Existen varias alternativas de tratamientos químicos para volver insolubles los contaminantes y precipitarlos. En general se trata de procesos de tipo batch o por lotes, que se realiza en un tanque o cuba auxiliar, donde la solución o baño es tratado químicamente, filtrado y devuelto a la cuba original.

A veces se aplica electrólisis a baja densidad de corriente luego del tratamiento químico (para remover metales que no pueden precipitarse fácilmente). También es un método alternativo para remover carbonatos, especialmente aplicable a los baños formulados con cianuro de potasio. Para ello puede utilizarse alguno de los siguientes compuestos: cianuro de bario, hidróxido de bario, hidróxido de calcio, sulfato de calcio o cianuro de calcio. También se utiliza cal viva para eliminar carbonatos de los baños de plata, y sulfuro (o polisulfuro) de sodio para eliminar metales pesados de los baños cianurados (plomo, cinc, cadmio).

El carbonato o el hidróxido de níquel se utilizan en baños de níquel (1,2 a 2,5 g/L) para remover diversos metales (hierro, aluminio; se adiciona a pH elevado). A veces se agrega también agua oxigenada para mejorar la precipitación y destruir contaminantes orgánicos.

El agua oxigenada se utiliza en baños ácidos de cloruro de cinc para oxidar y precipitar hierro (también puede utilizarse permanganato de potasio, aunque se genera un mayor volumen de barros). El hierro puede removerse luego por filtración.

Los cloruros pueden removerse de los baños de cromo decorativos mediante el agregado de óxido de plata.

Transferencia iónica

Esta tecnología se aplica principalmente al mantenimiento de los baños con ácido crómico (baños de cromo duro y decorativo y baños de anodizado crómico), y no se recomienda para la recuperación de baños que ya evidencian problemas de contaminación. También se puede utilizar para la recuperación de cromo hexavalente de los enjuagues del proceso de cromo duro o decorativo.

Se basa en el uso de una membrana de teflón, o de un recipiente cerámico poroso. El equipo principal consiste en una celda electrolítica con ánodo y cátodo (o un set de cada uno), separados por la membrana o el recipiente cerámico (este último es más económico y más utilizado). Al circular la corriente eléctrica, el cromo trivalente en el entorno del ánodo se oxida a hexavalente, y los cationes (por ejemplo, el hierro), presentes en el anolito (líquido que rodea el ánodo), migran a través de la membrana al compartimiento catódico. El catolito (líquido del compartimiento catódico), es periódicamente descartado y el cátodo se limpia, eliminando los depósitos que se forman.

Como fue mencionado, esta tecnología se utiliza principalmente en el mantenimiento de baños de cromo, habiéndose desarrollado dos configuraciones posibles:

- La celda se ubica dentro del baño de cromo. Es la forma más económica, se utiliza el mismo rectificador que se opera en el baño de cromo que se conecta a la celda, que consiste en un vaso poroso de cerámica con el cátodo interno y dos ánodos externos. Presenta la desventaja de ocupar espacio del baño, pero no requiere bombas ni cañerías. El catolito cargado de contaminantes se descarta periódicamente (entre ocho horas a tres días), reemplazándolo por baño.
- Se utiliza una cuba auxiliar con varios vasos cerámicos, cada uno conformando una celda con un cátodo interno y un ánodo externo. El baño se bombea desde la cuba de trabajo, circula por alrededor de los vasos cerámicos y regresa a la cuba de trabajo por gravedad. Las celdas son alimentadas por un rectificador auxiliar (1000 a 2000 A). Esta alternativa es utilizada para baños grandes, de más de 2500 litros, y la cuba auxiliar requiere de un sistema de captación de emisiones.

Sobre la eficiencia del uso de esta tecnología hay opiniones encontradas, ya que dependiendo de cómo se usa, en muchos casos se genera un volumen muy grande de descarte de catolito (sobre todo en los equipos que utilizan varios vasos cerámicos), que podría llegar a compararse con un descarte parcial o purga del baño (práctica común que se aplica cuando existe un nivel de concentración de contaminantes que no permite el adecuado desempeño del mismo).

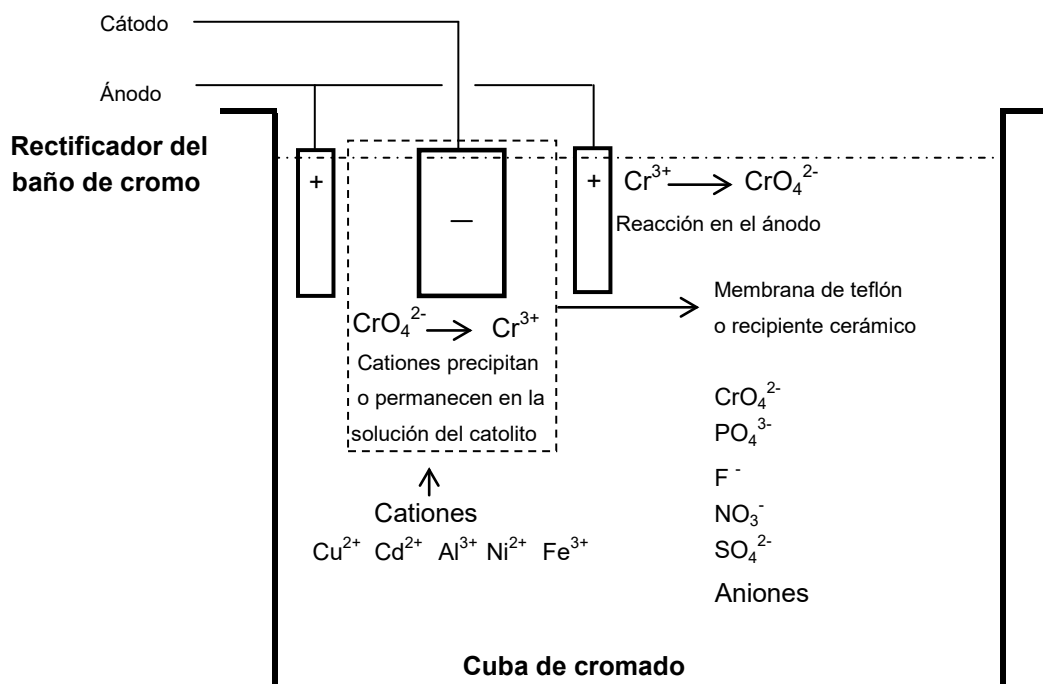


Figura 4.3. ⁵ Diagrama de una celda de transferencia iónica para la purificación de baños de cromo.

Otras tecnologías utilizadas para el mantenimiento de baños

A continuación, se describen tecnologías más complejas, que requieren inversiones importantes y cuya factibilidad puede analizarse cuando el volumen de producción /el volumen de los baños es importante.

- Microfiltración

Es una tecnología de mantenimiento aplicable a baños acuosos o semi-acuosos de desengrase/limpieza para la remoción de grasas y aceites. Su uso está más difundido en plantas que realizan tratamientos superficiales para producción propia, y prácticamente no se ha extendido su aplicación en las empresas que trabajan para terceros. En parte esto se debe a que en este tipo de plantas en general no se utilizan sistemas de limpieza semi-acuosos, siendo que además se ha logrado resolver los problemas de limpieza de manera efectiva (en términos de costo- beneficio), lo cual no motiva el cambio a utilizar estas tecnologías, que, dicho sea de paso, requieren de una inversión que la mayoría de estas empresas no puede disponer o, en el caso de los establecimientos más pequeños, ni siquiera amortizar.

Los baños de desengrase son soluciones acuosas que contienen básicamente tensoactivos, soda cáustica, silicatos, fosfatos y agentes complejantes. Con el uso van acumulando grasas, aceites y otros materiales que forman parte de la suciedad de los materiales procesados. Los aceites sobrenadantes se separan fácilmente por flotación y rebalse (skimming), y los sólidos por decantación o a través de sistemas de filtración.

⁵ Fuente: diagrama extraído, adaptado y traducido (pág. 256), de "Pollution Prevention and Control Technologies for Plating Operations" 2nd Edition, George Cushnie Jr., CAI Resources Inc, USA, 2009.

Sin embargo, las partículas coloidales y aceites emulsionados no pueden ser eliminados mediante este tipo de dispositivos. En algún momento la eficiencia del baño desmejora y debe ser descartado. La microfiltración logra separar los aceites emulsionados de la solución de limpieza, extendiendo así la vida útil del baño.

En los procesos semiacuosos, los materiales a procesar son sumergidos en un solvente orgánico, enjuagados en una cuba que contiene una emulsión del solvente y luego en enjuagues con agua. La mayor parte del solvente se recupera por decantación a partir de esta cuba de emulsión, pero parte es arrastrado hacia los enjuagues. Sin embargo, este proceso puede trabajarse prácticamente en un circuito cerrado si se recupera el solvente del primer enjuague, a través de un equipo de microfiltración. El solvente es devuelto a la cuba de limpieza, y el agua recirculada en los enjuagues.

En un equipo para microfiltración, las membranas se limpian por retrolavado y retienen partículas coloidales y aceites emulsionados. En general se utilizan membranas poliméricas, cerámicas o de óxidos metálicos (estas últimas de desarrollo reciente).

La microfiltración no es aplicable a todo tipo de baños de desengrase. Normalmente, al implementar este tipo de instalaciones se debe considerar un cambio a un sistema alternativo. En general un contenido alto de silicatos tiende a taponar los poros de las membranas cerámicas que se utilizan en estos sistemas de limpieza. Tampoco puede aplicarse a las soluciones de limpieza de partes de aluminio, ya que el aluminio disuelto se concentra en el baño y no es afectado por el proceso de microfiltración.

- Intercambio iónico

Si bien se utiliza esta tecnología para remover contaminantes metálicos que se acumulan en los baños por diversas causas (arrastre, corrosión de piezas caídas, corrosión de gancheras o ánodos, reducción/descomposición de aditivos, etc.), para la mayoría de los baños de electrodeposición, el intercambio iónico no es una buena alternativa, ya que tanto el metal a electrodepositar como los metales contaminantes son cationes (baños de níquel, cinc y cobre ácidos). Aunque los diferentes cationes pueden separarse en forma selectiva, es un proceso más dificultoso y menos eficiente que separar cationes de aniones.

Por esta razón, los baños de ácido crómico son buenos candidatos para el intercambio iónico debido a que el cromo a purificar se encuentra como anión mientras que los metales contaminantes se encuentran como cationes (hierro, cromo trivalente). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las resinas que se utilizan se deterioran por el baño concentrado reduciendo su vida útil, siendo aconsejable la dilución previa del baño. En la mayoría de los casos no es necesario reconcentrarlo, ya que la evaporación en la cuba de proceso provee el espacio necesario para devolverla diluida.



Figura 4.4. Equipo de intercambio iónico de lechos catiónico, aniónico y mixto. (Fuente SADAM)

En el caso en que se practique la recuperación de arrastre, y siendo el líquido de la cuba de recuperación (enjuague estanco), bastante más diluido que el baño, puede tratarse directamente por intercambio iónico antes de devolverse al baño. De todas maneras, el ácido crómico, aún diluido, deteriora las resinas acortando su vida útil, que es de entre 6 y 12 meses.

La regeneración de las resinas produce un concentrado ácido que contiene mayormente cromo trivalente y otros metales (hierro, aluminio), como así también las aguas residuales del retrolavado y limpieza de las columnas con resinas. Debe tenerse en cuenta que el concentrado debería tratarse por separado, ya que puede producir sobrecargas en los sistemas de tratamiento.

El uso de esta tecnología en la purificación de baños de cromo hexavalente compite con otras dos que se describen más adelante (transferencia iónica y electrodiálisis), sin embargo, todas son de uso limitado por los costos y los problemas asociados con la operación y mantenimiento de los equipos.

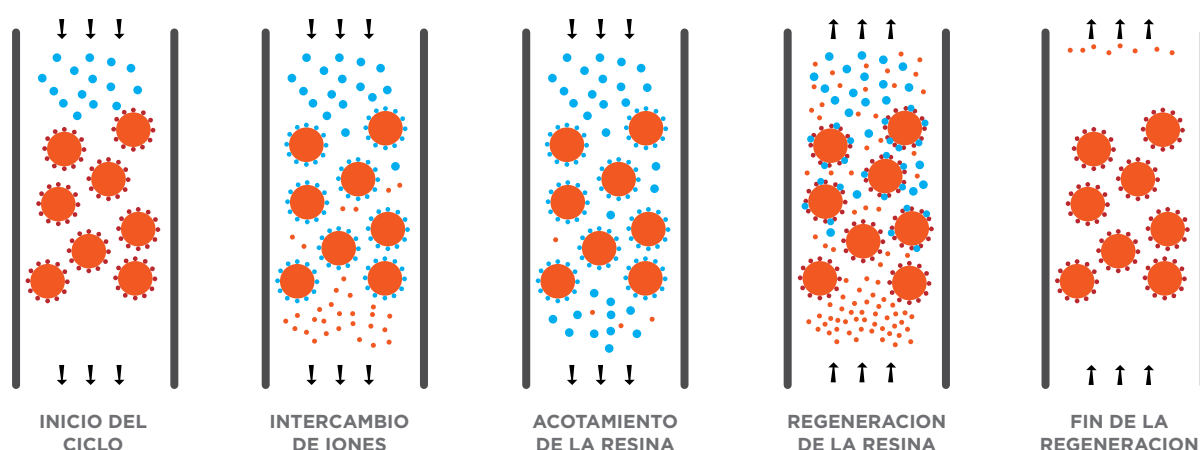


Figura 4.5. Esquema de funcionamiento de los ciclos de uso y regeneración de un lecho de resinas de intercambio iónico.

- Sorción ácida

Es aplicable a soluciones ácidas diluidas a moderadamente concentradas, tales como los baños de anodizado y decapado. Se utilizan resinas fuertemente básicas para absorber los ácidos de soluciones acuosas en las que se encuentran mezclados con sus sales. De esta manera se remueven los metales contaminantes de baños ácidos (generalmente baños de anodizado de aluminio y baños de decapado con base ácido clorhídrico o sulfúrico, aunque pueden tratarse soluciones de ácidos nítrico y fluorhídrico). Cuando estos baños alcanzan determinada concentración de metales disueltos, la concentración de ácido libre disminuye y la eficiencia en el anodizado o en el decapado se reduce drásticamente. La adición de más ácido es posible hasta cierto punto, pero eventualmente el baño debe ser purificado o descartado.

La sorción ácida recupera una fracción del ácido presente en el baño, del orden del 80 al 90 % del ácido sin usar o “ácido libre”, pero no pueden utilizarse cuando en la solución están presentes cromatos ni cloruros de cinc o plomo.

En la práctica, si en un proceso el método corriente de operación es descartar y tratar los baños ácidos agotados y reemplazarlos por baños nuevos, con la implementación de la sorción ácida se puede reducir el consumo de ácido entre un 30 y un 65 %. Otros beneficios que surgen del uso de esta tecnología son: la reducción del consumo de químicos para la neutralización de ácido agotado (soda cáustica, cal), eliminar las paradas de proceso y mejora la calidad de los productos o piezas procesadas, estos dos últimos si la sorción se usa de forma continua en lugar de aplicarla cuando el baño está agotado.

- Electrólisis con membranas

Esta alternativa se utiliza casi exclusivamente en el mantenimiento de baños de cromo duro y decorativo, y compite con el uso del vaso cerámico poroso (transferencia iónica) y con la tecnología de intercambio iónico, ya descritas anteriormente. Si bien se utilizan membranas, en este caso y a diferencia de las utilizadas en transferencia iónica, son selectivas y se aplican a contaminantes más específicos. El objetivo es reducir o mantener a una concentración aceptable la contaminación metálica, y es una de las tecnologías más recientemente aplicadas al mantenimiento/purificación de baños.

El principio de funcionamiento es la aplicación de una corriente eléctrica que circula a través de electrolitos separados por la mencionada membrana. Esto hace que por un lado determinados iones la atraviesen, y por el otro ocurran reacciones químicas (por ejemplo, la oxidación de cromo trivalente a hexavalente). Las membranas catiónicas solo permiten el paso de cationes (cobre, níquel, hierro, aluminio, etc.), mientras que las aniónicas solo dejan pasar aniones (como sulfatos, cloruros, cromatos o cianuros). Los equipos pueden utilizar uno o ambos tipos de membranas.

Existen equipos de configuraciones muy diversas, dependiendo de los respectivos fabricantes. A modo de ejemplo, una unidad sencilla consiste en una celda electrolítica, el tanque auxiliar para el catolito (conectado a la celda y ubicado cerca de la misma), y un rectificador de 500 A. La celda se encuentra dentro de un caño protector de PVC de 150 a 200 mm de diámetro y unos 90 cm de largo que se coloca en el baño. Durante la operación de la misma el baño fluye por el caño rodeando la celda en su interior. El cátodo es anular y se ubica rodeado de una membrana interna, que contiene un catolito alcalino. Esta configuración conforma una celda de dos compartimientos en la cual el compartimiento anódico es el mismo baño, mientras que el catódico es el espacio anular separado por la membrana que contiene al cátodo y al catolito en su interior. En funcionamiento, corriente continua atraviesa los electrodos de la celda y el catolito se bombea en forma continua desde el tanque auxiliar (de aproximadamente 200 litros de capacidad). Los cationes son llevados a través de la membrana al interior del catolito donde precipitan como hidróxidos, mientras que gran parte del cromo trivalente es oxidado a hexavalente en el ánodo de la celda, pero una parte pasa a través de la membrana. Este equipo de dos compartimientos es aplicable a baños de cromo duro y decorativo, anodizado crómico y a otros baños de composición similar. Los baños de composición más compleja generalmente requieren el uso de celdas con tres o más compartimientos. Por ejemplo, un baño alcalino de desplateado de cromo puede desdoblarse en dos soluciones, una de soda cáustica y la otra de ácido crómico, utilizando una celda de tres compartimientos. De esta manera la soda cáustica es reutilizada para el desplateado y el ácido crómico se devuelve al baño de cromo.

En los sistemas más grandes la celda electrolítica no puede ubicarse dentro del baño, sino que requieren una instalación auxiliar más compleja que recircula el baño desde la cuba de trabajo, y en el cual el catolito es también recirculado y filtrado para separar los contaminantes, permitiendo de esta manera su reutilización.

Los residuos primarios que se generan con esta tecnología son el catolito agotado y los barros que contienen. Además, periódicamente deben cambiarse los electrodos y las membranas.

- Diálisis

Esta es una tecnología de intercambio iónico con membranas que compite con la sorción ácida como método de purificación/recuperación para ácidos contaminados con metales (decaído, anodizado, pasivado, etc.).

El proceso de difusión que tiene lugar separa el ácido de sus metales contaminantes, gracias a la diferencia de concentración entre dos compartimentos (ácido contaminado y agua desionizada), que están separados por una membrana de intercambio aniónico: el ácido difunde a través de la membrana hacia el agua desionizada mientras que los metales son bloqueados por la misma. Debido a que no se utiliza electricidad ni presión para forzar la difusión, los costos energéticos son bajos.

El proceso utiliza una celda con dos compartimentos separados por la membrana, que separa dos líquidos: el ácido contaminado y agua desionizada. Los aniones presentes en el ácido contaminado (cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, etc.) y los iones de hidrógeno (protones) atraviesan la membrana, pero los metales no pueden hacerlo.

Esta tecnología, al igual que otras que utilizan membranas, no se acerca al 100 % de eficiencia, sino que en la práctica se logra recuperar un 80 a 95 % del ácido y una remoción de del 60 al 90 % de los metales. Además, el ácido recuperado muchas veces se encuentra a una concentración insuficiente para ser reutilizado directamente, siendo en este caso necesario reconcentrarlo por evaporación al vacío, lo que encarece notablemente el proceso.

La eficiencia de la diálisis aumenta con la temperatura, pero las membranas pueden incrustarse por la presencia de sólidos en la alimentación por lo que es conveniente una etapa de filtrado previo. También son sensibles a la presencia de aceites y sustancias orgánicas y este problema se resuelve con un tratamiento preliminar con carbón activado.

Los equipos que se utilizan para la diálisis son similares a los utilizados en electrólisis con membranas; en general son de múltiples etapas y a la vista se parecen a un filtro prensa. Se ofrecen en diferentes tamaños que pueden procesar desde 400 a 7000 litros/día.

La diálisis genera como residuo una corriente de ácido agotado de igual volumen al del ácido contaminado antes del tratamiento, con un 5 al 20 % de contenido del ácido original y 5 al 40 % del contenido original en metales.

4.6 Minimización del arrastre

El arrastre de las soluciones de proceso y la consiguiente contaminación de las aguas de enjuague son el principal problema a controlar en gran parte de los establecimientos dedicados a los tratamientos superficiales.

A continuación, se describen los principios básicos de la teoría del arrastre y se detallan las medidas y técnicas que comúnmente se aplican para su minimización.

4.6.1 Principios para la reducción del arrastre

Es bien conocido que el arrastre varía de modo considerable entre las diversas piezas y partes a tratar. Además, cuando se procesan piezas o partes en tambores, el arrastre es del orden de 10 veces el que tendrían esas mismas piezas al usar gancheras. Otras variables que inciden en el arrastre son: la forma y tamaño de las piezas y las características de las soluciones de proceso: viscosidad, concentración de los diversos químicos disueltos, tensión superficial y temperatura.

La viscosidad puede describirse como la tendencia del líquido a permanecer adherido a la pieza cuando esta se retira del baño o enjuague. De esta manera, un líquido de alta viscosidad forma una capa más gruesa que otro de viscosidad más baja. A modo de ejemplo, un cuchillo que se sumerge en miel forma, al retirarlo, una capa más gruesa que otro que se sumerge en agua. De igual forma, si se sumergen dos piezas idénticas en sendos baños de cromo con concentraciones de 400 g/l y 250 g/l cada uno, el baño de menor concentración producirá un 73 % menos del volumen de arrastre que el más concentrado.

La cantidad de líquido que queda “colgado” en la parte inferior de las piezas aumenta con la tensión superficial. Es decir que, a mayor tensión superficial, más cantidad de líquido quedará retenido; esto también depende de la orientación que la pieza tenga al estar colgada (gancheras) o de los puntos de contacto con otras piezas y el tambor que las contiene.

Otro factor importante a tener en cuenta es la temperatura, ya que afecta la viscosidad y tensión superficial. A medida que la temperatura de un baño aumenta, tanto su viscosidad como su tensión superficial (y por lo tanto el arrastre), disminuyen.

Las estimaciones del arrastre que se encuentran en diferentes publicaciones deberían utilizarse sólo como una aproximación relativa, ya que debería medirse para poder evaluar de forma más precisa las opciones disponibles para su minimización. Más adelante se describe una forma práctica de medir el arrastre (ver en 4.7. Cuantificación del arrastre).

4.6.2 Técnicas para reducir el arrastre

La mayor parte de los métodos que se utilizan para reducir el arrastre son de bajo costo y se amortizan rápidamente con el ahorro de químicos, tanto en el proceso como en el sistema de tratamiento de aguas residuales y en la menor cantidad de barros generada en el mismo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en algunos casos la reducción o recupero del arrastre puede ser contraproducente. En efecto, en los casos en que los baños se contaminan rápidamente con el uso, el recupero o minimización de arrastre simplemente incrementará su frecuencia de descarte (por ejemplo, en baños de electropulido, pasivado de cinc o desengrase de materiales con mucha suciedad).

Minimizar la formación del arrastre

Pueden utilizarse diversos dispositivos y procedimientos para reducir el arrastre, de los cuales los más comunes son:

- Controlar la composición de los baños

En general al aumentar la concentración de los baños aumenta la viscosidad. Una mayor viscosidad no solo contribuye con un mayor volumen de arrastre, también a una concentración más alta de químicos en el líquido arrastrado, lo cual a su vez requerirá de más agua en los enjuagues. En este sentido cabe destacar que a menudo los baños pueden operarse a concentraciones mucho más bajas que aquellas recomendadas por los proveedores.

También pueden agregarse pequeñas cantidades de tensoactivos que reducirán la tensión superficial, y consiguientemente el arrastre (hasta un 50 %). Se recomienda el uso de tensoactivos no iónicos en baños de electrodeposición, los cuales no se deterioran por el proceso de electrólisis.

- Colgar las piezas de manera adecuada

Cuando se procesan las piezas en gancheras se debe tener en cuenta:

- Colgar las piezas de manera que el líquido pueda fluir libremente y salga de la pieza de la forma más rápida.
- En la medida de lo posible, colgar las piezas de manera que no escurran unas sobre otras (alargando el tiempo de escurrido).
- Tratar de evitar que las superficies planas queden horizontales, inclinando las piezas, pero evitando que el líquido quede atrapado.
- Orientar las piezas de manera que la mínima superficie posible de la misma quede en contacto con el líquido al momento de terminar de salir del baño.

- Extracción de las piezas y tiempo de escurrido

La velocidad a la que las piezas se extraen del líquido tiene un efecto importante en el volumen del arrastre: cuanto más rápido se extraigan, más gruesa es la película de líquido arrastrada. Es preferible extraer lentamente las piezas y reducir el tiempo de escurrido sobre la cuba, minimizando el goteo y las salpicaduras de las partes entre ellas y hacia las instalaciones.

Tiempo de escurrido sobre la cuba una vez extraído el tambor o la ganchera de la cuba: Este tiempo normalmente varía entre 5 y 20 segundos. Las gancheras en líneas de operación manual pueden colgarse en una barra ubicada sobre el baño. En las líneas automáticas puede programarse las unidades para aumentar el tiempo de escurrido. Para las operaciones con tambores, el tambor puede rotarse sobre la cuba para favorecer el escurrido, aunque la rotación continua no siempre es la mejor técnica para liberar el líquido del arrastre. Las piezas con cavidades necesitan rotarse parcialmente y detenerse varias veces para liberar el líquido atrapado, mientras que las piezas que permiten escurrir libremente no deberían rotarse mientras dura el tiempo de escurrido. De todas maneras y dependiendo del tipo de piezas, deberá experimentarse para identificar cuál es el procedimiento óptimo.

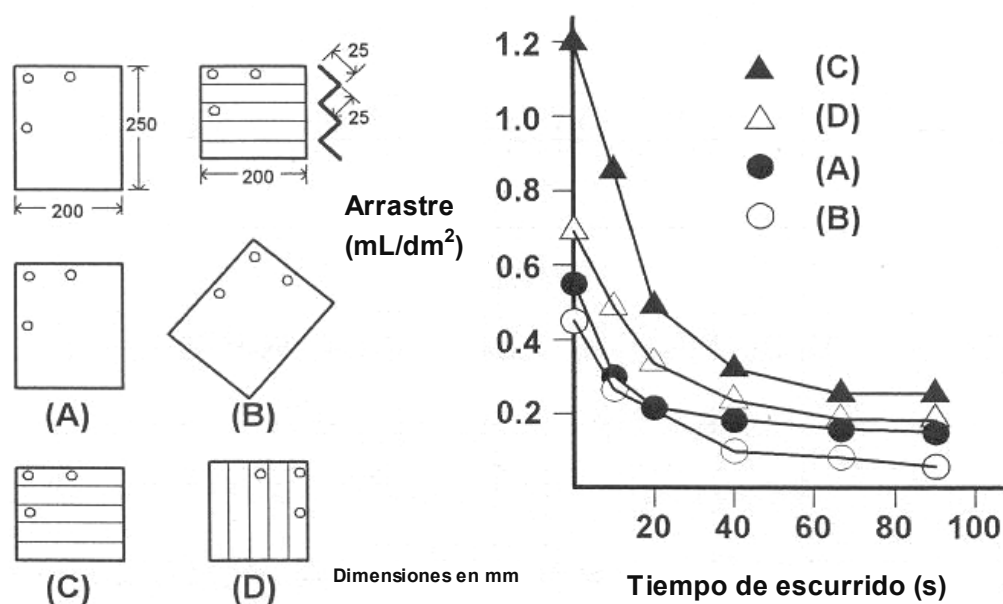


Figura 4.6. - Arrastre en función de la geometría de la pieza, forma de colgarla y tiempo de escurrido.
Fuente: "Introduction of Cleaner Production at the Surface Finishing And Electroplating Sector"
Ing. Yoshio Hirayama, Proyecto INA - JICA, Buenos Aires, 2004.

- Diseño y mantenimiento de gancheras y tambores

El deterioro del recubrimiento de las gancheras entrampa líquidos que, además de incrementar el arrastre, pueden ser difíciles de enjuagar y así se transportan desde un baño a otro, produciendo contaminación cruzada y también defectos como el manchado de piezas.

Mejorar el diseño de gancheras, canastos y tambores para reducir la cantidad de líquido que pueden retener tiene un efecto importante en la reducción del arrastre. Es importante que los agujeros en canastos y tambores sean del mayor tamaño posible.

Los crecimientos metálicos que se observan a veces en las partes dañadas del recubrimiento de gancheras y cables de los tambores deben evitarse (reparando el recubrimiento), o por lo menos eliminarlos periódicamente.



Figura 4.7. Crecimiento metálico observado en gancheras con aislación deteriorada o defectuosa. (Fuente SADAM)

- Enjuague sobre la cuba del baño

La calidad de algunos acabados puede perjudicarse si se permite que el líquido arrastrado se seque sobre la pieza. Para evitar estos efectos adversos y además recuperar una mayor proporción del arrastre puede aplicarse un enjuague con pequeñas cantidades de agua. Esta cantidad dependerá del balance de agua para cada baño de los diferentes procesos (este balance es afectado mayormente por la evaporación).

En general para baños que operan a temperaturas de 50 °C o mayores, la tasa de evaporación permite aplicar un enjuague sobre la cuba (con manguera, spray o niebla, dependiendo de la cantidad de agua que se evapore). La selección de picos del spray debe considerar el caudal, velocidad y forma o patrón de rociado. La aplicación del spray puede ser manual o desde el borde de la cuba. Además, se han desarrollado dispositivos especiales que permiten aplicar enjuagues con spray en tambores.



Figura 4.8. Enjuague automático por aspersión al extraer las piezas de un baño de cromo duro. (Fuente SADAM)

- Deflectores o bandejas de escurrido

Se colocan entre las cubas para interceptar el goteo cuando el material en proceso pasa de una cuba a la siguiente. Normalmente son de materiales plásticos o metálicos y la superficie inclinada del mismo deriva las gotas hacia la cuba de origen, evitando además que goteen líquidos al piso de la planta.

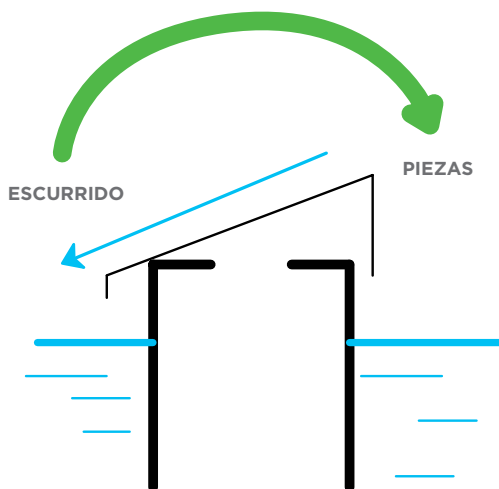


Figura 4.9. Uso de deflectores de escurrido para evitar el goteo sobre el piso. (Fuente SADAM)

- Cuchillos de aire

Esta medida consiste en instalar un dispositivo que envía una fuerte corriente de aire a las piezas/gancheras a medida que emergen del baño, soplando de esta manera parte del líquido que arrastran. Esta tecnología tiene sus limitaciones debido a que determinadas piezas pueden caerse por la fuerte corriente de aire y además hay un efecto de secado que puede causar efectos adversos en la calidad del acabado (manchas, pasivación, etc.), aunque puede solucionarse humidificando el aire utilizado.

Recuperación del arrastre

- Cuba de escurrido

Es una cuba vacía que colecta el escurrido a la salida de un baño y previo a su enjuague. Tiene mayor utilidad para el proceso en tambores que en el caso de las gancheras.

El líquido acumulado en esta cuba puede ser devuelto directamente al baño, ya que no ha sufrido ninguna dilución, por lo que suele utilizarse para recuperar arrastre en baños que trabajan a baja temperatura con lo que la tasa de evaporación es baja.

- Enjuague estanco

También se denomina cuba de arrastre o enjuague de recuperación, y consiste en una cuba inicialmente llena con agua en la cual se enjuaga el material luego de retirarlo de un baño. A medida que pasa el tiempo, la concentración de químicos va aumentando con la cantidad de material procesada. Suele incorporarse agitación con aire para mejorar la eficiencia del enjuague

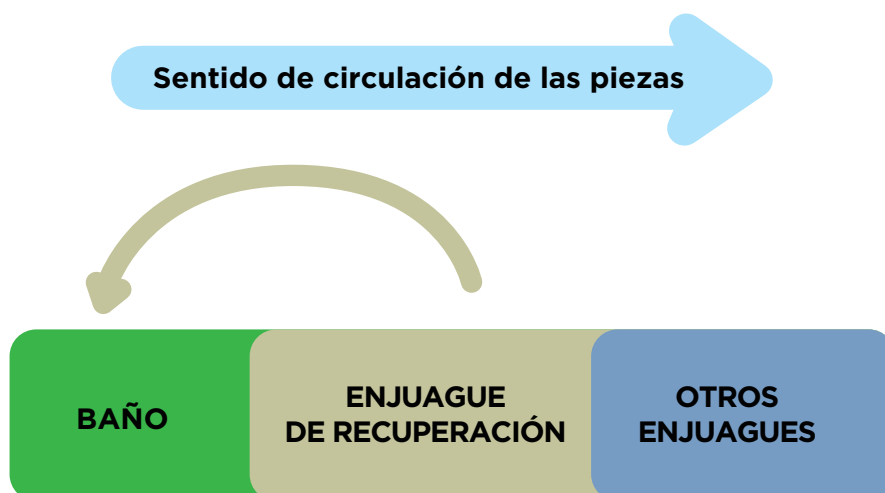


Figura 4.10.- Configuración para el uso de un enjuague de recuperación

El líquido de esta cuba es utilizado para reponer las pérdidas que sufre el baño por evaporación. Se aplica con éxito en baños que trabajan a temperatura como los de níquel o cromo, en donde el recupero de arrastre es como mínimo del 50%. También pueden utilizarse dos o más enjuagues de recuperación, con lo cual se incrementa sensiblemente el recupero del arrastre.

El enjuague de recuperación no suele ser de utilidad en baños que operan a temperatura ambiente, como los de cinc o cadmio, ya que no sufren pérdidas apreciables por evaporación. Supuestamente se encuentra en etapa de desarrollo la formulación de nuevos aditivos que permitirían operar estos baños a mayor temperatura, con lo cual se podrá recuperar el arrastre de esta forma sencilla, ya que el ahorro asociado con el recupero es mayor al de la energía a utilizar en calefacción.

Debe tenerse en cuenta que, si bien la recuperación del arrastre puede ser una muy buena medida en cuanto a beneficios ambientales y económicos, puede generar otros problemas, ya que al reducir el arrastre también se reduce la purga de contaminantes en el baño. Estos

contaminantes pueden alcanzar concentraciones que afecten la calidad, y se generan en el mismo baño como consecuencia de la degradación de algunos químicos; también ingresan en baja concentración con el agua que se agrega al sistema (por ejemplo, dureza), pero también hay otras fuentes como: contaminación cruzada debido al goteo de transporte de tambores y gancheras, corrosión de barras anódicas, gancheras, ánodos, cubas, etc. y contaminantes presentes en el aire. Las soluciones que pueden aplicarse para minimizar el impacto de los contaminantes son: 1) tratar el agua de alimentación a los enjuagues antes de su uso mediante intercambio iónico u ósmosis inversa; 2) aplicar algún tipo de mantenimiento a los baños (ver apartado 4.5.).

- Enjuague de entrada y salida

Implica enjuagar en la misma cuba antes de ingresar y luego de sacar el material del baño. Esto puede lograrse utilizando una sola cuba o utilizando dos cubas conectadas por cañerías (ubicadas una a cada lado del baño), en cuyo caso (que se aplica generalmente a líneas automáticas), el agua es recirculada entre las dos cubas por medio de una bomba para mantener la misma concentración de químicos en ambas.

Este tipo de recuperación es aplicable a baños con baja tasa de evaporación (que trabajan a temperatura ambiente), en especial con baños que tienen tendencia a aumentar el volumen (donde el arrastre de entrada supera al arrastre de salida más la evaporación), como los baños de cinc y cadmio.

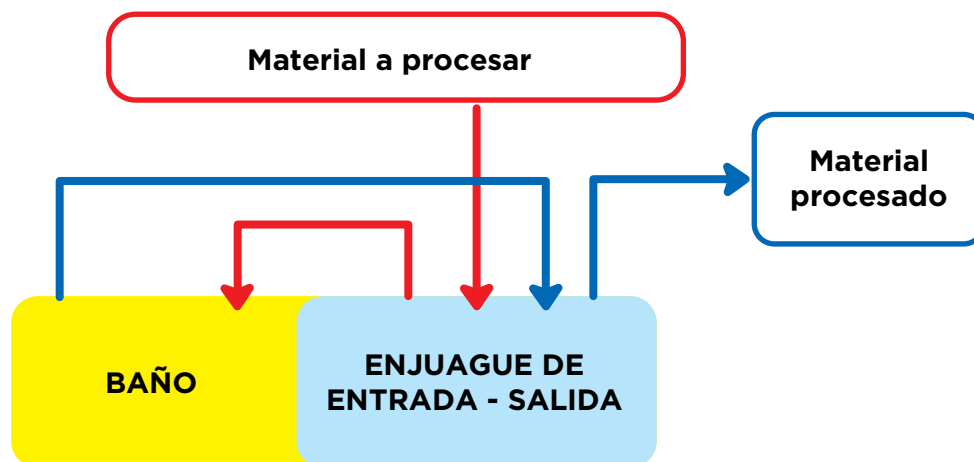


Figura 4.11. Diagrama operativo del enjuague de entrada y salida.

Al igual que en el caso anterior del enjuague estanco, la implementación de un enjuague de entrada y salida puede ocasionar el inconveniente de aumentar la concentración de contaminantes en el baño.

4.7 Minimización del uso del agua en los enjuagues. Ventajas.

Reducir el consumo de agua en las operaciones de enjuague conlleva las siguientes ventajas: 1) baja los costos operativos (menor importe de la factura de agua corriente, menor costo de bombeo); 2) reduce la cantidad de químicos utilizados para el tratamiento de las aguas residuales (el tratamiento de una misma carga contaminante más diluida consume mayor cantidad de químicos), y 3) requiere equipos de menores dimensiones para el tratamiento de las aguas residuales.

Las diferentes medidas o métodos que permiten reducir el consumo de agua pueden agruparse en las categorías presentadas a continuación.

4.7.1 Diseño óptimo de las cubas de enjuague

Los principales objetivos que se persiguen cuando se busca un enjuague óptimo son lograr la rápida remoción del arrastre de la superficie de la pieza y su completa dispersión dentro de la cuba de enjuague. De esta forma se minimiza el tiempo de enjuague y la concentración de contaminantes sobre la pieza al momento en que es retirada de la cuba, para un dado caudal de agua.

A continuación, se enumeran los criterios a tener en cuenta para el diseño de las cubas de enjuague. Cuando se enjuagan piezas de distinto tamaño y configuración en las mismas cubas, será necesario adoptar una solución de compromiso que permita un enjuague adecuado de toda la gama de piezas que van a procesarse.

- Seleccionar el mínimo tamaño en el cual puedan enjuagarse las piezas y usar este tamaño para todas las cubas de enjuague de la línea.
- Ubicar el ingreso de agua y el punto de descarga en puntos opuestos de la cuba para evitar cortocircuitos en el flujo.
- Utilizar un distribuidor de flujo o pulverizador para una alimentación uniforme del agua a la cuba de enjuague.
- Usar agitación con aire, agitación mecánica u otro medio de turbulencia.
- Utilizar enjuagues por spray para las partes o piezas planas.
- Usar ultrasonido cuando sea aplicable.

La agitación con aire es uno de los medios más económicos y efectivos que se puede utilizar para mejorar la eficiencia de un enjuague.

4.7.2 Control del caudal de agua en los enjuagues

La reducción del consumo de agua tiene por objetivo aproximar la cantidad de agua utilizada a la cantidad realmente requerida. A continuación, se detallan los dispositivos y métodos más utilizados.

Limitadores de caudal

Se conectan en la entrada de agua de la cuba de enjuague. Contiene un dispositivo cuya parte activa es elástica, y cuanto mayor es la presión que ejerce el agua, menor es el orificio disponible para que pase. De esta manera se mantiene un caudal bastante uniforme a pesar de fluctuaciones en la presión del agua de entrada.

Los limitadores de caudal, cuando se aplican como única medida, son útiles para controlar el caudal de enjuague en las líneas que tienen producción uniforme (como las líneas automáticas), y deben contar con una válvula de cierre para los períodos de inactividad. En el caso de producciones variables, puede mejorarse acoplando un control con temporizador (ver más adelante).

Control manual del caudal

Simplemente se realiza la regulación manual del caudal a través de la apertura parcial de las válvulas. Este método depende en gran medida del operador y normalmente resulta en el uso inconsistente del agua, lo cual es un problema habitual en gran parte de las instalaciones donde se aplica.

El control manual puede mejorarse incorporando una válvula general para toda la línea, que se abre cuando se comienza a trabajar y se cierra al final. De esta forma se mantiene regulada la apertura de las válvulas, que de todas maneras debe monitorearse con frecuencia.

Una alternativa de control manual (sobre todo aplicable a pequeñas instalaciones), consiste en utilizar enjuagues estancos y descartarlos y volverlos a llenar al final de la jornada.

Controles basados en la conductividad eléctrica (controles de conductividad)

La unidad de control consiste en tres componentes: sensor o sonda ubicada en la cuba de enjuague (mide la conductividad del agua de enjuague e informa al sistema de control), sistema de control y válvula solenoide (abre y cierra la entrada de agua en respuesta al sistema de control). Durante el uso, el arrastre incorporado al enjuague va aumentando la conductividad del mismo. Al alcanzar un determinado valor (preestablecido), se activa la apertura de la válvula solenoide. La misma permanece abierta y la conductividad disminuye hasta que se alcanza un valor (establecido previamente), en el que el sistema de control cierra la válvula solenoide.

Este sistema requiere de mantenimiento periódico, sobre todo las sondas conductivas son particularmente sensibles a la incrustación los enjuagues de baños alcalinos (las inductivas son menos sensibles a las incrustaciones). Otro problema que se presenta es que la sonda no es sensible a los contaminantes no iónicos, y el enjuague puede contaminarse excesivamente con material orgánico o particulado.

Control de caudal por temporizador (timer)

Consiste de un pulsador manual, un mecanismo temporizador o timer y una válvula solenoide. La unidad opera de forma similar a la del control de conductividad, sin embargo, en lugar de regular el caudal con base en la calidad de la conductividad del agua de enjuague, el temporizador controla el flujo abriendo la válvula durante un tiempo preestablecido.

El dispositivo trabaja de la siguiente forma: el operador introduce el material en la cuba de enjuague y presiona el pulsador (también puede activarse un interruptor en forma automática al descender la ganchera o el tambor). El interruptor o pulsador activa el timer y este abre la válvula solenoide durante un tiempo preestablecido. Finalizado el mismo, la válvula solenoide se cierra automáticamente.

El tiempo de apertura de la válvula debe ser establecido mediante prueba y error. Es mejor seleccionar un tiempo que asegure agua “consistentemente limpia”, sin excesivo desperdicio. Una vez definido, el tiempo de apertura no debería variarse a menos que la tendencia general de producción cambie.

Medidor de caudal

Si bien por sí mismos no reducen el uso de agua, sirven para tomar conciencia de la tasa de consumo y pueden ser muy útiles para identificar un uso excesivo de agua.

Como mínimo deberá instalarse un medidor de caudal por línea de trabajo. Las lecturas en un largo período de tiempo pueden mostrar la tendencia en el uso de agua y sirven además para obtener valores promedio. Con esta información un gerente de producción puede identificar sectores donde el consumo de agua es excesivo para luego buscar corregir el problema.

4.7.3 Alternativas para la configuración de los enjuagues

Para evaluar las alternativas de enjuague de manera eficiente, se necesitan datos sobre el arrastre y el uso de agua, criterios de calidad de enjuagues y ecuaciones que relacionen estas variables. Lo más difícil de obtener es la información relativa al arrastre.

Cuantificación del arrastre

Un método comprobado para obtener rápidamente información relativa al arrastre requiere el uso de un conductímetro. En las tablas 4.12 y 4.13 se adjuntan valores de conductividad y criterios de enjuague utilizados en el método que a continuación se describe a través de dos ejemplos:

Medición de la conductividad para determinar la concentración de un baño en su enjuague (decapado de ácido sulfúrico):

- Medir la conductividad del agua corriente (o agua utilizada para alimentar los enjuagues): $a = 100 \mu\text{mho}$ ($1 \mu\text{mho} = 1 \mu\text{S/cm}$).
- Medir la conductividad del enjuague (en un enjuague múltiple, en el último o menos contaminado): $b = 5500 \mu\text{mho}$

- En una jarra, agregar 1 ml de del baño de decapado a 1 litro del enjuague y medir la conductividad: $c = 6250 \mu\text{mho}$
- El incremento en conductividad para 1mL de baño de decapado/l de agua de enjuague es: $c - b = 6250 - 5500 = 750 \mu\text{mho}$
- La concentración del decapado en el enjuague es:

$$e = (b - a) / (c - b) = 5400/750 = 7,2 \text{ ml/l}$$
- El equivalente de ácido sulfúrico en el enjuague es (ver tabla 4.12):

$$1000 (b-a)/ 6300 = 5400000/6300 = 857 \text{ mg/L H}_2\text{SO}_4 \text{ eq.}$$
- Comparar este resultado con el criterio establecido en la tabla 4.13 para establecer si el caudal de enjuague que se utiliza es el adecuado. Si es necesario, ajustar el caudal y repetir las medidas hasta que se alcance el criterio de enjuague.

Baño	100 mg/l	150 mg/l	750 mg/l	1.000 mg/l	10.000 mg/l
Latón (cianuro)	130	300	1.490	2.000	13.000
Bronce (cianuro)		240	1.200		
Cadmio (cianuro)	130	260	1.310	1.740	13.000
Ácido crómico		450	2.250	3.000	25.000
Desengr. (liviano)	110		1.150	1.540	13.000
Desengr. (pesado)	170		2.250	2.960	27.000
Cobre CN strike	260		1.600	2.540	10.000
Cobre Rochelle			1.900		
Cobre sulfato	60		1.400	1.630	4.000
Oro (cianuro)		260	1.300		
Ác. clorhídrico	700		5.000	11.000	103.000
Plomo fluoborato	10			590	6.400
Níquel	60		640	530	3.900
Plata (cianuro)	80		680	910	8.500
Ácido sulfúrico	600		4.000	6.300	48.000
Estaño (alcalino)	10	70	340	390	4.750
Cinc (cianuro)	100	280	1.390	1.800	14.000
Cinc (ácido)	50		630	470	3.300

Figura 4.12. Tabla de conductividades de baños más comunes (μmho). ⁷

⁷ Fuente: tabla extraída, adaptada y traducida (pág. 111), de “Pollution Prevention and Control Technologies for Plating Operations” 2nd edition, George Cushnie Jr., CAI Resources Inc, USA, 2009.

Medición de conductividad para determinar el arrastre:

- Registrar la cantidad de gancheras procesadas por hora, y la posición de la válvula de alimentación de agua. Luego cerrarla (o solamente cerrar la válvula de alimentación general). Extraer unos 15 cm de líquido de la cuba, abrir la válvula de alimentación de agua a la posición registrada (o abrir la válvula general), y tomar nota del aumento de altura en la cuba (cm/min). Con la cantidad de gancheras procesadas y el aumento de altura del agua, calcular el caudal como litros/ganchera (también puede expresarse el caudal como l/dm² de área mojada, l/tambor u otro indicador):

$$Q = 8.0 \text{ l/ganchera}$$

- Medir el arrastre de entrada por ganchera: cerrar la válvula de alimentación de agua, agitar el enjuague, medir la conductividad, procesar un determinado número de gancheras a través del enjuague, agitar el enjuague y medir nuevamente la conductividad.

A partir del incremento de μmho / ganchera, se calcula el arrastre en ml /ganchera.

Tipo de enjuague	Rango de concentración (mg/l)
Luego de desengrase / decapado	400-1000
Final de proceso (recubrimiento funcional)	100 - 700
Final de proceso (recubrimiento brillante)	5 - 40

Figura 4.13. Tabla de niveles permitidos de contaminación en diferentes enjuagues.

Enjuagues en contracorriente

Es bien conocida la estrategia de reducir el uso de agua utilizando dos o más cubas de enjuague conectadas en serie. Agua limpia ingresa a la cuba de enjuague que se ubica más alejada de la cuba del baño y luego rebalsa hacia la (o las) cuba(s) que se ubican más cerca del mismo. Esta técnica se denomina enjuagues en contracorriente debido a que las piezas o materiales en proceso y el agua de enjuague se mueven en sentidos opuestos. Esta configuración permite usar una cantidad de agua que disminuye drásticamente con la cantidad de cubas que conforman el sistema.

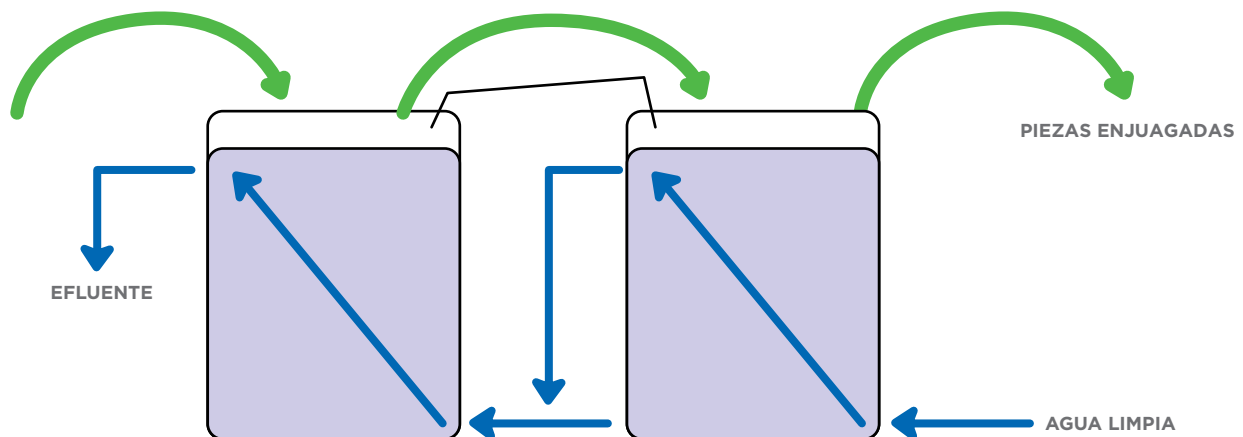


Figura 4.14. Esquema de configuración de enjuagues en contracorriente

Las principales desventajas de estas configuraciones de enjuague en contracorriente son: el costo de las cubas adicionales, mayor espacio ocupado y mayor tiempo de producción/ trabajo.

El caudal de enjuague necesario está gobernado por una ecuación exponencial que depende de la concentración de químicos en el arrastre, la concentración tolerable en el último enjuague y la cantidad de cubas que forman el sistema. La ecuación asume un enjuague completo (remoción total del arrastre) y mezclado completo; para que ambas situaciones se aproximen con la realidad se requiere suficiente tiempo de residencia y agitación en cada cuba. En la práctica, cada etapa de enjuague que se agrega reduce el uso de agua en un 50 %.

La ecuación más utilizada que se aplica a enjuagues en contracorriente es:

$$R_c = (C_b / C_e)^{1/n} \quad \text{Donde:}$$

R_c = Factor de dilución

C_b = Concentración en la cuba precedente

C_e = Concentración requerida en el último enjuague

n = cantidad de cubas de enjuague

A continuación, se muestra un ejemplo de aplicación del uso de esta ecuación.

Un baño de níquel tipo watts tiene una concentración de 270 g/l (270.000 mg/l) de sólidos totales disueltos. La concentración objetivo en el último enjuague es de 37 mg/l. El factor de dilución requerido es 7300; esto quiere decir que aproximadamente 7300 L de agua de enjuague se requieren por cada litro de baño arrastrado, para el caso de un sistema con una sola cuba de enjuague. En cambio, instalando un sistema con dos cubas de enjuague, el requerimiento de agua se reduce a 86 litros de agua por cada litro de baño arrastrado al sistema (suponiendo un 100 % de eficiencia). El mismo grado de dilución se alcanza en el segundo enjuague, y el consumo de agua se reduce en un 99 %. La cantidad de contaminantes que sale del sistema es igual en ambos casos, pero en el último se encuentra mucho más concentrada.

Enjuagues en cascada, reactivos y doble propósito

Cuando se habla de enjuagues en cascada se hace referencia a la reutilización del agua una o más veces, en diferentes cubas de enjuague de distintos baños.

El caso de enjuagues reactivos es similar, con la diferencia que alguna reacción tiene lugar entre los químicos procedentes de los diferentes baños; por ejemplo, cuando se utiliza el agua de la salida del enjuague del decapado como alimentación del enjuague del desengrase. En este caso el agua ácida proveniente del enjuague del decapado ayuda a remover, por neutralización, la alcalinidad proveniente del desengrase.

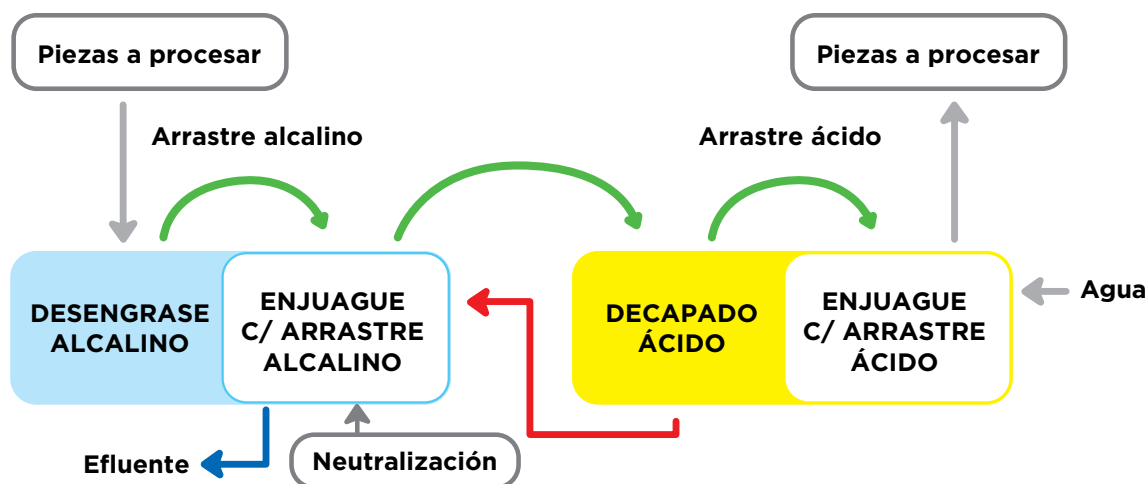


Figura 4.15. Esquema operativo de un sistema de enjuagues reactivos.

Los enjuagues doble propósito se utilizan para remover contaminantes de más de un tipo de baño. El problema es que muchas veces esto implica transportar gancheras o tambores que gotean sobre otros baños o en el piso, por lo que hay que tener en cuenta el riesgo de contaminación de otros baños o evitar el escurrimiento sobre el piso.

Generalmente los enjuagues en cascada y reactivos se utilizan en líneas de trabajo automáticas, mientras que los de doble propósito se utilizan en líneas manuales.

Todos estos enjuagues tienen un denominador común que es el ahorro de agua. Sin embargo, se debe prevenir la posibilidad de reacciones químicas indeseables que podrían impactar de modo negativo en la seguridad del personal (por ejemplo, la formación de cianuro de hidrógeno o gas cianhídrico), o en la calidad del trabajo (por ejemplo, precipitando sólidos).

Enjuagues químicos

Esta técnica ha sido utilizada por la industria de acabado de metales durante muchos años. Una de las primeras aplicaciones fue para eliminar las manchas provenientes del baño de cromo, el cual es muy difícil de enjuagar. Pero aplicando un primer enjuague estanco conteniendo bisulfito de sodio, el arrastre de cromo hexavalente es convertido a cromo trivalente, y de esta manera la facilidad de enjuague de las piezas en un segundo enjuague mejora de manera considerable. El mismo principio ha sido aplicado en enjuagues de neutralización.

Todos estos sistemas de enjuagues químicos tuvieron cierta popularidad en los años 70, aunque en la actualidad han caído en desuso, debido al mantenimiento y control intensivo que se requieren en su operación.

Enjuagues con pulverizadores o rociadores (spray)

Los enjuagues por spray pueden utilizarse en una amplia gama de configuraciones para reducir tanto el arrastre como el uso de agua. Se debe tener en cuenta que esta técnica es muy eficiente cuando se aplica a piezas o partes planas, poco eficiente para aquellas con cavidades y recesos y no es efectiva para el enjuague del interior de piezas huecas o caños. Se aplica por lo general cuando se trabaja con gancheras, aunque se han diseñado dispositivos para aplicar agua con rociadores para el enjuague de tambores.

Las boquillas o picos están disponibles en diferentes tamaños y patrones de pulverización. Normalmente pueden utilizarse con la presión de la línea de alimentación, pero pueden lograrse altas velocidades agregando una bomba presurizadora al sistema. El problema más común que suele afectar el desempeño de estos sistemas es la obstrucción de los picos, causada por incrustaciones o por sólidos arrastrados por el agua.

Aplicados sobre los baños (ver apartado 4.7.), constituyen una medida directa de recuperación del arrastre. También puede reemplazarse un enjuague de recuperación común por una cuba con rociadores, resultando en algunos casos en una excelente medida de recuperación y ahorro de agua (dependiendo del tipo de piezas o partes procesadas).

Cuando se sustituye un enjuague común de inmersión por uno de spray, se utiliza una cuba vacía en cuyos laterales se instalan los picos rociadores. Dependiendo de la forma y tamaño de las piezas en proceso, se ahorra entre un 75 y un 87 % de agua.

Uno de los usos más comunes es la combinación del uso de spray con enjuagues por inmersión. El spray puede aplicarse desde el borde de la cuba. Primero se sumerge el material a enjuagar en la cuba, y al momento de retirarlo se activa el sistema de rociadores en forma manual o automática, aplicando agua a medida que se retira de la cuba. Esta combinación de ambos sistemas puede alcanzar una eficiencia similar al del enjuague en contracorriente, y ahorra tiempo y espacio.



En Estados Unidos se han desarrollado equipos patentados que contienen 5 a 7 soluciones de enjuague en diferentes compartimentos. Estas soluciones son bombeadas de manera sucesiva (hasta 70 l/min) hacia una cuba de enjuague por spray y drenada hacia el equipo. Durante cada ciclo de enjuague solo se descarta el agua usada en la primera aplicación. Esta unidad presenta la ventaja de múltiples enjuagues en contracorriente utilizando una sola cuba.



Figura 4.16. Rociadores utilizados para enjuagar piezas pequeñas. (Fuente SADAM)

Sistemas de enjuagues combinados

En general en casi todos los procesos de tratamientos superficiales se utilizan sistemas de enjuagues que aprovechan las ventajas combinadas de los diversos tipos de enjuagues ya vistos, tanto para reducir el arrastre como para ahorrar agua.

A modo de ejemplo, un sistema de cuatro enjuagues puede estar conformado por dos enjuagues de recuperación (estancos) en serie y otros dos enjuagues en contracorriente. Otra de tantas posibilidades está formada por un enjuague de entrada y salida (estanco) y otros dos enjuagues en contracorriente.

La configuración más adecuada de enjuagues dependerá de varios factores que incluyen: 1) tasa de evaporación en el baño de proceso; 2) arrastre; 3) requerimiento de calidad en el agua de enjuague (enjuague final); 4) costo de los químicos utilizados en el proceso; 5) costo de las tecnologías de recuperación; 6) costo del agua, y 7) costo del tratamiento de las aguas residuales y de disposición final de los barros.

Estados Unidos tiene disponible en el mercado un software que permite un análisis en un sistema de hasta cinco estaciones de enjuague y el uso suplementario de recuperación en evaporadores. El programa permite agregar enjuagues de recuperación, cambiar el volumen de las cubas y la carga de trabajo, etc. para encontrar la combinación que optimice el proceso desde el punto de vista ambiental y económico (Plato's Process Planner).

4.7.4 Reutilización de aguas residuales tratadas

Cuando se realiza el tratamiento convencional de las aguas residuales (por ejemplo, precipitación con hidróxido de sodio), es posible su reutilización parcial en enjuagues que no son críticos para el proceso, como por ejemplo, los de un desengrase de inmersión o decapado. El agua puede ser previamente filtrada a través de un filtro de arena.

Al considerar la reutilización de agua tratada de esta manera se debe tener en cuenta que contiene una alta concentración de sólidos disueltos (por ejemplo, sodio), que pueden terminar contaminando los baños. Será entonces necesario un tratamiento más complejo para producir agua con la calidad de enjuague que requieren la mayoría de los procesos (este tema será abordado con mayor profundidad en 4.11. Segregación y tratamiento de aguas residuales).

4.8 Tratamiento de superficies y el enfoque de ciclo de vida

Muchos tratamientos superficiales tienen por finalidad la protección de partes y piezas metálicas contra efectos indeseados como la corrosión y el desgaste (cincado, cromado, cobreado, latonado, niquelado, anodizado, etc.), prolongando de esta manera la vida útil de las mismas y de los equipos o dispositivos de los que forman parte, con lo cual y desde este punto de vista son beneficiosos para el ambiente.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y en Europa, las Directivas de la Comunidad Europea, reconocen la importancia de considerar todas las entradas y salidas en los procesos de manufactura o fabricación y recomiendan la evaluación del ciclo de vida para identificar y evaluar objetivamente las oportunidades de reducir los impactos ambientales asociados con un determinado producto, proceso o actividad.

Existe una enorme diversidad de partes que reciben tratamientos superficiales (en su mayoría metálicas y principalmente de acero). El análisis del ciclo de vida de estas partes conforma la evaluación de los aspectos ambientales de todas las actividades que integran la cadena productiva, desde su origen (minería del hierro) hasta el final de su vida útil (disposición como residuo, o preferentemente reciclado). Si bien el abordaje integral de este tema queda fuera del alcance de esta Guía, se pretende incluir en este punto los aspectos importantes que están relacionados con las organizaciones sobre las cuales las empresas que realizan tratamientos superficiales pueden ejercer alguna influencia: sus proveedores y clientes. Esta influencia debería estar orientada a concientizarlos y movilizarlos para que adopten medidas que contribuyan a mejorar el desempeño del producto en su ciclo de vida; y en particular aquellas que benefician las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores y también el desempeño ambiental en la planta de acabado de metales.

Sustitución de materiales y tecnologías

Es posible modificar o reemplazar los procesos para reducir los riesgos asociados con el uso de materiales peligrosos (hay excepciones como las especificaciones militares o aeroespaciales respecto a determinados acabados, baños y procedimientos).

En la industria de los acabados superficiales, las sustancias que tradicionalmente se identifican con un mayor riesgo de impacto en el ambiente y los trabajadores son: solventes clorados, cianuros, cadmio y cromo hexavalente (muchas veces referidos como las 4C).

Es importante aclarar que no siempre el reemplazo de un material peligroso significa una mejora. Existe entre la mayoría de las personas que son parte interesada en estos temas un consenso generalizado en que debería sustituirse o eliminarse totalmente el uso de cianuros, cadmio y cromo para alcanzar adecuados estándares de seguridad, salud y protección ambiental. Sin embargo, en ciertas ocasiones los sustituyentes seleccionados crean nuevos problemas. En estos casos, el planteo sobre si tiene sentido mejorar el proceso existente a través de la ingeniería o mediante la sustitución debería ser adecuadamente investigado, incluyendo las etapas del ciclo de vida afectadas por el cambio, ponderando adecuadamente las respectivas ventajas y desventajas. Por lo tanto, muchas de las medidas adoptadas en pos de un mejor desempeño ambiental de determinados procesos deberían ser reevaluadas bajo el enfoque holístico que implica el análisis del ciclo de vida. A continuación, dos ejemplos muestran esta necesidad:

En los Estados Unidos el proceso de cromo duro ha sido el objeto de reducción y eliminación por parte de las fuerzas armadas y la industria privada. Entre los sustitutos potenciales del proceso se incluyen: níquel químico, electropulido, aleaciones de níquel y recubrimientos metálicos al vacío. En todos los casos, no hay un solo sustituto que alcance todas las prestaciones del cromo duro, debiendo entonces aplicar diversas alternativas, y aún así hay algunas aplicaciones que no encuentran reemplazo.

Sustitutos como el electropulido o la deposición de aleaciones de níquel pueden reducir el uso de cromo, pero incrementan la cantidad de residuos generados, dado que estos baños se agotan o contaminan de forma irreversible y deben ser descartados al no poder utilizarse indefinidamente. Contrariamente, el baño de cromo duro puede operarse en un circuito cerrado, recuperando el cromo de los enjuagues (evaporación, intercambio iónico), de sus emisiones (filtración, recuperación de nieblas), y de sus soluciones de desplaque (electrólisis con membranas), y de esta forma utilizarse de manera indefinida sin descartes de ningún tipo.

Además, las partes cromadas generalmente tienen una vida útil mucho mayor a aquellas que reciben recubrimientos alternativos, y esto también significa una menor generación de residuos a disponer/reciclar.

Algo similar ha sucedido a partir de los requerimientos de la industria automotriz para eliminar el cromo hexavalente de los pasivados que se utilizan en el proceso de electrodeposición de cinc. Todos los argumentos en contra del uso de estos pasivados apuntan al problema de la lixiviación de cromo hexavalente durante la vida útil de las partes; sin embargo, los sustitutos generan volúmenes mayores de residuos durante la aplicación del proceso y en el descarte de los baños agotados. Al momento de realizar la presente guía no se ha encontrado un análisis enfocado en la perspectiva del ciclo de vida, comparando el desempeño de los pasivados tradicionales que contienen cromo hexavalente con las alternativas introducidas en el mercado que han desplazado parcialmente su uso, encareciendo el cincado de autopartes.

Minimización /eliminación del uso de solventes clorados

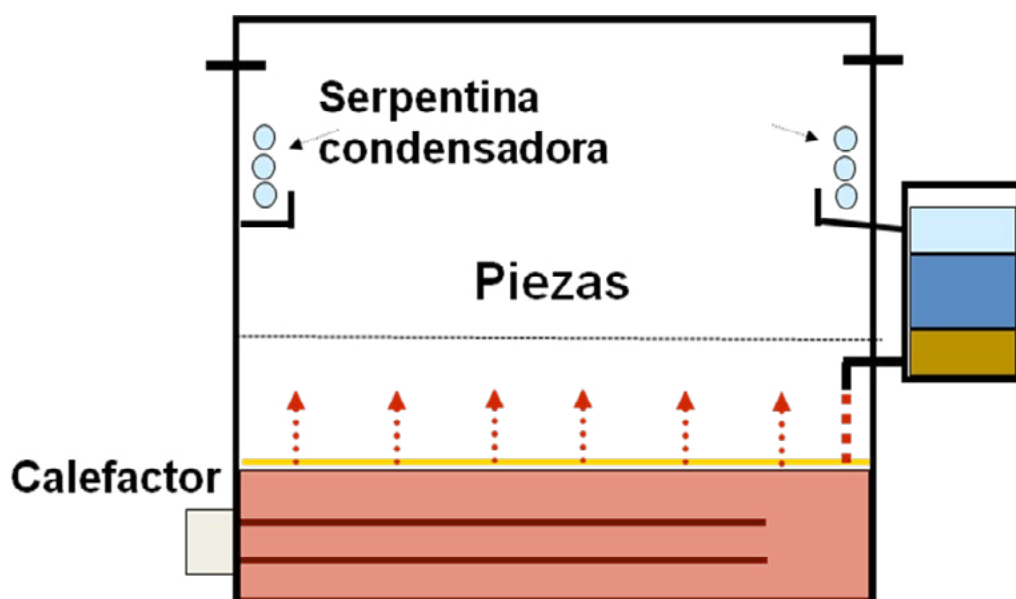


Figura 4.17. Esquema de equipo desengrasante que utiliza solvente en fase vapor. (Fuente SADAM)

Estas sustancias han sido muy utilizadas tanto en la industria metalúrgica como en el acabado de metales, en operaciones de limpieza y desengrase. Los más comunes son: tricloroetileno, percloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, clorofluorcarbonos y cloruro de metileno.

Son utilizados de diferentes formas (desengrase en fase vapor, inmersión o por spray), inclusive mediante trapeo manual.

El uso de todos estos materiales se ha ido reduciendo, sobre todo desde la década de 1990, debido a las normativas que restringen el uso de sustancias que afectan la capa de ozono, el aumento del costo de los solventes y del costo de disposición de sus residuos, y la concientización sobre los efectos adversos que causa su uso en la salud de los trabajadores. Los sustituyentes más utilizados son los desengrasantes de base acuosa.

Minimización /eliminación del uso de cianuros

Los cianuros (de sodio o potasio) han sido componentes clave de los tratamientos superficiales desde hace muchos años. Algunos de los metales que pueden depositarse a partir de soluciones cianuradas son: cobre, cinc, cadmio, latón, oro y plata.

Si bien todos estos baños tienen un muy buen desempeño, los riesgos y controles normativos asociados al uso de cianuros plantea un doble problema: económico y de cumplimiento legal. Por ello desde mediados de los años 70, ha habido un significativo esfuerzo por hallar alternativas de baños libres de cianuro.

La mayor y más completa sustitución de cianuros que haya tenido lugar en la industria de los tratamientos superficiales es la conversión de baños cianurados de cinc a procesos basados en cloruro de cinc y cincado alcalino libre de cianuros. Comenzó en los Estados Unidos a fines de los años 70 y llegó a Argentina a comienzos de 1990.

Lamentablemente en algunos casos aún no se han comprobado en el mercado alternativas exitosas para sustituir el uso de ciertas aplicaciones de baños cianurados (por ejemplo, en la electro deposición de cobre alcalino, latón y plata).

Minimización /eliminación del uso del cadmio

La electrodeposición de cadmio se realiza por lo general a partir de baños cianurados, aunque existen formulaciones libres de cianuro que presentan algunas dificultades en su aplicación.

En Argentina, la mayoría de las empresas que eliminaron el cadmio de su producción lo hicieron por problemas de cumplimiento ambiental, y simplemente discontinuaron su uso.

El recubrimiento de cadmio (cadmiado) es a la vista muy similar al de cinc o cincado, pero tiene un mejor desempeño en ambientes tropicales y marinos y es más fácil de soldar con estaño. Es mayormente requerido por la industria aeronáutica, militar y electrónica.

No puede reemplazarse por una única alternativa, las cuales incluyen: estaño y aleaciones de estaño, cinc y ciertas aleaciones (cinc/cobalto y cinc/hierro).

Minimización /eliminación del uso del cromo

El cromo es muy utilizado como recubrimiento electrolítico del acero y del aluminio. Los baños más comunes con base en ácido crómico son: cromado duro y decorativo, recubrimiento de conversión para aluminio, abrillantado de cobre y sus aleaciones, anodizado crómico del aluminio, desplate de cromo y pasivado de cinc.

Debido a las características peligrosas del cromo hexavalente (ácido crómico y cromatos), y los costos asociados con el tratamiento y la disposición final de estos materiales, se han realizado grandes esfuerzos para eliminar o reducir su utilización.

Existen diversas alternativas para reemplazar la mayoría de estos procesos. El más aplicado es el reemplazo del ácido crómico en baños de cromo decorativo por compuestos de cromo trivalente. El problema es que este acabado no logra el aspecto del baño tradicional y en muchas ocasiones es rechazado.

Otra aplicación que ha sido reemplazada en gran extensión es el pasivado o reconversión de cinc con base en compuestos de cromo hexavalente por otras formulaciones basadas en cromo trivalente y otros compuestos (sobre todo en Europa y América del Norte). En Argentina solo se ha reemplazado su uso en ciertos mercados, en especial aquellos vinculados con los proveedores de la industria de autopartes. Las principales desventajas que presentan los reemplazos son:

1. Las alternativas que igualan los requerimientos de desempeño (resistencia a la corrosión) de los pasivados tradicionales con cromo hexavalente, son de un costo significativamente mayor.
2. Estos baños de pasivados libres de cromo hexavalente, al ser aplicados atacan con mayor intensidad el recubrimiento de cinc, por lo que se requiere un mayor espesor de capa. Esto a su vez implica mayor tiempo de electrodeposición y aguas residuales con mayor carga de metales (mayor costo de tratamiento de aguas residuales y mayor costo asociado a la generación de barros en el mismo).
3. El acabado dorado no tiene el mismo aspecto visual y es rechazado por algunos clientes.
4. Los clientes que no pertenecen al mercado de autopartes no están dispuestos a pagar el mayor costo del recubrimiento alternativo.

Reutilización de envases

La gran mayoría de los proveedores no reutiliza los envases de productos químicos que comercializa. Las desventajas que plantean los proveedores respecto de la reutilización de envases son:

- El costo asociado con la logística y el transporte de envases vacíos.
- La necesidad de disponer de instalaciones para el lavado de los envases y la correspondiente generación de aguas residuales y residuos adicionales en su propia planta.

- Los requerimientos y costos legales asociados con el transporte y acondicionamiento de los envases vacíos, que normalmente son considerados residuos peligrosos.

En general los envases de líquidos (ácidos, soda cáustica concentrada y gran parte de los productos formulados) pueden ser reutilizados varias veces, reduciendo la generación de residuos con características peligrosas. En los Estados Unidos existe normativa específica para el manejo de envases y contenedores vacíos. La EPA recomienda que, luego de vaciar en forma correcta un recipiente o contenedor, se aplique un triple enjuague para eliminar las características peligrosas del mismo. Es recomendable aplicar este criterio a los envases vacíos antes de que los retire el proveedor para su reutilización. Las aguas del primer lavado pueden ser incorporadas en algún baño donde se utilice la materia prima en cuestión, y las de los otros, ser derivadas a la planta de tratamiento de aguas residuales. También puede enjuagarse el contenedor o bidón con un poco de líquido del baño donde se utiliza la materia prima, devolverlo al baño, y luego enjuagarlo con agua de los enjuagues de este baño, devolviendo las aguas de lavado a las cubas de los mismos enjuagues o descartarlas para su tratamiento en la planta de aguas residuales. En todos los casos el enjuague final debe realizarse con agua limpia.

Diseño y fabricación de las partes y piezas que recibirán tratamientos superficiales

La gran mayoría de los proveedores no reutiliza los envases de productos químicos que comercializa. Las desventajas que plantean los proveedores respecto de la reutilización de envases son:

1. En piezas con partes soldadas, evitar en lo posible el solapamiento o superposición de partes planas. Las costuras de soldadura y solapamiento de partes pueden entrapar líquidos de los diferentes baños durante el tratamiento superficial, originando un proceso corrosivo que se manifiesta después de un tiempo variable, causando manchas y otros defectos que son difíciles o imposibles de evitar.
2. Asegurar un drenaje adecuado. Las piezas que tienen el potencial de retener soluciones en el proceso de tratamiento superficial deben diseñarse con puntos de drenaje correctamente ubicados, en forma de muescas o agujeros. De esta manera se minimiza el arrastre y el riesgo de contaminación de los baños en la línea de producción.
3. En piezas o partes huecas se debe asegurar tanto la rápida salida del aire durante su inmersión como la del líquido durante su retiro de las cubas. El aire entrapado puede hacer que las piezas floten y se cambien de posición o se caigan de las gancheras. El líquido que drena lentamente prolonga el tiempo de escurrido, aumentando el tiempo de proceso, el arrastre y el riesgo de defectos (secado de la superficie, etc.).
4. En los recubrimientos electrolíticos, las aristas filosas y puntas o partes salientes reciben más corriente eléctrica y se recubren con un espesor que puede ser excesivo, mientras que los recesos y partes cóncavas o cavidades profundas tienen dificultad para recubrirse e incluso no logran hacerlo.

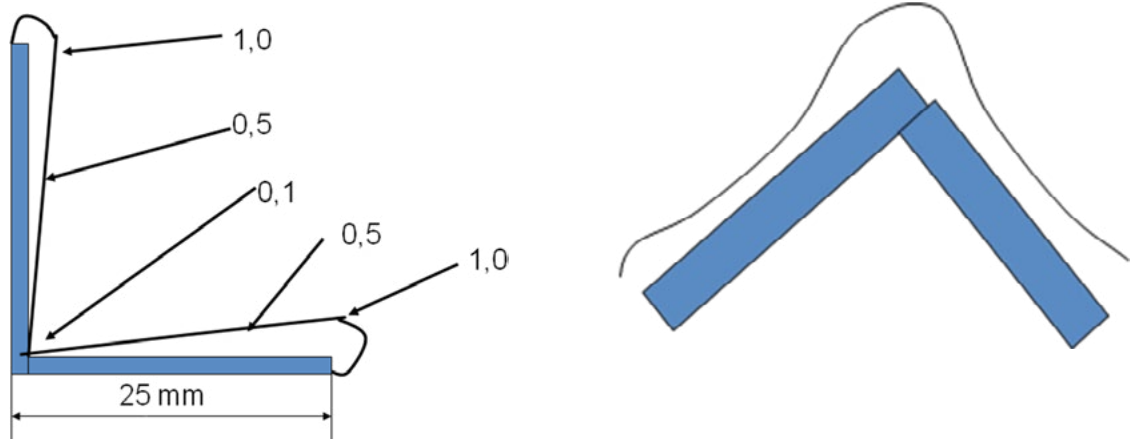


Figura 4.18.- Variación de los espesores de recubrimiento debido a diferencias en la distribución de la densidad de corriente durante la electrodeposición. (Fuente SADAM)

5. La elección y terminación del sustrato tiene un marcado efecto en la apariencia de los productos acabados: El acero laminado negro nunca puede darle la misma apariencia al acabado que un acero dulce libre de imperfecciones. Las marcas de óxido sobre la superficie dejarán una cicatriz sobre la misma, que no puede disimularse con el recubrimiento. Los restos de escoria de soldadura que no fueron eliminados mecánicamente no serán removidos por un decapado común (ácidos sulfúrico o clorhídrico).
6. La presencia de virutas y exceso de lubricantes en los materiales a tratar (generalmente en piezas y partes que se procesan a granel, en tambores), son un problema común que deben enfrentar los tratadores de superficies. Estos materiales deberían ser separados por los fabricantes de las partes o piezas, recuperándolos para su reutilización (lubricantes) o venta (virutas). Por el contrario, al ingresar al proceso de acabado superficial estos materiales contribuyen considerablemente con la generación de residuos peligrosos: las virutas caen de los tambores, se oxidan y contaminan los baños, y el exceso de aceites al ingresar a los desengrases acorta sensiblemente la vida útil de estos baños, sobrenadan y si no se cuenta con los recaudos necesarios pueden arrastrarse a lo largo de la línea de proceso causando problemas.
7. Los tratamientos térmicos a menudo generan una gruesa capa de óxido que luego debe removerse en la planta de tratamientos superficiales, aplicando un decapado auxiliar fuera de la línea de proceso. En esta operación de decapado se consume una gran cantidad de ácidos y se genera con su descarte un volumen importante de aguas residuales, difíciles de tratar y que a su vez generan gran cantidad de barros. Existen alternativas a estos tratamientos, que utilizan gases inertes evitando la oxidación del acero y la posterior necesidad de decapado.

4.9 Eficiencia energética

A pesar de lo que podría pensarse en un principio, el uso de energía y combustibles no es intensivo en las empresas de tratamientos superficiales. La única probable excepción son los procesos de enlozado y galvanizado.

En el galvanizado se recubren piezas y partes de acero sumergiéndolas en un baño de cinc fundido, a unos 500 °C. En el enlozado se hornean las piezas a 850 °C para vitrificar una capa superficial de esmalte.

En estos procesos deberían implementarse medidas tendientes a la recuperación de calor de las emisiones del horno de vitrificación o del sistema de calefacción de la cuba de galvanizado. Con un equipo intercambiador de calor puede recuperarse hasta el 80% del calor residual de los gases de combustión (como agua caliente), que puede utilizarse en otras operaciones de proceso y también para la calefacción de la planta y oficinas.

En la mayoría de los procesos de tratamientos superficiales, las oportunidades de mejora están principalmente relacionadas con la optimización de los sistemas de calefacción de las cubas y el aislamiento térmico de las mismas. A continuación, se citan algunas medidas para reducir el consumo de energía eléctrica y combustibles.

Alternativas para la calefacción de cubas

Las cubas que trabajan en caliente (como los baños de desengrase, níquel y cromo), son en su gran mayoría calentadas por medio de quemadores alimentados a gas natural o licuado. Otras formas de calentamiento incluyen el uso de resistencias eléctricas, y menos frecuentemente mediante serpentinas calefaccionadas con fluidos (vapor, agua caliente o aceite).

La selección del tipo de fuente de calor y sistema de calentamiento depende de diversos factores, principalmente asociados con el costo y disponibilidad de la fuente de energía; pero también debería al menos tenerse en cuenta la eficiencia de las diversas alternativas. El uso de energía eléctrica no es una opción muy utilizada en Argentina porque tradicionalmente se la ha considerado costosa frente al uso de combustibles; sin embargo los siguientes factores raramente son tenidos en cuenta: 1) no se generan emisiones derivadas del proceso de combustión; 2) la eficiencia es muy alta, ya que prácticamente todo el calor producido puede transferirse al líquido a calentar, y 3) se elimina o minimiza el riesgo asociado con el uso de materiales inflamables o combustibles.

Calefacción eficiente

Para minimizar el consumo de combustible o energía debe procurarse por un lado la máxima transferencia de calor de la fuente a la cuba, y por otro la mínima transferencia de calor de la cuba al ambiente.

La forma más sencilla de calefacción a gas consiste en un quemador ubicado en el fondo de la cuba. Para esta forma de calentamiento se logra un mejor aprovechamiento del calor si se prolongan los lados de la cuba por debajo del fondo hacia el piso, de manera de formar una contención para retener los gases calientes.

Sin duda la forma más eficiente de transferir calor de un quemador a una cuba es incorporando un tubo recto o mejor con forma de “U” paralelo al fondo o a un lateral de la misma, y dirigir un quemador en su interior.

En una instalación preparada para atender un volumen de producción importante en las que se necesita calefaccionar varias cubas utilizando combustibles, debe analizarse la alternativa de instalar una caldera o termotanque industrial con un sistema de distribución de vapor o aceite y el uso de serpentinas para la calefacción de cada una de las cubas. Si la empresa se encuentra en un lugar que tiene buena insolación, la incorporación de termotanques solares debe ser evaluada, manteniendo en la línea los sistemas de calefacción convencionales, que serán utilizados como refuerzo o reemplazo de los primeros.

Aislación de las cubas

Un aislamiento correcto de las cubas puede ahorrar hasta un 50% de combustible o de energía eléctrica.

Los laterales pueden aislarse con placas de espumas plásticas (poliuretano o polietileno), siempre y cuando no reciban los gases calientes del quemador cuando este se ubica debajo de la cuba, en cuyo caso se utilizará lana de vidrio en un espesor no menor a 50 mm, protegido por una cobertura de chapa.

Debe tenerse en cuenta que más de la mitad de las pérdidas de calor en una cuba se producen por la superficie del líquido, debido mayormente a la evaporación de agua. Por ello se recomienda mantener las cubas tapadas en los casos en que sea posible. También es útil taparlas de un día para el otro o considerar el uso de esferas plásticas que flotan y cubren la superficie.

Iluminación

En la industria de tratamientos superficiales, es muy importante que el personal pueda ver los detalles de su trabajo, para lo cual requiere de una iluminación adecuada que debería ser evaluada por mediciones con luxómetro. Siempre que sea posible, debe aprovecharse la luz solar, para lo cual debe contarse con ventanales o tragaluces en buen estado de limpieza. Si fuera posible, el reemplazo de algunas chapas metálicas por chapas plásticas puede mejorar la entrada de luz diurna, lo cual redundaría en economía de energía eléctrica. El paso siguiente es la evaluación de la ubicación y tipo de luminarias. Como en las ventanas, la suciedad reduce su capacidad de iluminación; y su posición es muy importante, ya que la potencia lumínica decrece en forma inversa al cuadrado de la distancia entre la fuente y el observador. A menor distancia, mayor rendimiento, por lo cual debe considerarse bajar o reposicionar los artefactos.

Por último, la tecnología de iluminación ha sido revolucionada por la introducción del LED, ya que permite ahorrar entre el 50 y el 90 % de la energía eléctrica, según con qué se lo compare. La calidad de iluminación es equiparable a la luz de día, y su duración supera largamente a todas las otras tecnologías disponibles. Es muy fácil calcular la potencia instalada, que, multiplicada por las horas de uso en un periodo de facturación, resulta en los kWh consumidos en iluminación. La misma operación hecha con la potencia de reemplazo por LED, mostrará la conveniencia y el plazo de amortización del cambio.

4.10 Emisiones gaseosas: minimización y tratamiento

4.10.1 . Medidas preventivas

Las emisiones gaseosas generadas en plantas de tratamientos superficiales provienen de diversas fuentes. Estas emisiones pueden ser puntuales (si se descargan a través de un conducto al exterior) o difusas (si la descarga no está canalizada). Las emisiones difusas pueden causar impacto tanto en el ambiente laboral como en el exterior, mientras que las descargas a través de conductos pueden incidir en el entorno del establecimiento.

Las emisiones a su vez pueden generarse tanto en las cubas de proceso como en los equipos utilizados para su calefacción (quemadores, calderas, termotanques).

El criterio de base que determina si existe necesidad de tomar medidas con respecto a las emisiones gaseosas es el marco legal. En primer lugar, se prestará atención a las regulaciones sobre calidad de aire en ambiente laboral y, con respecto a las descargas al exterior, a la normativa ambiental específica en emisiones gaseosas. De todas formas, es deseable reducir o suprimir cualquier tipo de emisión de materiales peligrosos al aire independientemente de la necesidad de cumplimiento de la normativa vigente.

Las emisiones pueden reducirse o eliminarse aplicando las siguientes medidas recomendadas:

Disminuir la concentración o temperatura de los baños

La evaporación y el arrastre de materiales dependen tanto de la temperatura como de la concentración de los mismos, sobre todo si estos son volátiles.

Dependiendo de los materiales a procesar es posible el uso de baños de desengrase a menor temperatura, o incluso a temperatura ambiente. Los baños de desengrase deberían operarse a la mínima temperatura posible, ya que esto también conduce a un ahorro de energía.

Los baños de decapado generalmente se preparan con ácido clorhídrico. Por lo general se utilizan concentraciones de hasta 50 %. Estas soluciones, al igual que las de otros ácidos fuertes, generan emisiones (nieblas) que, además de ser perjudiciales para las instalaciones de la planta, pueden afectar la salud de los trabajadores. Las emisiones se reducen de manera notoria si se preparan soluciones más diluidas (la desventaja es que el tiempo de decapado será mayor). Existen diversas formulaciones para los baños de cromado. Debe preferirse aquellas de baja concentración (en el orden de los 250 g/l de ácido crómico) respecto de las de alta concentración (400 g/l), ya que además de reducirse el arrastre, generará nieblas con menor contenido de ácido crómico.

Agregado de espumígenos

La formación de espuma reduce la emisión de nieblas durante la operación de los baños de cromado, desengrase electrolítico y decapado. Esto se debe a que, cuando las burbujas de gas llegan a la superficie del líquido quedan retenidas en la espuma y se van agregando, for-

mando de esta manera burbujas de mayores dimensiones antes de romperse y liberar el gas a la atmósfera, lo cual reduce de manera sustancial la cantidad de líquido arrastrado en las emisiones.

Los productos agregados para generar espuma deben ser compatibles con la formulación del baño. Además, pueden causar efectos indeseables (exceso de espuma) en los enjuagues o baños agitados con aire.

Uso de esferas plásticas

En baños que trabajan a temperatura, el agregado de esferas plásticas que flotan reduce la evaporación, minimizando de esta manera la generación de emisiones (y también la pérdida de energía).

Sin embargo, debe también considerarse que el reducir la evaporación en un baño puede ser un efecto no deseado si se pretende minimizar el consumo de productos químicos incorporando un enjuague de recuperación. Por otra parte, las esferas acumulan suciedad, (en especial en los baños de desengrase), y también pueden quedar atrapadas entre el material procesado (dependiendo del material y del tipo de gancheras utilizadas).



Figura 4.19. Uso de esferas plásticas en un baño de cromo decorativo para reducir las emisiones al aire. (Fuente SADAM)

Sustitución de materias primas/procesos

Como ya fue mencionado, ciertos materiales o procesos pueden reemplazarse para obtener ciertas ventajas ambientales. En el caso de las emisiones gaseosas, debe considerarse:

- Posibilidad de uso de formulaciones para el decapado libres de ácidos fluorhídrico y nítrico.
- Sustitución o eliminación del cromado decorativo.

4.10.2 Medidas de control

Tanto el control como el tratamiento de las emisiones gaseosas no constituyen medidas preventivas, pero deben tenerse en cuenta, en caso necesario, como herramientas que contribuyen al cumplimiento legal y a la protección del ambiente laboral y exterior.

La concentración de contaminantes en el ambiente laboral, una vez implementadas las acciones tendientes a su minimización en origen, pueden mantenerse controladas aplicando las siguientes medidas:

Ventilación natural y extracción eólica

Si se cuenta con un buen diseño de aberturas en el local de trabajo, es posible aprovechar la convección y corrientes de aire que naturalmente se establecen. Esta es la forma más económica de mantener bajas las concentraciones de contaminantes en ambiente laboral, pero implica disponer de aberturas en el techo y laterales, de forma de contar con una alta tasa de renovación del aire.

Los dispositivos o extractores eólicos aspiran aire del ambiente laboral impulsados por el viento, por lo que el costo operativo es prácticamente nulo (son de muy bajo mantenimiento y solo se requiere una inversión inicial).



Figura 4.20. Extractores eólicos. (Fuente SADAM)



Extracción forzada

Pueden instalarse extractores en las paredes o el techo y de esta manera aspirar el aire interior y enviarlo hacia fuera. Para mayor eficiencia se requiere instalar sistemas de captación de emisiones que incluyen campanas, aspiradores laterales, ductos de aspiración, turbinas y ductos de descarga al exterior.

Figura 4.21. Aspiración lateral en cuba de decapado de una línea de cincado en tambores. Las flechas indican las aberturas de captación del aire contaminado. Imagen obtenida en Torcad Limited, Toronto. (Fuente SADAM)

4.10.3 Tratamiento de las emisiones gaseosas

En función de la escala y las características de las operaciones, puede ser necesario realizar el tratamiento de las emisiones antes de su descarga al exterior, ya sea por requerimientos legales o para minimizar el riesgo de conflictos con la comunidad. A continuación, se describen los equipos más utilizados.

Precipitadores ciclónicos

Este equipamiento permite la separación de partículas y/o gotas de una corriente gaseosa. No poseen partes móviles y son de sencillo mantenimiento. Se componen básicamente por un cilindro vertical con fondo cónico, con una entrada tangencial (en general rectangular). La velocidad de sedimentación se incrementa debido a las fuerzas centrífugas, y de esta forma se produce una separación más efectiva. Se pueden remover partículas de entre 10 y 50 μm .

Entre las aplicaciones de estos equipos pueden mencionarse el tratamiento de emisiones provenientes de operaciones de pulido y cromado, si bien en la mayoría de los casos se requiere de una etapa o equipo adicional para eliminar las partículas o gotas más pequeñas.

En el caso de cromado, el líquido que se separa puede ser retornado al baño (siempre y cuando el equipo se utilice para tratar solo las emisiones provenientes de los baños de cromo).



Figura 4.22. Precipitador ciclónico. (Fuente SADAM)

Torres lavadoras

Una torre lavadora o “scrubber” es puede utilizarse para remover tanto partículas (0,2 a 10 μm) como gases, los cuales quedan retenidos en un líquido que recircula dentro del equipo.

La corriente de aire contaminado ingresa por la parte inferior de la torre. El líquido ingresa por la parte superior del mismo a través de un sistema aspersor, descendiendo por gravedad y acumulándose en la parte inferior del equipo, desde donde es recirculado en forma continua. El aire tratado sale por la parte superior de la torre.



Figura 4.23. A la izquierda: Sistema de captación y tratamiento (torre de lavado), para baño galvánico (foto autor).

La torre puede contener materiales o rellenos que aumentan la superficie de contacto entre el líquido y el gas. El líquido debe ser renovado parcial o totalmente con cierta frecuencia, generando aguas residuales donde se encuentran concentrados los contaminantes que han sido removidos.

En el caso en que se utilicen para retener sólidos o estos se formen dentro de la torre no se recomienda la utilización de torres rellenas ya que es muy fácil que se obstruyan con la con-

Filtro de nieblas

Estos equipos han mostrado ser los más eficaces para el tratamiento de nieblas y vapores, especialmente las provenientes de los baños de cromo duro.

Mientras que las torres lavadoras y los precipitadores ciclónicos se utilizan por lo general para tratar diferentes tipos de emisiones que convergen desde diferentes puntos de la planta con diversidad de contaminantes, los filtros de niebla se instalan en el conducto de aspiración de cada baño.

El filtro de nieblas opera en posición horizontal y los más eficientes constan de tres etapas de filtración de mallas de fibras de polipropileno. En la primera etapa las emisiones pasan por un filtro seco, donde las gotas de líquido que arrastran son retenidas por impacto. El líquido con cromo que condensa sobre las mallas del filtro es recogido por una red de drenaje en el fondo de la unidad y devuelto a la cuba de cromado. La escasa cantidad de emisiones que atraviesa la primera etapa de filtración (del orden del 1 %), está formada por las gotas más pequeñas y son las más difíciles de filtrar con un mecanismo seco. Por lo tanto, la segunda etapa del dispositivo ofrece una superficie mojada: agua almacenada en un reservorio ubicado debajo del equipo es continuamente bombeada hacia el frente del segundo filtro a través de boquillas atomizadoras, y el remanente de niebla de cromo se disuelve en el líquido que recircula. A intervalos regulares (generalmente cada cambio de turno), el cromo acumulado en el líquido puede ser devuelto al baño de cromo al utilizarlo como solvente de limpieza de la primera etapa de filtración. En esta etapa la evaporación es intensa (7 a 19 l/h); por esta razón el tanque de recirculación está provisto de un sistema de control de nivel que automáticamente repone agua desionizada o de red. La última etapa es similar a la primera y tiene por objetivo remover las gotas de licor que se desprenden y arrastran de la segunda etapa.

Estos equipos de triple filtrado fueron evaluados por la EPA en los Estados Unidos. En dos oportunidades dicha evaluación arrojó resultados de eficiencia de remoción del 98,9 y 99,7 %. Los equipos son de bajo mantenimiento y vida útil superior a los 30 años. Al utilizarlos como recuperadores, no generan ningún tipo de residuo.

4.11 Aguas residuales: segregación, recuperación química y tratamiento

4.11.1 . Segregación o separación de corrientes de aguas residuales

Las aguas residuales de los procesos de tratamientos superficiales deben separarse de acuerdo con los contaminantes que contienen, de manera de posibilitar el posterior tratamiento u optimizar su eficiencia. También es posible recuperar materiales si se realiza una adecuada segregación de las aguas residuales.

Además, es importante evitar que las aguas de lluvia se contaminen con productos químicos o residuos. Por ello se debe:

- Mantener los desagües pluviales en buenas condiciones, aislados de eventuales derrames o pérdidas y de los sistemas de captación de las aguas residuales industriales.
- Evitar almacenar productos químicos en sectores ubicados a la intemperie.

El manejo adecuado de las aguas residuales, tanto desde el punto de vista económico como legal (alcanzar el cumplimiento establecido por la normativa para su descarga como efluentes), comienza por su correcta segregación, antes de efectuar el tratamiento, en función de los diferentes contaminantes compatibles para cada corriente. Vale destacar que cada corriente debe ser caracterizada por su composición y concentración, lo cual permitirá agruparlas según compatibilidad o no de tratamiento, e inclusive derivar a la cámara de aforo alguna que cumpla con los requisitos de vuelco (por ejemplo, agua de refrigeración en circuito abierto).

También deben controlarse los derrames de productos químicos, pérdidas de las cubas y los líquidos que escurren cuando trabajan los operarios. Todos estos problemas en principio se originan en la falta de mantenimiento, falta de capacitación o incidentes no controlados. La falta de control en estos aspectos atenta contra el principio de segregación y es muy probable que interfieran con las posteriores operaciones de tratamiento y en la calidad del vertido final. Además, los derrames pueden infiltrarse en el suelo y con el tiempo contaminar el suelo y las aguas subterráneas.

Las aguas residuales generadas en operaciones de enjuague se captan preferentemente por intermedio de cañerías descubiertas que las conducen hasta el sector donde se realiza su tratamiento o recuperación. Debe evitarse en lo posible el uso de canales en el piso, ya que en este caso hay mayor riesgo de infiltraciones y contaminación del suelo (si este es el caso, deberían inspeccionarse periódicamente para detectar y reparar fisuras y pérdidas). Las canalizaciones también presentan problemas de obstrucción por la eventual caída de objetos o pueden ser alcanzadas por derrames de materiales. Por razones similares debe en lo posible evitarse el uso de cañerías, cisternas, pozos de bombeo o sistemas de tratamiento enterrados.

Aguas residuales libres de cianuros y cromatos

Se generan en operaciones de limpieza de cubas o descartes de desengrases, decapado, activado, electrodeposición de baños ácidos (excepto cromado), fosfatizado, anodizado, etc. y mayormente en sus enjuagues.

Es frecuente que en los desengrases sobrenaden aceites, que deben ser retirados para evitar que se arrastren a sus aguas de enjuague, ya que interfieren con el posterior tratamiento de las aguas residuales.

Aguas residuales que contienen cianuros

Proviene de las aguas de enjuague de operaciones de temple con sales fundidas, desengrases formulados con cianuros y de los baños de electrodeposición cianurados. También se generan en operaciones de limpieza de cubas y durante el descarte o remoción de contaminantes de este tipo de baños (se producen barros y aguas de lavado que contienen cianuros).

Aguas residuales que contienen cromatos (cromo hexavalente)

Proviene de los enjuagues y limpieza de cubas, trasvase o descarte de baños de anodizado crómico de aluminio, desplaque de cromo, baños de cromo y operaciones de conversión o pasivados.

Otras corrientes de aguas residuales

En general las aguas residuales provenientes de servicios o procesos auxiliares pueden ser descargadas de manera directa (no requieren ser tratadas), aunque previamente podrían utilizarse como alimentación de algunos enjuagues y ahorrar agua.

Ciertos baños y sus enjuagues requieren tratamientos particulares, ya que contienen complejantes diversos (por ejemplo, los baños de níquel químico o mordentado de plásticos).

Los sistemas de tratamientos de emisiones gaseosas generalmente generan aguas residuales que en muchos casos pueden asimilarse a las corrientes ya mencionadas. Por ejemplo, las purgas de un sistema de lavado de emisiones de baños de cromo, si no se recuperan para su retorno al baño, pueden ser tratadas junto con los enjuagues correspondientes.

Cuando se busca la recuperación de materiales (productos químicos, agua), puede ser necesario aplicar otros criterios de segregación en función de los materiales a recuperar y las tecnologías a aplicar.

4.11.2 Recuperación de materiales

Los sistemas de recuperación pueden emplearse para valorizar algunos o todos los componentes de los baños en lugar de realizar purgas frecuentes o simplemente dejar que se agoten y descartarlos (prolongando la vida útil de los mismos, a veces en forma indefinida), pero también se utilizan diversas técnicas para recuperar materiales presentes en las corrientes de aguas residuales, separándolos para su reutilización.

En general todas estas tecnologías implican inversiones importantes en equipos que además requieren operadores calificados, mantenimiento periódico y condiciones operativas muy exigentes.

La recuperación de materiales es obvia en procesos que aplican metales preciosos (oro, plata, rodio, rutenio). Todas estas aplicaciones se realizan en instalaciones que suelen ser pequeñas y por otra parte el alto costo de los materiales recuperados lo justifica ampliamente.

En procesos de aplicación masiva, sólo las plantas de grandes dimensiones justifican la inversión en tecnologías para la recuperación de ciertos materiales como cobre, níquel y cromo (que son relativamente costosos).

En ciertos países de Europa y también en Canadá y Estados Unidos, donde la normativa ambiental tiene altos estándares, su uso está más extendido; muchas compañías invierten en estas tecnologías como una herramienta que, además de contribuir con la mejora en la imagen de la organización, facilita el alcance del cumplimiento de la exigente normativa que regula el vertido de efluentes.

De los sistemas de recuperación, el más aplicado (ya que es el más simple de operar y el menos costoso), es la evaporación a presión atmosférica, que también se aplica para concentrar baños.

Otras tecnologías (resinas de intercambio, sorción ácida, membranas), van ganando mercado a medida que se hace más económica su implementación.

Evaporadores atmosféricos

Este tipo de equipamiento, si bien se comenzó a utilizar hace 50 años en el sector, recién fue optimizado, reduciendo sus dimensiones, a comienzos de los '80. La misma tecnología es utilizada tanto para la recuperación de materiales como para concentración de aguas residuales (y minimizar los costos de su disposición final).

La concentración de líquidos por evaporación a presión atmosférica se realiza en equipos de apariencia similar a las torres de enfriamiento, ya que aplican el mismo principio: la evaporación de agua a través del intercambio entre una corriente líquida y aire: el líquido ingresa por la parte superior de la torre, se distribuye en un relleno y desciende por gravedad. Mientras tanto se impulsa aire en dirección ascendente, desde la base de la torre.

El líquido a evaporar normalmente es un baño en el que se necesita reducir su volumen para “hacer lugar” y poder agregar líquido de un enjuague estanco o de la primera etapa de un sistema de enjuagues en contracorriente, recuperando de esta manera los químicos que se perderían por arrastre.

La eficiencia en un evaporador atmosférico es función de: 1) la superficie de contacto entre las fases líquida y gaseosa; 2) la humedad relativa del aire; 3) la temperatura del aire, y 4) a relación de caudales líquido-aire.

Las condiciones climáticas afectan su desempeño y en general es necesario calentar la solución a evaporar; esto puede evitarse en los casos en que el baño debe ser refrigerado, al realizar el evaporador esta función (por ejemplo, un baño de cromo duro).

Los evaporadores atmosféricos se comercializan con capacidades máximas de evaporación que varían entre 37 y 330 l/h. También es posible utilizar estos equipos en serie para aumentar su rendimiento.

En algunos casos el uso de evaporadores permite recuperar la totalidad del arrastre (baños de níquel y cromo), cuando se cuenta con 3 ó 4 enjuagues estancos de recuperación. Para ello es

necesario utilizar agua desionizada en los enjuagues y prevenir los problemas causados por la acumulación de los minerales responsables de la dureza del agua.

La ventaja de estos equipos radica en: 1) bajo costo relativo; 2) operación y mantenimiento sencillos; 3) alta eficiencia de recuperación (90 a 100 %); 4) no consume aditivos ni químicos, y 5) no se generan barros o en todo caso se generan en mínimas cantidades.

La desventaja radica en: 1) su alto consumo energético (debido al calentamiento de la solución a evaporar); 2) el aire que sale de estos equipos debe ser descargado al exterior (debido a la presencia de contaminantes y su alta humedad) y seguramente deberá cumplir con la normativa específica; 3) el agua extraída se pierde y no puede reutilizarse como agua de enjuague; 4) los contaminantes presentes también se devuelven al baño y pueden reducir su vida útil o causar otros inconvenientes, y 5) los aditivos de ciertos baños pueden degradarse a temperaturas altas lo que en estos casos limita su eficiencia.

Evaporadores al vacío

Este tipo de tecnología se utiliza en menor extensión que los equipos de evaporación atmosférica, principalmente por la sencilla razón de que en promedio son 10 veces más costosos. Se utilizan para concentrar una amplia variedad de baños, pero son especialmente aplicables en situaciones donde los evaporadores atmosféricos son técnica o económicamente imprácticos; por ejemplo: 1) recuperación de químicos sensibles al calor (baños cianurados); 2) recuperación de químicos sensibles a la oxidación por el aire (baños cianurados, baños de estaño divalente); 3) baños que operan a baja temperatura o a temperatura ambiente y son poco sensibles a la evaporación); 4) recuperación de soluciones que contienen compuestos volátiles, o 5) cuando se necesitan tasas de evaporación muy altas (>75 y hasta 150 l/h), y los evaporadores atmosféricos se vuelven muy caros de operar (por el alto consumo energético). Otras ventajas respecto de los evaporadores atmosféricos son: que no generan casi emisiones gaseosas y que el agua extraída como condensado puede utilizarse como alimentación de los enjuagues.

Los evaporadores (atmosféricos o al vacío), no son recomendables cuando se requiere procesar grandes volúmenes de líquidos con muy baja concentración. En ese caso es más recomendable la ósmosis inversa o el intercambio iónico.

Además de utilizarse para recuperación, también se utilizan para reducir el volumen de aguas residuales y sus costos de disposición final.

Un evaporador al vacío es básicamente un dispositivo de destilación que vaporiza agua a bajas temperaturas al estar conectado a una bomba de vacío: Al reducir la presión en la superficie de un líquido, este hierve a menor temperatura. Para el caso del agua, a nivel del mar (presión de 1 atm o 760 mmHg) el agua hierve a la conocida temperatura de 100 °C, pero hervirá a temperatura ambiente si se reduce la presión a 20 mmHg.

El líquido a evaporar se introduce precalentado a una cámara de vacío, el agua es vaporizada y el vapor removido puede ser condensado para su reutilización en el proceso (por ejemplo, como agua de enjuague).

Existen diversas configuraciones para estos equipos. Son muy eficientes al reutilizar la energía de vaporización, recuperándola gracias al uso de un compresor al que ingresa el vapor de agua proveniente de la cámara de vacío. Una vez comprimido, es dirigido a un intercambiador

de calor donde, al condensarse, cede calor que se usa para evaporar más solución a concentrar. Esto es posible gracias a la diferencia de presión que existe entre el vapor comprimido y el líquido que está sometido al vacío.

Intercambio iónico

Es aplicable en la remoción de ciertos iones, siempre y cuando su concentración sea baja. Puede entonces utilizarse en el tratamiento de aguas residuales y también para la remoción selectiva de contaminantes de soluciones concentradas.

El intercambio iónico se basa en una reacción química reversible, en la cual se sustituyen los iones contaminantes (o valiosos) por otros inocuos y económicos. Se utilizan para ello materiales sólidos donde quedan retenidos los iones de interés (resinas de intercambio iónico). En función de la carga de los iones intercambiados, se tienen dos tipos de resinas: de intercambio catiónico y de intercambio aniónico.

Cada resina tiene distintas propiedades que hacen que su desempeño sea adecuado en determinadas condiciones.

Algunas de las aplicaciones del intercambio iónico para la recuperación de materiales o remoción de contaminantes en procesos de tratamientos superficiales se mencionan a continuación:

- Tratamiento de aguas residuales en general.
- Tratamiento específico de aguas residuales con presencia de complejantes.
- Remoción selectiva de contaminantes de los baños.
- Recuperación de cobre, níquel, cinc, cadmio y metales nobles.
- Obtención de agua desionizada.
- Ablandamiento de agua.
- Reutilización de agua de proceso.

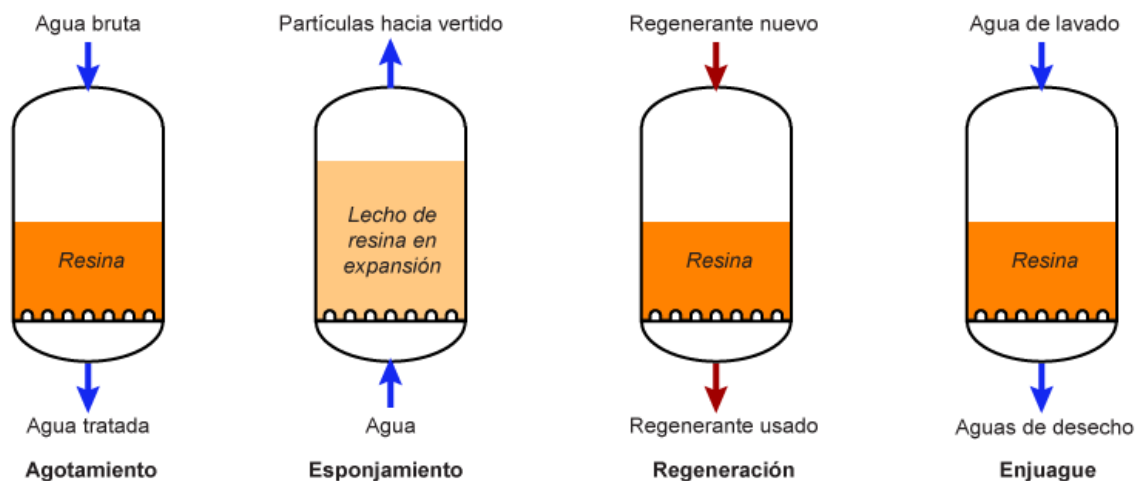


Figura 4.24. Esquema de regeneración de un lecho de resina de intercambio iónico.

Todas las resinas deben regenerarse con cierta frecuencia. Los químicos empleados en la regeneración dependen del tipo de resina, y permiten obtener soluciones concentradas de los materiales que han sido removidos o retenidos por ellas. Estas soluciones pueden ser enviadas a tratamiento externo a través de un operador de residuos peligrosos, o tratadas en planta mediante un sistema discontinuo (ver en apartado siguiente, tratamiento discontinuo o batch).

A continuación, se describen las aplicaciones más utilizadas:

- Descontaminación de baños

Consiste en la remoción de las impurezas que se incorporan por arrastre, corrosión de las piezas, gancheras y ánodos o por descomposición de los mismos productos del baño.

Aunque el baño de cromo es muy agresivo, se han desarrollado recientemente resinas que soportan bastante bien el ácido crómico concentrado. Alternativamente puede realizarse la remoción en un enjuague de recuperación, de manera de prolongar la vida útil de las resinas.

-Recuperación de materiales de aguas de enjuague diluidas

En el caso de aguas de enjuague, puede utilizarse una columna de intercambio catiónico y de esta manera los metales son retenidos en la misma. Periódicamente la resina debe regenerarse y los metales quedan concentrados en un volumen mucho menor de líquido.

El líquido concentrado puede ser devuelto directamente al baño, someterse a alguna otra operación antes de devolverlo al baño o recuperar los metales con ayuda de otra tecnología (por ejemplo, electrólisis).

Para reutilizar el agua de enjuague en circuito cerrado, luego de utilizar una resina de intercambio catiónico se utiliza una de intercambio aniónico (la misma totalmente desionizada).

Recuperación por electrólisis

Junto con la evaporación a presión atmosférica, es uno de los métodos de recuperación que más se utiliza en los Estados Unidos por la industria de tratamiento de superficies. Las ventajas de su uso radican en: 1) se reduce la masa de metales baratos regulados por la normativa de vuelcos (cobre, cinc, plomo) que irían a la planta de tratamiento de aguas residuales (reduciendo la cantidad de químicos a utilizar y barros a generar en la misma), o 2) se recuperan metales caros comunes (níquel, cadmio), o metales preciosos (oro, plata) para su posterior refinado o reciclado.

Mayormente se aplica para la recuperación de estos materiales a partir de soluciones concentradas, como enjuagues estancos o efluentes de regeneración de resinas de intercambio iónico.

El equipo consiste en una celda electrolítica, en la cual los metales disueltos se reducen y depositan en el cátodo. El metal es removido mecánicamente (raspado), o con ayuda de químicos, ya sea para su reutilización como ánodo en los procesos de planta o su valorización o disposición final externos. Existen en el mercado diversos equipos con diferentes tipos de cátodo que dependen básicamente de la concentración de los metales en la solución a tratar, aunque los equipos pueden ser realmente muy sencillos, a tal punto que muchas plantas se han construido sus propias unidades.

Además de recuperar metales, es posible, a través de esta tecnología, oxidar cianuros y destruir agentes complejantes.

Electrodiálisis

En esta tecnología se utilizan membranas selectivas que son permeables a ciertos iones cuando se aplica un potencial eléctrico, con el fin de separar diferentes materiales a partir de una solución acuosa. La aplicación más común es en la recuperación de níquel, donde compete con los enjuagues estancos, evaporación (atmosférica o al vacío), e intercambio iónico.

El equipo consiste en una serie alternada de membranas selectivas (aniónicas y catiónicas), entre las cuales fluye la solución a tratar. Debido al potencial aplicado, los cationes migran hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. Los cationes al migrar atraviesan las membranas catión selectivas, pero al encontrar las anión selectivas no pueden atravesarlas y permanecen en ese compartimiento. De forma similar los aniones atraviesan las membranas anión selectivas, pero no pueden atravesar las catión selectivas. El proceso resulta en compartimientos alternados entre membranas consecutivas que se van enriqueciendo (concentrado) y empobreciendo (diluido) en iones.

Tecnologías de membranas

Existen variadas técnicas que utilizan membranas semipermeables con el objetivo de retener diversos materiales que no pueden atravesarlas.

Las aplicaciones básicas de los sistemas de membranas son:

- Nanofiltración
- Ultrafiltración
- Microfiltración
- Ósmosis inversa
- Electrodiálisis

Las membranas se utilizan en equipos compactos, integradas en unidades o módulos, que pueden tener características muy diversas. La microfiltración se emplea en la remoción de aceites de baños de desengrase y limpieza, y también en ciertos sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Recuperación electrolítica

Se utiliza para la recuperación de metales en celdas electrolíticas: mayormente se trata de metales nobles (oro, platino, plata), aunque también pueden recuperarse cobre, cadmio, cinc, estaño y estaño-plomo. La recuperación de níquel requiere cuidados especiales.

Normalmente se utilizan ánodos inertes (grafito, plomo, acero inoxidable, titanio recubierto,

tantalio, tungsteno, niobio, cerámicas conductivas). Es posible aumentar notablemente la eficiencia de la celda con el uso de cátodos de fibra metálica.

Puede además aplicarse este proceso para la recuperación de algunos ácidos (por ejemplo, el ácido sulfúrico en el decapado de cobre), y también puede ser utilizado para controlar la concentración de metales en soluciones galvánicas donde esta tiende a incrementarse con el tiempo.

4.11.3 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales derivadas de las operaciones de tratamientos superficiales pueden arrastrar contaminantes muy diversos. Como puede observarse al consultar la normativa específica, tanto la cantidad de parámetros como sus límites de vertido son más tolerables para el caso de vuelco del efluente en colectora cloacal; por lo tanto, la disponibilidad de este servicio tendrá una incidencia directa en los costos asociados con el tratamiento de aguas residuales.

Tratamiento de las corrientes de aguas residuales

Las corrientes más comunes de aguas residuales son las aguas con cianuros, las aguas con cromo y las aguas sin cromo ni cianuro. El tratamiento de estas corrientes normalmente no presenta mayores inconvenientes, aunque en algunos casos pueden presentarse dificultades causadas por complejantes o quelantes que impiden la precipitación de los metales.

Por otra parte, ciertos parámetros pueden causar problemas con la calidad del vertido, como DBO, DQO y la presencia de grasas, tensoactivos y aceites (SSEE y SRAM), sobre todo en los enjuagues y descartes de desengrases.

Si bien en la mayoría de los casos las concentraciones de fósforo y nitrógeno no son un inconveniente a tener en cuenta, es recomendable verificar su presencia en el caso de estar regulados los vertidos en aguas superficiales o suelo.

Muchos tensoactivos son derivados fenólicos, por lo cual el parámetro fenoles también debe tenerse en cuenta como posible contaminante presente en las aguas residuales de los tratamientos superficiales.

Por todo lo expuesto, es importante consultar con los proveedores de productos químicos formulados sobre la posible presencia de todos estos contaminantes y sobre la forma de tratar las aguas residuales correspondientes, ya que pueden aportar contaminantes que no se hayan tenido en cuenta en el sistema de tratamiento de las aguas residuales.

Tratamiento discontinuo (batch)

Las instalaciones requieren baja inversión y su operación es también muy económica por lo que este sistema de tratamiento es el más adecuado para empresas con una generación de aguas residuales del orden de 10 m³/día o menor. Además, el control de los vertidos se realiza antes de efectuar la descarga del agua tratada (sobrenadante), lo cual minimiza los riesgos de sanciones por incumplimiento de la normativa.

Las corrientes de aguas residuales segregadas se conducen cada una a un tanque o reactor con fondo cónico, donde se acumulan. Debe contarse con dos o más tanques por cada corriente de agua residual. Una vez lleno un determinado tanque, se deriva el agua de entrada a otro tanque vacío, y se realiza el tratamiento específico en el que está lleno, dejando luego decantar la mezcla de un día para el otro. Si se quiere acelerar la sedimentación o hay problemas de turbidez deberán agregarse floculantes. Los tanques pequeños pueden agitarse en forma manual, pero en general es recomendable el uso de agitadores mecánicos o de aire comprimido.



FFigura 4.25. Instalación para tratamiento de aguas residuales en forma discontinua (por lotes o batch). (Fuente SADAM)

Una vez terminado el tratamiento correspondiente y verificada la eficiencia del mismo (usualmente se utilizan electrodos para medir pH y potencial de óxido-reducción en las correspondientes etapas), se descarga el líquido sobrenadante, y los sedimentos son separados para su posterior deshidratación.

- Tratamiento de aguas residuales con cianuros

Si bien pueden utilizarse diversos métodos para eliminar cianuros, el más utilizado tanto por economía como por su probada eficiencia es el de oxidación con hipoclorito de sodio.

El tratamiento tiene lugar en dos etapas. En la primera se realiza el ajuste de pH (>10.5) y se agrega el hipoclorito de sodio (de esta forma los cianuros se oxidan a cianatos). Luego se realiza un nuevo ajuste de pH ($8.5 - 9.0$) y se agrega más hipoclorito para que los cianatos se oxiden totalmente (a dióxido de carbono y nitrógeno).

Al final de cada etapa (cada una con un tiempo de reacción de unos 20 minutos), se debe verificar que haya exceso de cloro libre, lo cual garantiza la oxidación de los cianuros/ destrucción de los cianatos (puede utilizarse papel impregnado con almidón/ioduro de potasio como indicador). Finalmente se deja decantar de un día para el otro para lograr una adecuada sedimentación.

Algunos complejos cianurados, como el cinc o el cadmio, se oxidan más fácilmente que otros (cobre, plata, oro), que requieren una concentración mayor de hipoclorito para acelerar el proceso.

El tratamiento de cianuros con hipoclorito debe realizarse en lugares bien ventilados, ya que se genera cloruro de cianógeno como producto intermedio; parte del mismo se desprende como gas altamente tóxico y lacrimógeno. Es por esta razón que debe evitarse este procedimiento para tratar líquidos con concentraciones mayores a los 500 mg/L de cianuros.

La mezcla de líquidos cianurados con corrientes que contengan hierro o cobalto conducirá a la formación de complejos muy estables que no pueden oxidarse y hacen prácticamente imposible su destrucción. En este caso la única alternativa recomendable es la precipitación con sulfato ferroso (se separa como ferrocianuro ferroso).

- Tratamiento de aguas residuales con cromo hexavalente

El tratamiento de estos líquidos puede realizarse en medio ácido o alcalino. En medio ácido, se ajusta el pH ($2.5-3.5$) con ácido sulfúrico y se agrega metabisulfito o bisulfito de sodio, que actúan como reductores. El punto final de la reducción es recomendable que se controle a través de la medición del potencial de óxido-reducción (redox). La reducción del cromo hexa-

valente es casi instantánea al pH indicado, aunque es recomendable dejar actuar el reductor por lo menos unos 15 minutos. Luego se ajusta de nuevo el pH con soda cáustica (8.5 - 9.0), para precipitar los metales y se deja decantar por lo menos de un día para el otro para lograr una adecuada sedimentación.

En medio alcalino se ajusta el pH (>10), generalmente con soda cáustica y se utiliza hidrosulfito (ditionito) de sodio como reductor. A este pH los metales precipitan. Luego se vuelve a ajustar el pH por razones similares al del tratamiento en medio ácido (8,0 a 9,0).

En medio alcalino se ajusta el pH (>10), generalmente con soda cáustica y se utiliza hidrosulfito (ditionito) de sodio como reductor. A este pH los metales precipitan. Luego se vuelve a ajustar el pH por razones similares al del tratamiento en medio ácido (8,0 a 9,0).



Figura 4.23. A la izquierda: Sistema de captación y tratamiento (torre de lavado), para baño galvánico (foto autor). A la derecha: esquema de funcionamiento de una torre rellena.

- Tratamiento de aguas residuales libres de cromo hexavalente y cianuros

En general sólo se requiere un ajuste de pH para precipitar los metales, y el vertido final cumple con los parámetros de vuelco. A veces es necesario eliminar complejantes o tensoactivos, o reducir DBO o DQO (por ejemplo, en líquidos de descarte de niquelado químico, mordentado de plásticos o sus enjuagues).

El sulfato ferroso puede ser utilizado para facilitar la posterior precipitación de metales complejados o quelados. En ciertos casos es necesario agregar floculantes para lograr una adecuada separación de los sólidos o eliminar la turbidez del sobrenadante.



Figura 4.27. Planta discontinua para el tratamiento de aguas residuales. (Fuente SADAM)

- Tratamiento de los descartes de baños agotados/aguas residuales de regeneración de sistemas de resinas de intercambio iónico.

Los baños agotados pueden verterse gradualmente (mediante goteo o caudal muy pequeño), en las corrientes de efluentes compatibles (en general provenientes de enjuagues de baños similares). De esta forma pueden procesarse sin mayores problemas y se evita trabajo extra. Algunos baños agotados pueden incluso utilizarse para ajustar el pH en el sistema de tratamiento (desengrases y decapados).

Una forma más controlada de manejar estos baños agotados es verter pequeños volúmenes de las soluciones concentradas en cada batch. El volumen o proporción de baños agotados a agregar debe determinarse con la práctica de manera que no perjudique la eficacia del tratamiento.

También pueden tratarse los baños agotados y las aguas residuales provenientes de la rege-

neración de resinas de intercambio iónico de forma discontinua o batch. Algunos de los inconvenientes más comunes que pueden presentarse al intentar de alguna manera el tratamiento de estos líquidos concentrados son:

- En el caso de tratar soluciones concentradas de cromatos la reducción no es tan rápida e inclusive puede requerir tiempo extra y exceso de químicos para completarse.
- Los descartes de baños cianurados y en general los líquidos con concentraciones de más de 500 mg/l de cianuros no deben tratarse con hipoclorito de sodio, ya que se generan emisiones de cloruro de cianógeno que pueden poner en riesgo a los operarios.
- Al tratar soluciones concentradas se genera un volumen muy grande de barros.
- Por todos estos motivos debe también tenerse en cuenta como alternativa el retiro de los eventuales descartes de estos baños por parte de transportistas para derivarlos a operadores autorizados de residuos peligrosos.

- Deshidratación de sedimentos con filtros de arena

Los sedimentos que se obtienen al decantar las aguas residuales tratadas tienen un contenido de sólidos que varía entre el 0,5 y el 3 %. El espesado y deshidratación de los sedimentos puede lograrse en filtros de arena, cuando se generan en muy pequeñas cantidades. Los filtros de arena son muy económicos y pueden fabricarse utilizando tambores plásticos, preferentemente de 100 litros de capacidad o mayores. Se construyen instalando en su parte inferior un tubo plástico de $\frac{3}{4}$ o 1 pulgada al que se practican perforaciones de unos 2 mm de diámetro a intervalos de aproximadamente 1cm, cubriendo la mitad inferior de la superficie. Este caño se tapa en un extremo y se fija el otro atravesando la pared del tambor; luego se cubre con una capa de unos 15 cm de piedra partida (preferentemente de grano fino, aunque bastante mayor al diámetro de los orificios del caño colector), y sobre esta se coloca otra capa de arena de unos 20 cm.

El sedimento es un líquido algo espeso que debe ingresar al filtro de forma de no remover la capa de arena. Si se lo bombea debe utilizarse un distribuidor de líquido que puede ser un caño perforado o ranurado, o colocar un deflector sobre la arena en el lugar donde impacta el chorro de líquido.

Estos filtros actúan por gravedad y tienen la desventaja de ser muy lentos, ya que en general necesitan de 4 a 12 días para generar un barro con una consistencia que permita extraerlo con una pala. La extracción debe realizarse teniendo cuidado para no remover la capa de arena; de todas formas, algo de arena se pierde cada vez que se extraen los sedimentos, y debe agregarse un poco de vez en cuando.

Los barros separados en un filtro de arena contienen aún una gran proporción de agua (entre un 65 y un 90 %), por lo que pueden almacenarse en recipientes abiertos (baldes, bandejas plásticas) o bolsas tejidas para permitir la evaporación casi total de la misma, que dependiendo de las condiciones climáticas puede demorar varios meses, pero al final del proceso se obtienen cantidades mínimas de residuos. Es conveniente que los líquidos que salen de los filtros se envíen nuevamente al sistema de tratamiento que corresponda.

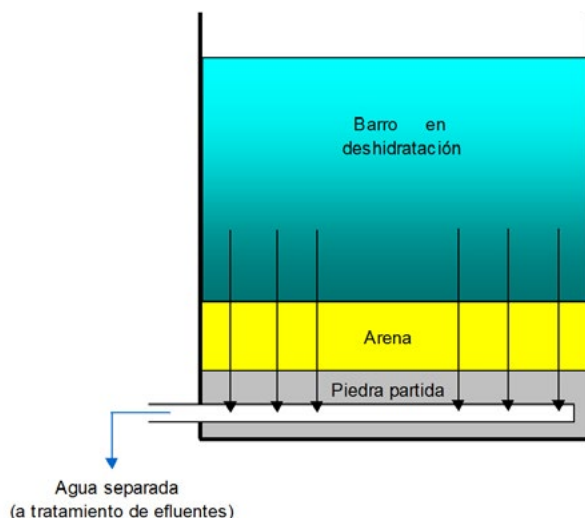
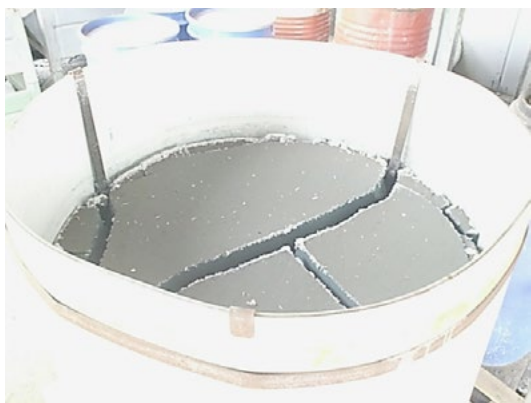


Figura 4.28. Vista superior y esquema de funcionamiento de un filtro de arena. (Fuente SADAM)

- Deshidratación de sedimentos utilizando filtros prensa

El equipo más utilizado en la industria de acabado de metales para la deshidratación de barros es el filtro prensa. Otros dispositivos, como los filtros al vacío, centrífugas y filtros de banda, tienen menor eficiencia y no son recomendables.

Los filtros prensa de alta presión que operan a $7,5 \text{ kg/cm}^2$ generan sólidos con un 50 % de concentración promedio en ciclos rápidos. Un filtro prensa consiste en un arreglo de marcos plásticos con cavidades revestidas de un tejido plástico. Con ayuda de una bomba hidráulica los marcos son apretados fuertemente unos contra otros. La bomba de alimentación fuerza el barro diluido a ingresar en las cavidades de los marcos. La presión fuerza el agua a pasar a través del tejido que recubre los marcos, es colectado por canales moldeados y la lleva a la descarga. Los sólidos son retenidos en las cavidades. El proceso continúa hasta que las cavidades se llenan de barros compactos. La presión hidráulica es liberada, los marcos se separan y los sólidos o “torta” caen en un contenedor.



Figura 4.29. Filtro prensa. (Fuente SADAM)

4.11.4 Tratamiento continuo

Los sistemas de tratamiento continuo son más complejos, requieren la operación permanente a través de personal calificado y mantenimiento y control periódicos. En general las instalaciones requieren inversiones importantes por lo que esta alternativa puede analizarse cuando, habiendo agotado previamente todas las medidas de minimización que sean económica y técnicamente viables, se genere un caudal de aguas residuales del orden de 1,5 m³/h o superior.

Un sistema convencional para el tratamiento continuo de aguas residuales consiste en una serie de unidades operativas donde se realiza:

Reducción del cromo de las corrientes residuales que contienen cromo hexavalente a su estado trivalente, el cual es posible precipitar posteriormente como hidróxido al añadir una base o álcali.

Oxidación de los cianuros de las corrientes residuales que contienen cianuros, oxidándolos a compuestos inocuos de carbono y nitrógeno.

Remoción de los metales de las corrientes combinadas de aguas residuales, utilizando técnicas de precipitación con hidróxidos.

Deshidratación de los barros, usando espesadores de gravedad seguidos por deshidratación mecánica para incrementar el contenido de sólidos y reducir su volumen. También se aplica deshidratación térmica (secadores), que reducen al mínimo la humedad en los barros o sólidos residuales.

Con este esquema de tratamiento se alcanzará la calidad de vertido que establece el marco regulatorio siempre que: 1) Las unidades operativas trabajen correctamente, calibrando los sistemas de control y dosificación periódicamente; 2) Las aguas residuales no contengan agentes complejantes (como por ejemplo aguas residuales de procesos de niquelado o cobreado químico), y 3) Aguas residuales ajenas a los procesos de tratamientos superficiales no ingresen al sistema (causando dilución y otros problemas).

A continuación, se describen las unidades operacionales utilizadas:

Reducción de cromo

Se utilizan agentes reductores para llevar el cromo de su estado hexavalente al trivalente. Los agentes más utilizados son el dióxido de azufre (gas) y el metabisulfito de sodio (polvo). El dióxido de azufre se utiliza en plantas grandes (debido a su menor costo), mientras que el metabisulfito de sodio en las medianas y pequeñas. Las desventajas de utilizar dióxido de azufre están relacionadas con el mayor costo del sistema dosificador y el riesgo asociado a su uso y manipulación, ya que es un gas muy peligroso.

El equipamiento básico para realizar la reducción del cromo incluye un tanque o reactor, agitador, sistemas dosificadores de químicos (ácido sulfúrico, bisulfito de sodio o dióxido de azufre), medidor/controlador de pH, medidor/controlador de potencial de óxido - reducción (ORP), bombas de transferencia y controladores de nivel.

El consumo teórico de químicos para reducir 1 kg de cromo hexavalente es de 3 kg de meta-

bisulfito de sodio o 2 kg de dióxido de azufre; además se utilizarían 0,2 kg de ácido sulfúrico. En la práctica deben multiplicarse por 5 a 10 veces estos valores.

Este sistema es capaz de generar un efluente con un contenido de cromo hexavalente $< 0,1$ mg/L. El tiempo de retención del tanque no debe ser inferior a 30 min.

Una alternativa que se puede utilizar para la reducción del cromo es el sulfato ferroso, el cual muchas veces se genera como residuo o subproducto del decapado de aceros. El sulfato ferroso trabaja muy bien a valores de pH entre 8 y 10, y tiene la ventaja del ahorro de ácido sulfúrico y de álcalis para la posterior neutralización para precipitar los metales, siendo que además ambos procesos pueden tener lugar en el mismo reactor. Las principales desventajas son la mayor generación de barros (se forma hidróxido férrico) y la dificultad en el control del agregado de sulfato ferroso.

Oxidación de cianuros

El tratamiento más utilizado por casi todas las empresas de acabado superficiales que generen aguas residuales con cianuros es la cloración alcalina. Este proceso es adecuado para la destrucción de los cianuros libres y también algunos complejos. Si está adecuadamente diseñado, mantenido y operado, el sistema oxidará todos estos cianuros “destruibles por clorinación” a menos de 1,0 mg/l. En los Estados Unidos, la EPA ha muestreado intensivamente estos sistemas y la concentración promedio en el efluente de un sistema bien operado es de 0,18 mg/l para cianuros totales y de 0,06 mg/l para cianuros libres.

Los complejos muy estables de cianuro (ferrocianuros, ferricianuros, etc.), básicamente no son afectados por cloración. Los cianuros complejados con cobre, níquel y metales preciosos pueden ser destruidos por el proceso de cloración alcalina, pero reaccionan más lentamente que los cianuros libres y requieren exceso de cloro para que la destrucción sea eficiente.

Las soluciones concentradas de cianuros no deben tratarse con hipoclorito o cloro, ya que la reacción es muy violenta y puede haber emisión de cloro y de cloruro de cianógeno. Estos residuos pueden tratarse en forma batch ya sea por oxidación electrolítica o destrucción térmica.

La mayoría de los equipos para tratar cianuros funcionan en dos etapas, con tanques separados (a diferencia del tratamiento discontinuo o batch que se realiza en un solo tanque).

El tratamiento puede efectuarse agregando hipoclorito de sodio o cloro gaseoso más soda cáustica a la corriente residual a tratar. Las ventajas y desventajas son similares a las planteadas para el uso de metabisulfito de sodio y dióxido de azufre en la reducción del cromo. La gran mayoría de las plantas utiliza el hipoclorito de sodio.

En la primera etapa el cianuro es oxidado a cianato, de forma casi instantánea, a un pH de entre 11.0 y 11.5. El tiempo de reacción adecuado es del orden de 10 a 15 min, pero sin embargo se utilizan tiempos de retención del hasta 60 min y un set point del ORP de +325 mV es adecuado para la mayoría de los casos. A veces se utiliza el papel de almidón-ioduro de potasio (que indica presencia de exceso de cloro), para monitorear si la reacción es completa.

En la segunda etapa el cianato es adicionalmente oxidado a dióxido de carbono y nitrógeno. El pH se reduce a 8.5 con ácido sulfúrico y se agrega hipoclorito de sodio adicional. Una lectura de ORP de +600 a +800 mV generalmente significa una reacción completa. El tiempo de retención en esta segunda etapa es del orden de 30 a 60 min, pero a veces se utilizan 120 minutos.

El consumo de hipoclorito se estima normalmente de un 25 a un 100 % mayor al teórico estequiométrico (7 kg de cloro o 7,5 kg de hipoclorito de sodio por kg de cianuro). El exceso se consume en la oxidación de la materia orgánica y los metales presentes.

Existen otros tratamientos alternativos a la oxidación de cianuros con cloro o hipoclorito. Una de ellas es la oxidación con ozono. Esta técnica es muy efectiva y tiene la ventaja de reducir notablemente los costos operativos del tratamiento, aunque el costo en equipamiento es significativamente mayor. También tiene la ventaja de la ausencia de cloro, el cual puede combinarse con materia orgánica presente y generar compuestos tóxicos. El ozono también tiene la capacidad de destruir los complejos de cinc, cobre y níquel. Otra desventaja es que se necesita un gran exceso de ozono para la oxidación total y lograr destruir los cianatos.

Otros métodos alternativos son: oxidación con peróxido de hidrógeno o hipoclorito de calcio, la oxidación electroquímica, oxidación térmica y la precipitación (con sulfato ferroso).

Remoción de metales

La precipitación de hidróxidos es el método tradicional para remover metales de las aguas residuales. A menudo el proceso consiste en cuatro etapas:

- **Pretratamiento**
se agrega alguna sustancia para facilitar la precipitación. Por ejemplo: hidrosulfato de sodio, sulfato de aluminio, carbonato de sodio, ditiocarbamato de sodio. A veces se agrega sulfato ferroso para la coprecipitación de metales quelados o complejados en las aguas residuales (la desventaja es que se genera un volumen de barros de hasta cuatro veces el que se genera con el solo agregado de hidróxido de sodio). A menudo se utiliza también una mezcla de cloruro de calcio y de sulfato de aluminio para la remoción de fluoruros, fosfatos, silicatos y/o aceites emulsionados.
- **Precipitación**
en esta etapa los metales se insolubilizan, generalmente como hidróxidos, al agregar un reactivo alcalino. Los más utilizados son, en orden de preferencia, el hidróxido de sodio o soda cáustica y la cal (hidróxido de calcio). También puede utilizarse una combinación de ambos, y en algunos casos se utiliza cloruro de calcio o hidróxido de magnesio. La cal es más barata, precipita y se deshidrata más fácil, pero es más costosa de dosificar, produce mayor cantidad de barros y es más lenta para reaccionar.
- La precipitación puede también lograrse con sulfuros en lugar de hidróxidos. La ventaja es que se logran menores concentraciones de metales en el efluente. El proceso puede utilizar sulfuro de sodio o sulfuro ferroso; este último genera un volumen de sólidos significativamente mayor al generado a partir de hidróxidos. Otra desventaja de los barros obtenidos por cualquiera de estos dos métodos con sulfuros es la mayor dificultad de valorizar o reciclar los barros por terceros.
- La etapa de precipitación comienza con un ajuste de pH que está en el orden de 9 a 10 (usualmente se ajusta a 9.2, pero esto depende fundamentalmente de los diversos metales que haya presentes, ya que la solubilidad de cada uno se comporta diferente con el pH). En general el set point de control del pH se basa en la necesidad de alcanzar la mínima concentración de un determinado metal (ej: cadmio) que está legalmente regulado a una concentración más baja que otras especies.

- La precipitación se lleva a cabo en un reactor con agitación, medición y control de pH y sistemas de dosificación con control proporcional de álcali (y ácido si es necesario). A veces se requiere realizar esta operación en dos etapas (cuando en el agua residual hay variaciones grandes en las demandas de reactivos). El tiempo de residencia debe ser de por lo menos 15 minutos (con soda cáustica como agente de precipitación), o de 30 minutos (con cal).
- **Floculación**
mediante la adición de coagulantes/floculantes en reactores de mezcla lenta, los sólidos se aglomeran en partículas más grandes y fáciles de sedimentar. Los aditivos disponibles incluyen inorgánicos como el sulfato de hierro o aluminio, y una diversidad de polielectrolitos orgánicos con características variables que están disponibles para diversos tipos de aguas residuales. Estos últimos tienen un mejor desempeño que los aditivos inorgánicos, y deben seleccionarse haciendo pruebas con varios tipos diferentes y observando la dinámica de la decantación luego de su mezcla.
- **Clarificación**
es la remoción de las partículas sólidas en una corriente residual gracias a la acción de la gravedad. A pesar de ser un proceso relativamente simple, a menudo es la operación del sistema de tratamiento que suele dar más problemas, debido a las bajas concentraciones de sólidos suspendidos totales que normalmente permite la normativa en el vuelco de efluentes industriales.

Existen dos modelos de equipos con los que se han obtenido los mejores resultados: el decantador de placas y el de manto de sedimentos.

El decantador de placas consiste en una serie de placas inclinadas entre las que fluye la corriente de agua residual en dirección ascendente. De esta manera las partículas solo recorren unos pocos centímetros antes de impactar sobre la superficie de las placas y luego se deslizan por la superficie en dirección descendente, hacia el fondo del decantador. De esta manera el equipo provee un volumen efectivo de sedimentación mucho mayor al de un sedimentador convencional.

En el decantador de manto de sedimentos, el ingreso de agua a tratar pasa a través de un lecho o manto de sedimentos de partículas ya aglomeradas. El mezclado tiende a promover el crecimiento de partículas y reduce la concentración de las partículas pequeñas (de baja velocidad de sedimentación).

El desempeño de cualquier sedimentador varía significativamente y no sólo depende de su diseño; también del tipo de agua residual y del diseño de las unidades de tratamiento utilizadas aguas arriba.

De todas maneras, un buen decantador trabajando en condiciones adecuadas va a lograr en la descarga una concentración de sólidos sedimentables que en el mejor de los casos está entre los 5 y 10 ml/l, por lo que es aconsejable agregar un “filtro de pulido” para remover los remanentes de sólidos que puedan arrastrarse del clarificador o decantador. Otra alternativa es realizar un filtrado con membranas, lo cual puede complementar o reemplazar la etapa de clarificación.

Los filtros que se utilizan para el pulido final del efluente pueden contener, como medio filtrante, arena seleccionada o varios medios filtrantes.

Se debe tener en cuenta que todos los barros con hidróxidos metálicos que resultan del tratamiento de aguas residuales de procesos de tratamientos superficiales (y cualquier otro residuo proveniente del tratamiento de superficies de metales o plásticos), son considerados en Argentina residuos peligrosos por la normativa ambiental.

Deshidratación de los barros

Los sedimentos o barros separados en los sistemas de tratamiento son en realidad un líquido espeso que contiene entre 0.5 % y 3 % de sólidos. La deshidratación puede realizarse en varias etapas, en las cuales se va reduciendo el contenido de agua en el barro.

La primera etapa se denomina espesamiento y puede lograrse en la parte inferior del clarificador, si el mismo fue diseñado a tal efecto, pero en general el sedimento es enviado a un espesador de barros, el cual es un tanque donde el sedimento permanece hasta 24 h, alcanzando una concentración de sólidos de entre 2 % y 5 %.

Luego se utiliza un filtro prensa para incrementar la concentración de sólidos (ver en este apartado: tratamiento discontinuo, uso de filtros prensa). Bajo condiciones normales, un filtro prensa que trabaja con 7 kg/cm² de presión de bombeo producirá barros con un contenido de sólidos de entre 25 % y 40 % si se utiliza soda cáustica para precipitar los metales, y 35 a 60 % en el caso en que se utilice lechada de cal. El grado de deshidratación depende fuertemente del tiempo que dure el ciclo de operación del filtro.

Los filtros prensa se encuentran disponibles en el mercado en un amplio rango de capacidades (desde 20 a 5500 litros). Un ciclo típico de operación dura de 4 a 8 h, dependiendo de las características del barro. Las unidades se dimensionan con base en uno o dos ciclos/día. Estos barros pueden deshidratarse aún más utilizando deshidratadores que pueden producir un material residual con un 90 % de contenido de sólidos. Los deshidratadores pueden operar en forma continua o discontinua (por lotes o batch), con diversas fuentes de energía: electricidad, vapor o gas.

4.12 Gestión de residuos: segregación, almacenamiento, valorización y disposición final

El manejo de los residuos provenientes de cualquier actividad debería enfocarse priorizando acciones tendientes a reducir al mínimo la cantidad generada, tratada y destinada a disposición final. Para ello es necesario aplicar diferentes medidas siguiendo un esquema de prioridades:

1. Minimización en origen: incluye medidas preventivas, es decir aquellas que se integran al proceso o actividad desarrollada.
2. Segregación: comprende la separación de los residuos generados considerando criterios que simplifiquen las acciones siguientes de este listado, o cuyo objeto sea minimizar o eliminar el riesgo de incidentes al mezclar residuos incompatibles (que pueden reaccionar desfavorablemente).
3. Reutilización: incluye aquellas medidas que permiten el uso de los residuos como insumo o combustible dentro de la misma planta que los generó, y pueden incluir la modificación de procesos productivos o la incorporación de procesos auxiliares para la recuperación o concentración. Se denomina también valorización interna de los residuos.
4. Reciclado: consiste en el uso de residuos por un tercero (como insumo en sus procesos o actividades). También se denomina valorización externa de los residuos, y para ello es necesario interactuar con otras empresas u organizaciones y contar con la autorización de las autoridades competentes para el transporte y utilización de los residuos como insumo de otro proceso.
5. Tratamiento: es la transformación a la que se somete un residuo con objeto de eliminar o reducir sus características peligrosas, su masa o volumen, o en el mejor de los casos su destrucción. Durante el tratamiento se presenta a veces la oportunidad de recuperar energía o parte de los materiales presentes, aunque el balance económico de estas operaciones es siempre negativo. Como ejemplos comunes pueden mencionarse el tratamiento de aguas residuales por métodos convencionales para poder efectuar la descarga en condiciones del efluente al medio receptor, o el tratamiento de las emisiones gaseosas antes de descargarlas a la atmósfera. Si el tratamiento es realizado por un tercero se habla de un operador de residuos peligrosos y el traslado debe hacerse a través de un transportista autorizado, como es el caso de los barros que se generan en el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de acabado de metales.
6. Disposición final: se efectúa en rellenos de seguridad (enterrando el residuo en condiciones controladas para minimizar el riesgo de contaminación que esta operación implica). En general el manejo de los rellenos está en manos de operadores de residuos.

4.12.1 Residuos generados en industrias de tratamientos superficiales

Asimilables a residuos sólidos urbanos (RSU)

Son residuos similares por su aspecto o composición a los residuos domiciliarios. Se incluyen en este grupo: papeles, cartones, maderas, vidrio, restos de comida y metales que en general provienen de sectores o procesos auxiliares (oficinas, comedores, vestuarios, sectores de mantenimiento, depósitos).

Cuando estos residuos se generan en pequeñas cantidades son dispuestos como los residuos domiciliarios (son retirados por el servicio de recolección municipal). Los establecimientos que producen volúmenes importantes deben contratar un transporte autorizado.

Residuos peligrosos

Son residuos que presentan características peligrosas. Deben segregarse y manejarse de manera distinta a los anteriores. El marco legal establece listados de residuos, componentes y características para su identificación.

Para una planta que realiza tratamientos superficiales, deben por lo general considerarse peligrosos los siguientes residuos:

- Aceites usados provenientes del mantenimiento de máquinas.
- Aceites generados en los baños de desengrase.
- Descarte de elementos contaminados con aceites y productos químicos (papeles, plásticos, guantes y otros elementos de protección personal usados).
- Barros del tratamiento de las aguas residuales y de la limpieza de cubas e instalaciones.
- Envases vacíos de productos químicos (bolsas y cartones contaminados).
- Barrido de planta.

De todas estas corrientes de residuos, la que se genera en mayor cantidad está formada por los barros o sedimentos del tratamiento de las aguas residuales de proceso. Actualmente son escasas en la Argentina las oportunidades de recuperación o valorización de estos barros, con excepción de los que contienen metales nobles (oro, plata, rutenio, rodio) y, en menor extensión aquellos provenientes del tratamiento de aguas residuales de niquelado. Esto se debe mayormente a que:

- Los volúmenes de barros generados en cada empresa son relativamente pequeños.
- La composición de los barros es variable.
- La mayoría de los generadores no segregan los barros ni las aguas residuales que los originan.
- Los metales presentes en los barros, salvo contadas excepciones, son de bajo valor.

La calidad y cantidad de barros generados depende no solo del proceso que origina las aguas residuales, sino también de la naturaleza y características particulares del tratamiento que se aplica a las mismas.

En 4.8 se menciona la oportunidad de reutilizar los bidones y contenedores de líquidos vacíos por parte de los proveedores, y se describe la técnica del triple enjuague recomendada por la EPA en los Estados Unidos para eliminar las características peligrosas de los mismos.

Los residuos peligrosos deben almacenarse hasta su retiro en condiciones que están reguladas por la normativa específica.

4.13 Riesgos presentes en la industria de acabado de metales

Desde el punto de vista laboral, además de los riesgos comunes a cualquier industria (eléctrico, mecánico, aparatos sometidos a presión, etc.) son de particular interés en las plantas de tratamientos superficiales, aquellos asociados con las condiciones de almacenamiento y uso de productos químicos. El uso inadecuado de los productos químicos puede generar diferentes tipos de riesgo para el personal de planta, pero también perjudicar a los vecinos y al ambiente en general.

También el manejo y destino que se le den a los materiales residuales que generan los diferentes procesos (emisiones gaseosas, aguas residuales y residuos peligrosos) pueden causar riesgos e impactos diversos.

En el punto 4.3. se han detallado las pautas básicas generales para el manejo de productos químicos peligrosos. A continuación, se describen algunas medidas preventivas básicas y generales aplicables a establecimientos e instalaciones donde se realizan tratamientos superficiales. Más allá de estas recomendaciones básicas, todos estos aspectos deben ser abordados por un profesional especializado, con formación y experiencia en el manejo de materiales peligrosos. En función de las condiciones particulares de cada caso, el especialista responsable de la seguridad de planta deberá evaluar y priorizar los riesgos existentes para establecer las medidas de mitigación más adecuadas; también determinar las eventuales contingencias y desarrollar el correspondiente plan de emergencias.

4.13.1 Prevención de derrames y pérdidas en equipos e instalaciones

Las siguientes recomendaciones apuntan a minimizar el riesgo de incidentes asociados con el derrame y pérdida de líquidos peligrosos:

Inspeccionar regularmente todas las instalaciones

Recorrer la planta periódicamente e identificar situaciones anormales en cubas, cañerías, bombas, filtros, etc., de manera de detectar a tiempo cualquier fuente de derrames y pérdidas.

Mantener las instalaciones y pisos limpios y secos

Permite identificar rápidamente cualquier fuga de líquidos y reduce el riesgo de accidentes.

Incorporar contención para eventuales derrames

La construcción de resaltos o canaletas perimetrales alrededor de equipos y líneas de trabajo permite, en caso de un derrame importante, evitar que líquidos peligrosos escurran libremente o alcancen los desagües. Las canaletas y el declive del piso deberían conducir a un foso para facilitar las tareas de limpieza y recuperación.

Prevenir el rebalse de cubas

Es común la práctica de relleno de cubas con mangueras, o partiendo de líneas de agua que alimentan otros equipos. Si el personal se retira del lugar para hacer otras tareas mientras la cuba se llena, es posible que se distraiga y la cuba rebalse. También suele ocurrir que no se tome en cuenta el volumen que desplazarán los elementos que se sumerjan en las cubas, lo cual acarrea rebalses si el nivel no se ajustó en forma apropiada. A continuación, se describen algunas medidas tendientes a prevenir estos incidentes:

- Señalar el nivel máximo de la cuba para indicar hasta dónde debe llenarse.
- Si el agregado de agua se realiza directamente desde cañerías, instalar válvulas de corte con flotador o controladores de nivel.
- Proveer a todas las mangueras de entrada de agua con válvulas de corte automático normal cerrado, es decir, que se abra por presión de la mano del operario, y se cierre si la suelta. Controlar que no se bloqueen o anulen estos dispositivos.
- Capacitar al personal informándolos sobre los riesgos y consecuencias de los rebalses de las cubas.
- Instalar alarmas de nivel.
- La principal causa de derrames y rebalses es la falta de atención. La cuba deberá llenarse cuando se disponga de tiempo para prestarle atención, o se hayan instalado los mecanismos de control necesarios.

Controlar la contaminación de los sistemas de calefacción a vapor

En el caso de utilizarse serpentinas para calefacción de los baños con vapor pueden aparecer problemas de corrosión por contaminación del agua de la caldera.

Cuando se suspende el trabajo, el vapor que contienen las serpentinas se condensa y se produce vacío. Si existen poros o uniones defectuosas bajo el nivel del líquido, esto puede causar la incorporación de solución al condensado; como este suele reutilizarse en circuito cerrado se producirá corrosión en el sistema de calefacción. Este problema es particularmente grave si los líquidos que se calientan contienen sustancias peligrosas como los cianuros.

Debe por lo tanto controlarse el nivel de las cubas durante las paradas y analizar periódicamente el condensado de los sistemas de calefacción.

Prevenir las pérdidas en los filtros

Por la cantidad de conexiones y accesorios que poseen, los filtros suelen presentar pérdidas. Los filtros pequeños pueden colocarse sobre las cubas de los baños, para que las posibles pérdidas vuelvan directamente al sistema. Otra alternativa es colocar el filtro dentro de una cuba o bandeja colectora, que permita contener y recuperar los eventuales derrames (lo cual no es motivo para demorar el mantenimiento en caso de pérdidas).

Realizar la adecuada instalación de las cañerías

La ubicación de los equipos debe tener en cuenta la posibilidad de minimizar la longitud de las cañerías, que se deben instalar siempre a la vista, accesibles y evitando que cualquier eventual derrame pueda afectar las instalaciones eléctricas.

Minimizar el uso de bombas

Todas las bombas tienen alto riesgo de derrames y pérdidas, y por lo tanto deben utilizarse lo menos posible y utilizando acoples y mangueras en buen estado, utilizando abrazaderas y fijando el extremo de descarga en la cuba o tanque correspondiente.

En muchos casos se pueden ubicar o instalar los equipos de tal modo que no sea necesario el uso de bombas, utilizando la acción de la gravedad para transferir líquidos, en forma directa o por “sifón”. Cuando se utiliza un sifón, se llenará la manguera o caño con agua para iniciar el flujo, y nunca se debe aspirar con la boca.

Ubicar la entrada de agua en las cubas de manera adecuada

La entrada de agua no debe realizarse por debajo de la superficie, ya que pueden producirse reflujos si por alguna razón baja la presión en el sistema de alimentación. Tampoco se detectarán las pérdidas ni se observa la circulación a simple vista.

Minimizar eventuales pérdidas ocasionadas por válvulas

No se deben colocar válvulas donde no son imprescindibles. Además, deben estar construidas con materiales que soporten la agresión de los productos químicos o materiales en uso y ubicarse en sitios accesibles y visibles. La única válvula que nunca da problemas es la que no existe.

4.13.2 Prevención de incidentes con productos químicos y residuos

El desorden es la principal fuente de accidentes y problemas. Se debe contar con un lugar determinado para almacenar los productos químicos, adecuado para proteger los envases y su contenido de cualquier factor que los comprometa (ver apartado 4.3). Es importante tener en cuenta que las tareas de descarga, traslado, fraccionamiento y agregado de productos químicos son las que implican mayor riesgo de accidentes, por lo que estas tareas deben ser realizadas por personal idóneo, solicitando ayuda para manipular contenedores pesados y solucionar de inmediato cualquier derrame o salpicadura.

Es conveniente el uso de bombas manuales en buen estado o dispositivos tipo sifón para trasvasar líquidos peligrosos. Siempre utilizar elementos de protección personal y motivar a los operarios para que lean y respeten las instrucciones y estén familiarizados con el manejo de las hojas de seguridad.

Mantener el mínimo stock posible, adecuado a las necesidades de la empresa y los costos de transporte. De esta forma se reducen los riesgos asociados con el almacenamiento, y ante la eventual necesidad de descartar productos químicos en desuso o que han sido sustituidos no se tratará de una cantidad importante.

Los residuos deben ser almacenados de acuerdo con sus características, en sectores definidos y acondicionados para tal fin. Los baños agotados, contaminados u obsoletos por cambio de tecnología, se deben almacenar en forma segura para su posterior tratamiento, con señalización visible de naturaleza, fecha y riesgos.

4.14. Resumen gráfico de las principales medidas de producción sustentable y su incidencia en los procesos

Se presentan a continuación algunas de las medidas de producción sustentable, desarrolladas a lo largo del capítulo, y su incidencia en aspectos relevantes de los procesos productivos del sector. La tabla puede funcionar como modelo para desarrollar una nueva tabla orientada a caracterizar aquellos aspectos a relevar/mejorar en cada establecimiento en particular, en atención a los procesos productivos desarrollados.

Aspectos relevantes vs. medidas a implementar	Consumo de productos químicos	Consumo de agua	Consumo de energía	Usos de productos químicos peligrosos	Emisiones gaseosas	Efluentes líquidos	Generación de residuos	Riesgos laborales
Orden y limpieza								
Mantenimiento de baños								
Prevención de derrames y pérdidas								
Minimización de arrastres								
Capacitación								
Sustitución de materias primas								
Adecuada configuración de enjuagues								
Sustitución de procesos								
Calefaccionado eficiente y adecuado aislamiento cubas								
Adecuado tratamiento efluentes líquidos								
Adecuada segregación de otras corrientes residuales								

Figura 4.30. Tabla resumen de aspectos relevantes de los procesos versus medidas de producción sustentable.

5.

Caso de estudio

En este ejemplo se describe un caso real de aplicación en una planta de tratamientos superficiales para piezas de terceros, ubicada en la región oeste del Área Metropolitana de Buenos Aires.

Para ello se ha tomado la información asociada con algunas de las medidas más importantes que fueron implementadas con el doble objetivo de reducir costos y el impacto ambiental en una de sus líneas de producción

Características del establecimiento

La información que a continuación se adjunta permite al lector tener una idea de las dimensiones de la planta:

Superficie total: 1130 m²

Superficie cubierta: 940 m²

Potencia instalada: 140 HP

Personal empleado: 9

Procesos que realiza: cincado, niquelado, pavonado, pulido a granel para terceros. El cincado es el proceso principal, ocupando más del 90 % de las piezas procesadas en la planta.

Descripción del proceso donde se aplicaron las mejoras

En una de las líneas de producción se realiza el cincado en gancheras. El proceso en esta línea, antes de realizar las mejoras, estaba conformado por la siguiente sucesión de operaciones: desengrase de inmersión, desengrase electrolítico, enjuague (dos etapas en contracorriente), activado, enjuague simple, electrodeposición (cincado, tres baños de cinc), enjuague (dos etapas en contracorriente), pasivado (azul o dorado), enjuague (tres etapas en contracorriente) y secado.

Las piezas a procesar se enganchan manualmente antes de iniciar el proceso, y se desenganchan de la misma forma al finalizar el mismo. Las gancheras son colgadas en barras, las que a su vez son tomadas por carros transportadores que las trasladan a lo largo de la línea de trabajo.

Durante la operación de la línea se generan aguas residuales provenientes de los diferentes enjuagues, que son derivadas a una planta de tratamiento junto con las que provienen de los otros procesos que se realizan en planta.

A continuación, un diagrama de flujo de materiales resume la descripción anterior:

La capacidad productiva de esta línea es del orden de los 50.000 dm² / día (con base en la superficie promedio de las piezas procesadas).

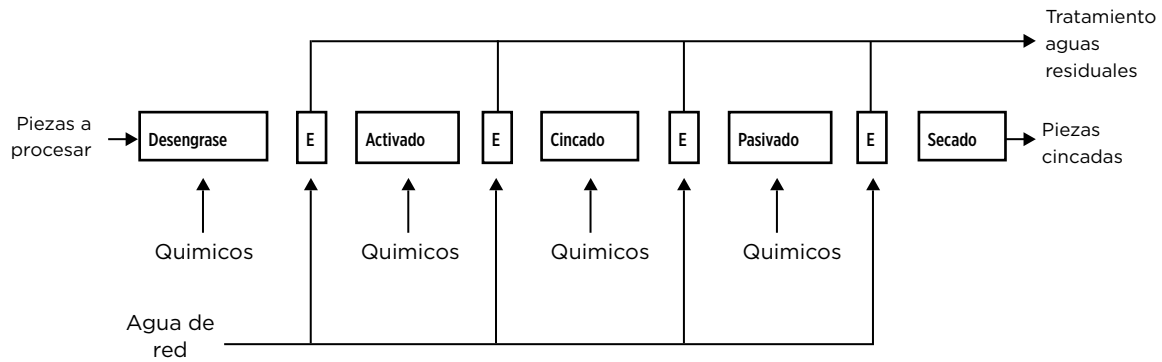


Figura 5.1. Diagrama de flujo de materiales (cincado en gancheras).

Medidas implementadas

La empresa fue incorporando diversas medidas a lo largo de más de 20 años, que han permitido que el proceso se vuelva muy eficiente. Conforme los objetivos de esta guía se han seleccionado cinco medidas de distinta naturaleza, costo de implementación y también diferente impacto económico y ambiental.

Minimización del arrastre

A los fines de minimizar el arrastre se implementaron las siguientes acciones:

- Mejorar el diseño de las gancheras.
- Aumentar el tiempo de escurrido (mínimo 15 segundos).
- Capacitación del personal sobre criterios para enganchar piezas y el uso correcto del transportador.

Al minimizar el arrastre se documentó una reducción importante de insumos y en la generación de residuos, que se resume a continuación:

- Reducción en el consumo de agua en la línea (40 %).
- Baja en el consumo de químicos en el proceso (30 %).
- Menor generación de aguas residuales en este proceso (40 %)
- Se redujo la generación de barrores residuales provenientes de este proceso (25 %)
- Se redujo el consumo de productos químicos para el tratamiento de aguas residuales (asociados a este proceso, 20 %).

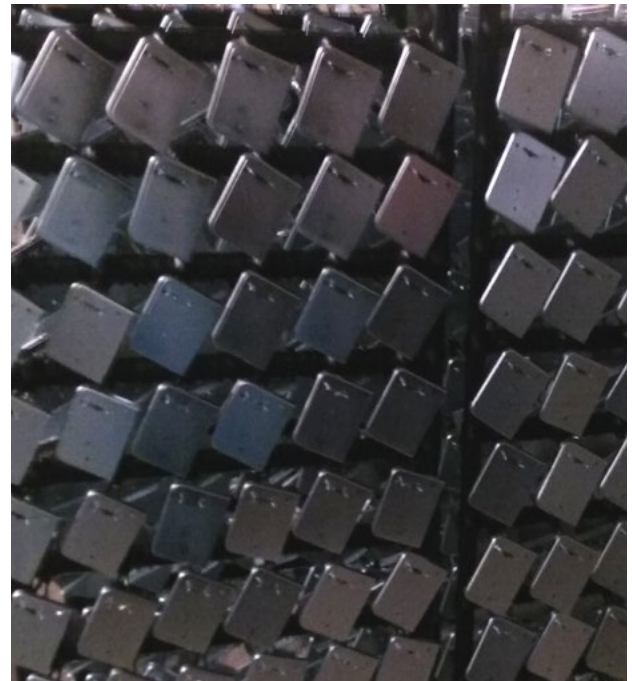


Figura 5.2. Diseño de gancheras para minimizar el arrastre. (Fuente SADAM)

Enjuague de entrada y salida

Se incorporó una cuba más a la línea para enjuagar las piezas antes de entrar al baño de cinc y a la salida del mismo, y se capacitó al personal sobre la nueva secuencia de trabajo (se agregaron dos operaciones de enjuague a la secuencia ya existente).

En este caso los beneficios alcanzados fueron:

- Se redujo el consumo de agua en la línea (19 %)
- Disminuyó el consumo de productos químicos en sus baños de cinc (40 %)
- Reducción en la generación de aguas residuales provenientes de esta línea (19 %)
- Se redujo la generación de barros residuales provenientes de este proceso (12 %)
- Se redujo el consumo de productos químicos para el tratamiento de aguas residuales (asociados a este proceso, 10 %).

Sustitución de cianuros

Se reemplazaron los baños de cinc con base en cianuro de sodio por baños de cinc ácidos, basados en cloruro de potasio.

Con esta medida se reemplazó el uso de cianuros por otros materiales de bajo riesgo (cloruro de potasio, cloruro de cinc, ácido bórico). Además, se eliminó el sistema de tratamientos de aguas residuales con cianuros, que era bastante costoso.

Uso de enjuague en cascada

Se utilizó la descarga del enjuague de los baños de cinc como alimentación del enjuague del activado, tal como se observa en la figura siguiente:

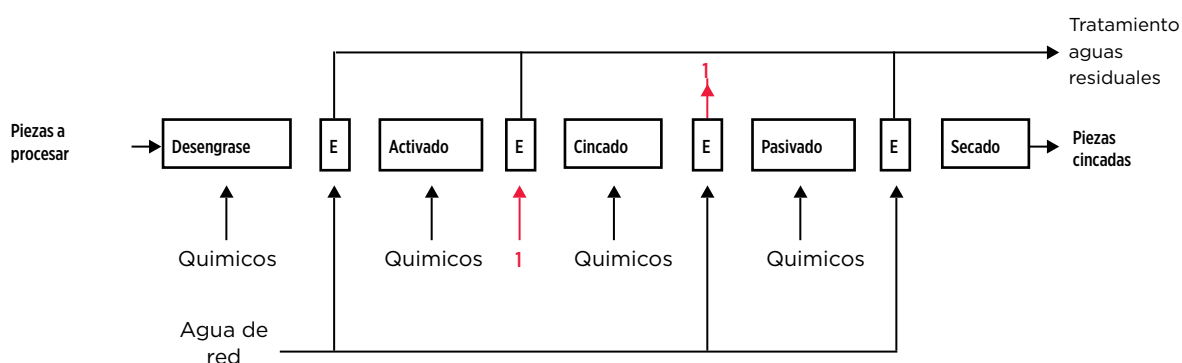


Figura 5.3. Reutilización de agua al incorporar un enjuague en cascada. (Fuente SADAM)

Al aplicar esta medida los beneficios logrados fueron:

- Se redujo el consumo de agua en la línea (24 %).
- Disminuyó el consumo de productos químicos en los baños de cinc (5 %).
- Bajó la generación de aguas residuales provenientes de esta línea (24 %).

Deshidratación de barros

Los barros obtenidos del filtro prensa tienen un alto contenido de agua (60 %). Para reducir la humedad, se colocan los barros en bandejas plásticas que se acopian en un sector semicubierto (de 1 a 3 meses), con lo cual la humedad se reduce a un 10 %.

De esta manera se redujo el costo del transporte, tratamiento y disposición final de estos residuos en un 50 %.

Esta última medida es la única de las cinco que no es una medida preventiva, y su impacto es únicamente económico, ya que prácticamente no se logra con ella ningún beneficio ambiental. Si bien se aplicó a todos los barros generados en la planta de tratamiento, a los fines de este análisis se ponderaron solamente los costos asociados con la deshidratación de los barros provenientes de la línea de cincado en gancheras.

Cuantificación de los resultados

Las medidas analizadas en el punto anterior se fueron implementando a lo largo de varios años (entre 1995 y 2010), pero la información de los archivos de planta en cuanto a los factores de costo analizados fueron actualizados en su momento a valores del año 2012.

Se han ajustado a la fecha (mayo de 2018) el costo del agua de red que utiliza la planta, que pasó de costar 0,51 dólares/m³ a 1,56 dólares/m³ (la planta se encuentra en el área servida por la red de agua potable operada por AySA); y la gestión externa de residuos que pasó de costar 0,53 dólares/kg a 0,32 dólares/kg (estos datos se basan en el costo de transporte, tratamiento y disposición final de los residuos provisto por el mismo operador de residuos peligrosos). Los restantes factores de costo no han sufrido variaciones significativas desde 2012 a la fecha, en la moneda referida. Estas alteraciones en los precios del agua y de la gestión externa de los residuos (sobre todo la primera), tuvieron un impacto importante en la importancia relativa de los respectivos factores de costo, generando además una motivación económica en las empresas del sector (que antes de 2016 prácticamente no existía), para el cuidado del agua de red; sin perjuicio de este último comentario, cabe destacar que no es posible, en un establecimiento en el que no se cuida el agua, realizar el tratamiento de un gran volumen de aguas residuales, al menos de forma económica y eficiente.

Para el análisis de costos se tomó como base una ocupación de la línea del 90 %, si bien la actual es sensiblemente menor (35 %).

En la tabla siguiente se resume el impacto económico de las medidas aplicadas:

Medida	Ahorro anual (us\$)					Inversión (us\$)	Amortización (meses)
	Agua	Químicos	Trat. Aguas resid.	Gestión Residuos	Total		
Minimizac. arrastre	8590	6880	1360	2730	19560	0	0
Enjuague E / S	2450	4520	390	990	8350	6400	10
Eliminac. cianuros	0	0	12800	0	12800	12400	12
Enjuague cascada	2500	340	400	0	3240	0	0
Secado de barros	0	0	0	3600	3600	300	3
Totales	13540	11740	14950	7320	47550	19100	

Figura 5.4. Tabla de análisis económico de las mejoras implementadas.

Análisis de los resultados y conclusiones

Con la información de la tabla del apartado anterior se elaboró el siguiente gráfico:

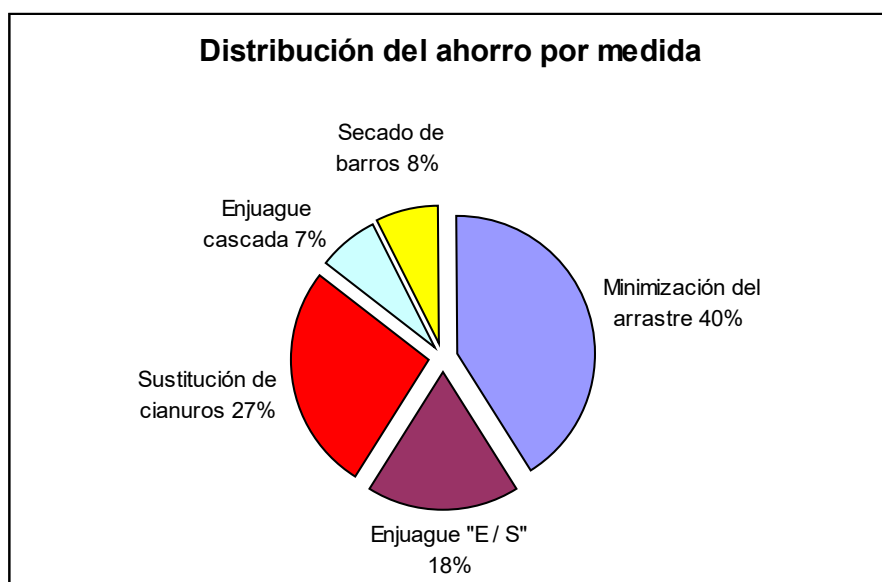


Figura 5.5. - Importancia relativa de cada medida implementada

La medida que mayor impacto logró fue minimizar el arrastre. Para ello no fue necesaria ninguna inversión; mayormente se logró implementarla a través de la capacitación y seguimiento del personal para que modificara su forma de trabajo.

El haber sustituido los baños de cinc con base en cianuros por baños formulados con químicos menos peligrosos, además de redundar en un beneficio económico (asociado con el costoso tratamiento de eliminación de los cianuros en las aguas residuales), permitió eliminar los riesgos asociados con el almacenamiento y uso de cianuros.

La incorporación de un enjuague de entrada y salida, si bien generó un beneficio económico, implica un incremento en la cantidad de operaciones de la línea (se debe enjuagar dos veces más) y por lo tanto un mayor tiempo de proceso. Los costos asociados a este incremento del tiempo de proceso no fueron tenidos en cuenta en este análisis.

La verdadera dimensión del ahorro alcanzado con la implementación de estas cinco medidas se visualiza cuando se tiene en cuenta que representa aproximadamente el 10% de los costos

8 Para la valorización económica de este caso, y considerando el uso de insumos importados, se dio preferencia a la cotización en moneda dólar con fines didácticos.

operativos totales de esta línea de cincado.

A continuación, un segundo gráfico muestra el impacto del beneficio económico en los diferentes factores de costo afectados:

A partir de este gráfico puede inferirse que la totalidad de los beneficios económicos asocia-

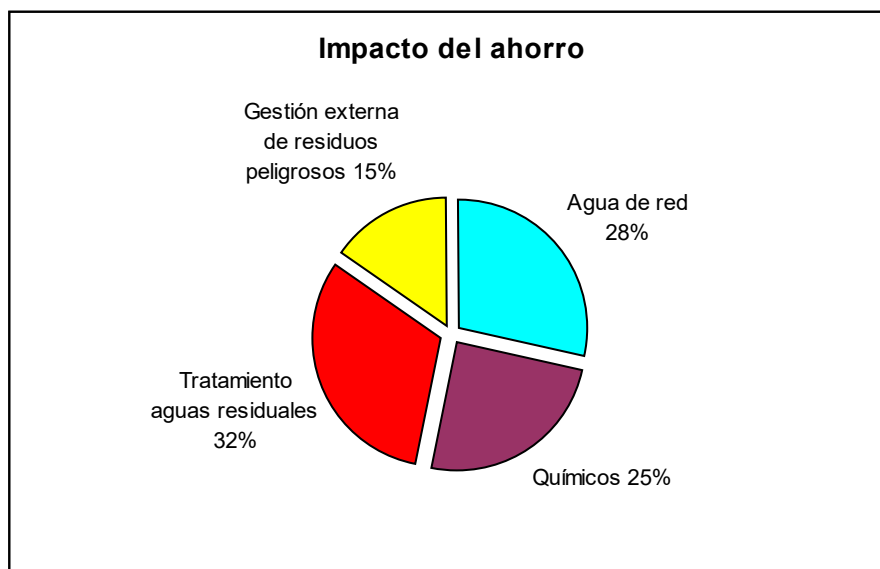


Figura 5.6. - Efecto de las medidas en los diferentes factores de costo.

dos con la implementación de medidas como las que se han analizado no siempre son visibles en todas las industrias. En efecto, aquellos establecimientos que no han internalizado sus costos ambientales (no realizan el tratamiento de sus aguas residuales y por lo tanto tampoco la gestión externa de los barros generados), solamente podrían llegar a capitalizar los beneficios asociados con el ahorro de agua y de productos químicos; y en el caso en que no tengan declarado su abastecimiento de agua, sólo será visible una fracción del costo del mismo. Por esta razón estos establecimientos encuentran una motivación económica mucho menor para enfrentar este tipo de cambios y volver más eficientes sus procesos; en estos casos, la mejor motivación a la implementación de estas mejoras son las sanciones impartidas por las autoridades de fiscalización y control ambiental correspondientes.

Volviendo al caso analizado, es de destacar que la aplicación de las referidas modificaciones produjo una significativa reducción del impacto ambiental de la actividad, debido a la reducción de los correspondientes aspectos ambientales de acuerdo al siguiente detalle:

Consumo de agua:	63 %
Uso de productos químicos:	41 %
Generación de aguas residuales a tratar:	63 %
Cantidad de metales pesados en residuos peligrosos:	33 %

6.

Glosario

Accesorios: los elementos o herramientas auxiliares a las máquinas y equipos, con los cuales pueden realizarse tareas específicas o complementarias.

Agua residual: toda corriente acuosa que ingresa a una planta de tratamiento.

Ánodo: electrodo positivo de una cuba electrolítica al cual se dirigen los aniones de la disolución. Puede ser inerte o no soluble (grafito, aleaciones de plomo, platino); o del metal o aleación que deposita el baño electrolítico, en cuyo caso se disuelve.

Cátodo: electrodo negativo de una cuba electrolítica al cual se dirigen los cationes de la disolución.

Conductividad: es la medida de la capacidad de una solución para dejar pasar la corriente eléctrica a través de ella, la cual es función de las concentraciones de electrolitos de la misma.

Contaminante superficial: sustancia o elemento depositado sobre la pieza a tratar que impida o interfiera la adhesión de la película protectora que proporciona el tratamiento superficial (óxido, pintura, grasa u otros).

Cuba: tanque o recipiente abierto en su parte superior, generalmente de forma rectangular o cuadrada, utilizado para contener líquidos, cuyas dimensiones son apropiadas para las operaciones de tratamientos superficiales. En su mayoría son de acero revestido, acero inoxidable o materiales plásticos.

Documentación técnica: información detallada tanto gráfica como escrita sobre materiales, equipos, herramientas, instalaciones, entre otros.

Efluente: toda corriente líquida que sale del establecimiento y se descarga a un cuerpo receptor, en general un desagüe: cloacal, pluvial pero también puede ser un arroyo, río, zanja o el suelo. Las condiciones de vertido a los diferentes cuerpos receptores se encuentran reguladas por normativa específica.

Electrodeposición: proceso de recubrimiento electrolítico de un material base con una o más capas de uno o más metales. El material base debe tener una adecuada preparación previa para recibirlo.

Electroless: proceso de recubrimiento de un material base con un metal, por reducción química del mismo. No se utiliza corriente eléctrica, aunque en contados casos se la conecta al sumergir la pieza para iniciar el proceso de recubrimiento, y luego se desconecta.

Elementos de transporte y elevación: equipos utilizados para mover cargas pesadas o peligrosas, como pueden ser los puentes -grúas, carretillas, plataformas elevadoras, etc.

Emisión gaseosa: corriente gaseosa que se descarga o vierte a la atmósfera. Las condiciones de vertido se encuentran reguladas por normativa específica.

EPP (elementos de protección personal): equipos destinados a ser utilizados por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan afectar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Especificaciones técnicas del proceso: documentos que definen las normas, exigencias y procedimientos que deben ser empleados y aplicados en los procesos.

Especificaciones técnicas del producto: documento en el cual se da una descripción detallada de las características o condiciones mínimas con las que debe cumplir el producto a fabricar o a tratar.

Ficha de seguridad de productos: documentos suministrados por los fabricantes que recogen información sobre los productos, en lo referente a propiedades, datos técnicos, usos,

aplicación, riesgos de salud, consideraciones ambientales, entre otros. Deben cumplir la norma IRAM 41.400.

Gancheras: accesorios que se utilizan para sujetar o colgar las piezas durante la aplicación de un determinado tratamiento superficial.

Mantenimiento de primer nivel: mantenimiento que el operario puede hacer en el entorno de su puesto de trabajo (máquina y su entorno), como las tareas de limpieza y reparaciones básicas, entre otros.

Mantenimiento preventivo: mantenimiento planificado e implementado con un instructivo o procedimiento documentado que tiende a evitar el deterioro de una instalación, accidentes o paradas no programadas.

Material base: material del cual está constituido la pieza a tratar.

Material residual: toda corriente que egresa de un proceso o establecimiento y que no es el producto objeto de la actividad del mismo. Incluye las categorías de subproductos, residuos, efluentes y emisiones gaseosas.

Parámetros del proceso: variables del proceso determinantes para conseguir las características finales del tratamiento a realizar, como la concentración, temperatura, tiempos de permanencia, viscosidad.

Producción y consumo sustentable: uso de servicios y productos relacionados que responden a las necesidades básicas y ofrecen una mejor calidad de vida, a la vez que se minimiza el uso de recursos naturales y de materiales tóxicos, así como la generación de materiales residuales durante el ciclo de vida del servicio o el producto, con el objeto de evitar poner en peligro las necesidades de las generaciones futuras (Ministerio de Medio Ambiente de Noruega, 1994).

Regulación y puesta a punto: ajustar y preparar una máquina para que presente condiciones óptimas de uso.

Residuo: cualquier material que deriva de los procesos o actividades del establecimiento, que no tiene valor para el generador y del cual éste debe desprenderse. En general se trata de materiales sólidos, pero se incluyen también en esta categoría a líquidos, gases y semi-sólidos contenidos en recipientes. La gestión de estos materiales se encuentra regulada por normativa específica.

Residuo peligroso: residuo que está listado como corriente sometida a control según el Convenio de Basilea (códigos Y) y que posee al menos una característica de peligrosidad según el mismo convenio (códigos H). La gestión de estos materiales se encuentra regulada por normativa específica.

Tambores: recipientes de forma cilíndrica o hexagonal provistos de movimiento rotativo y contactos catódicos laterales, para el tratamiento superficial de piezas a granel.

Tamboreado, pulido a granel o “roto finish”: proceso de rebabado, pulido y/o limpieza de piezas a granel, que se realiza dentro de tambores metálicos. No se aplica corriente y suelen acompañarse las cargas con agua, desengrasantes, chips cerámicos o algún otro medio abrasivo.

7.

Referencias bibliográficas

- *American Electroplaters and Surface Finishers Society Inc., US Environmental Protection Agency, "P2 Concepts & Practices for Metal Plating & Finishing", 1998.*
- *Environment Canada "Pollution Prevention and Control in the Metal Finishing Industry", 1989.*
- *American Society for Metals, "Metals Handbook, 9th edition, vol. 5" 1982.*
- *Association of Municipal Recycling Coordinators, Canada, "Guide to Establishing a Hazardous Waste Program", 1995.*
- *Bertorelle, E., "Tratatto di Galvanotecnica", Vol. I y II, Ulrico Hoepli Editore, 1974.*
- *Blum W., Hogaboom G., "Galvanotecnica y galvanoplastia" 1992.*
- *Colombo, C; Pennella F., "Protección Ambiental en la Industria de Tratamientos Superficiales", Proyecto PAI/CIPRA-GTZ, 2002.*
- *Cushnie, G.; "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations", Second Edition, National Center for Manufacturing Sciences, 2009.*
- *Geduld, H., "Zinc Plating", Finishing Publications Ltd., 1988.*
- *Guffie, R., "The Handbook of Hard chromium plating", Gardner Publications Inc., Cincinnati, 1986.*
- *Hirayama, Y., "Introduction of Cleaner Production at the Surface Finishing and Electroplating Sector", Proyecto INA - JICA, Buenos Aires, 2004.*
- *IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, adscrita al Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Vasco "Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones: Recubrimientos Electrolíticos", ISBN-L.G./D.L. BI-271-97, 1997.*
- *Lausmann, Günther A., "Chromium Plating", Fachverlag für Oberflächentechnik - Galvanotechnik, Bad Saulgau, Alemania, 2007.*
- *ONUDI - PNUMA "Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales", 1991.*
- *Pennella, F., "Guía de Producción Más Limpia en la Industria de Tratamientos Superficiales", Programa de Producción Más Limpia, Proyecto PNUD/ARG/08/015, 2011.*
- *Revista Metal Finishing, "Metal Finishing Guidebook and Directory Issue", New York, 2013/14.*
- *Sutter, H., "Vermeidung und Verwertung von Sonderabfällen", 1990.*
- *Van Hoof, B.; Monroy, N.; Saer, A.; "Producción Más Limpia: Paradigma de Gestión Ambiental", Universidad de Los Andes, Alfaomega, México, 2008.*

Otras referencias:

www.argentina.gob.ar/trabajo/cursoscapacitacion

www.mincyt.gob.ar/

www.inti.gob.ar/

www.adimra.org.ar/iaea/

centrotecnologicojc.org.ar/cursos/

www.sadam.org.ar <http://www.sadamweb.com.ar/>

Anexo

ANEXO I - Lista de chequeo de tratamientos superficiales

ÁREAS	Nº	Pregunta	Si	a veces	No	Medidas a considerar
Materias primas, auxiliares y material de producción	1	¿Documenta por escrito la cantidad utilizada de materias de valor (que salen con el producto terminado)?				Control de materias de valor.
	2	¿Documenta por escrito la cantidad utilizada de materias auxiliares?				Control de materias auxiliares.
	3	¿Realiza controles de cantidad o calidad al recibir materiales?				Control de entradas de materiales.
	4	¿Almacena en el lugar de producción la cantidad de materiales para un día o carga?				Evitar pérdidas de materiales.
	5	¿Maximiza durante la producción el número de productos similares? (Ej.: producir durante una semana o día un solo proceso o producto).				Optimización la planificación de la producción.
	6	¿Realiza regularmente un control de tuberías, canales y equipos para detectar pérdidas?				Reparación de pérdidas en tuberías y equipos.
	7	¿Existe una lista de máquinas y herramientas con su ubicación, características y respectivos planes de mantenimiento?				Elaboración de layout y planes para mantenimiento preventivo.
	8	¿Toma en cuenta la posibilidad de comprar productos concentrados en lugar de listos para usar?				Racionalización de consumo.
	9	¿Conoce el índice de rechazos o reprocesos en producción? ¿Intentó reducirlos?				Determinación del índice de rechazos. Aumento de la productividad, disminución de la contaminación.
Residuos	10	¿Conoce los lugares donde se generan residuos, y de qué tipo son estos últimos?				Control y cuantificación de la generación de residuos.
	11	¿Evita mezclar las distintas corrientes de residuos?				Segregación de residuos
	12	¿Examinó si los residuos pueden volver a ser reutilizados por otros procesos, o vendidos como subproductos a terceros?				Reutilización y valorización de residuos
	13	¿Gestiona en forma correcta los envases de productos químicos?				Gestión correcta, evitar accidentes y juicios
	14	¿Los residuos se almacenan transitoriamente de modo seguro y de acuerdo a la legislación, sin riesgos a la salud?				Almacenamiento transitorio seguro de residuos.
	15	¿Los residuos se disponen de modo seguro y de acuerdo a la legislación, no causan daño al ambiente ni riesgos a la salud?				Disposición final de residuos.
Almacenamiento y manejo de materiales	16	¿Controla la integridad del envase del producto al recibirlo del proveedor, para así garantizar que el contenido se encuentre seguro y sin daños?				Control de materiales al recibirlos.
	17	¿El piso del depósito de sustancias químicas es plano y anticorrosivo, para garantizar el manejo fácil de los recipientes, evitar derrames y contaminación?				Depósito seguro de sustancias químicas.
	18	¿Conoce cuáles productos son incompatibles entre sí? ¿Los almacena en forma separada?				Evitar incompatibilidades y riesgos.
	19	¿El depósito de sustancias peligrosas cuenta con resaltes de contención para limitar derrames y evitar mezcla de productos incompatibles?				Depósito seguro de sustancias químicas.
	20	¿Inspecciona y limpia regularmente el área de almacenamiento para evitar cualquier contaminación de materiales químicos?				Mantenimiento de depósito de sustancias químicas.
	21	¿Ha instruido al personal que se almacena de acuerdo al principio " primero entra, primero sale" ?				Evitar pérdidas de materiales durante el almacenamiento.
	22	¿Se cierran correctamente los envases de productos químicos luego de extracciones parciales?				Evitar pérdidas y contaminación.
	23	¿Asegura que los recipientes pequeños de trasvase o medición de productos químicos estén limpios y señalados correctamente?				Manejo seguro durante el manipuleo de productos químicos.
	24	¿Devuelve los recipientes de productos químicos a los proveedores para su reuso?				Gestión correcta, evitar accidentes y juicios.
	25	¿Limpia y destruye los envases de productos químicos no retornables?				Gestión correcta, evitar accidentes y juicios.
Agua de enjuagues y efluentes	26	¿Posee los datos para las áreas de producción o los procesos que consumen grandes cantidades de agua o generan altos volúmenes de efluentes?				Control de consumo de agua de la empresa.
	27	¿Conoce el caudal de agua realmente necesario para cada etapa de enjuague?				Determinar las necesidades reales de enjuague.
	28	¿Conoce y aplica técnicas de enjuague específicas según el caso? (Enjuagues de recupero, en cascada, estancos, reactivos, químicos, etc)				Evaluar qué técnica de enjuague es más apropiada según el caso.
	29	¿Recupera o reutiliza los productos químicos arrastrados por las piezas?				Aplicar medidas de recuperación.
	30	¿Comprobó la posibilidad de instalar flotadores para controlar el nivel de agua en recipientes y evitar un desborde?				Evitar derrames y rebales.
	31	¿Existen pérdidas o goteo "crónicos" en cubas, bombas o cañerías?				Reparación y mantenimiento.
	32	¿Estudió la posibilidad de reducir o reciclar el agua en otras fases de producción? (ej.: reciclando agua de refrigeración)				Reutilización y reciclaje de agua
	33	¿Han sido selladas o desmontadas las válvulas, cañerías o bombas que son prescindibles?				Reducción de consumo de agua, prevención de pérdidas y derrames.
	34	¿Advirtió al personal que no dejen las mangueras y las llaves constantemente abiertas sino solamente durante su uso?				Ahorrar agua durante los procesos de limpieza.
	35	¿Segrega o separa las distintas corrientes de efluentes según sus características y posterior tratamiento?				Segregar corrientes incompatibles.
	36	¿Trata en forma correcta los efluentes, alcanzando el cumplimiento de la legislación aplicable?				Tratamiento de los efluentes.
	37	¿Posee instalaciones eficientes e instrumental de medición apropiados para el tratamiento de sus efluentes?				Incorporación o mejora de planta de tratamiento de efluentes e instrumental de medición.
	38	¿Registra por escrito los volúmenes de efluentes generados y/o tratados?				Generar y utilizar planillas de control.
	39	¿Mide los parámetros críticos del efluente final y registra por escrito los resultados?				Generar y utilizar planillas de monitoreo.

Energía	40	¿Conoce Ud. el costo mensual de cada una de las fuentes energéticas?			Control de consumo de energía
	41	¿Han considerado trasladar procesos de producción de altos consumos de energía desde horas de tarifa pico a horas donde se aplica tarifa reducida?			Reducción del consumo y los costos de energía
	42	¿Las cubas que se calientan están aisladas para evitar pérdidas de calor?			Aislar cubas, uso de esferas plásticas.
	43	¿Estas cubas se tapan cuando no están en uso?			Tapar cuando no se usan.
	44	¿Se han aislado adecuadamente los circuitos eléctricos poco protegidos para evitar pérdidas de energía?			Instalación adecuada de artefactos eléctricos
	45	¿Se controlan regularmente los ánodos, bolsas anódicas, contactos y barras catódica y anódicas?			Limpieza de contactos, mantenimiento de bolsas, recubrimiento de barras.
	46	¿Las gancheras son del material correcto y están bien aisladas?			Utilizar metal buen conductor y resistente a la corrosión. Aislar y mantener correctamente.
	47	¿Hay crecimientos metálicos en las gancheras? (pérdida de energía y materiales)			Aislar gancheras, mantener limpias.
	48	¿Los tambores tienen el tamaño de agujero correcto? Se encuentran en buen estado?			Verificar tamaño de agujero, mantenimiento.
	49	¿El baño tiene la conductividad apropiada?			Mantenimiento del baño
	50	¿Controla regularmente la temperatura de los baños?			Control termostático.
	51	¿Verificó las posibilidades de reutilizar el calor residual?			Utilización de calor residual
	52	¿Mantiene Ud. Las ventanas limpias para utilizar al máximo la luz del día y evitar iluminación artificial?			Iluminación eficiente y bajo consumo
	53	¿Tomó medidas para optimizar la combustión en los elementos de calefacción?			Producción eficiente de calor para los baños.
	54	¿Mantiene una correcta relación de superficies ánodo - cátodo?			Revisar relación superficial.
	55	¿Toma en cuenta el consumo de energía cuando compra un nuevo equipo?			Eficiencia energética de nuevo equipo.
Emisiones gaseosas	56	¿Consideró la posibilidad de reemplazar equipos eléctricos por otros que utilicen otra fuente de energía, para independizarse del suministro público de energía?			Sistema eléctrico de emergencia.
	57	¿Conoce Ud los diferentes tipos de emisiones que genera en su empresa, y sus implicancias ambientales y de salud ?			Evaluación de emisiones gaseosas
	58	¿El sector pulido cuenta con sistema de aspiración forzada, precipitación y filtrado de polvos?			Instalar y mantener sistemas de control y tratamiento de emisiones
	59	¿Sobre el punto anterior, se encuentran en buen estado de operación, y se usan regularmente?			Evaluar equipos y capacitar personal
	60	¿La ventilación natural es suficiente para asegurar un ambiente cómodo y saludable de trabajo ?			Instalación de extracción forzada o eólica.
	61	¿Posee procesos que generan aerosoles con sustancias químicas nocivas?			Instalar y mantener sistemas de control y tratamiento de emisiones.
	62	¿Sobre el punto anterior, se encuentran en buen estado de operación, y se usan regularmente?			Evaluar equipos y capacitar personal.
	63	¿Realiza periódicamente mediciones de contaminantes en aire, dentro y fuera de la planta?			Medición de contaminantes en aire.
	64	¿Existen quejas o denuncias por parte de los vecinos?			Instalar o mejorar sistemas de control y tratamiento de emisiones.
	65	¿Aplica medidas preventivas contra la generación de emisiones?			Diagnóstico y mejora de procesos.
Higiene y Seguridad en el trabajo	66	¿Aplica medidas de mitigación donde no puedan evitarse?			Diagnóstico y mejora de procesos.
	67	¿Cuenta con un asesor matriculado en Higiene y Seguridad?			Contratar servicio.
	68	¿Cuenta con servicio de emergencias médicas?			Contratar servicio.
	69	¿Reparó las irregularidades en el piso para evitar accidentes al caminar o transportar material?			Reducción de riesgos de accidentes.
	70	¿Instruyó Ud a los operarios para que desconecten las máquinas y herramientas de corte antes de cada limpieza?			Disminución de los riesgos en máquinas y equipos.
	71	¿Tiene el piso una pendiente para que el agua fluya automáticamente hacia los canales correspondientes?			Garantizar un trabajo seguro.
	72	¿Informó al personal sobre las materias primas que puedan presentar riesgo a la salud y el medio ambiente?			Información sobre sustancias peligrosas.
	73	¿Se instruyó al personal para utilizar elementos de protección personal, cuando corresponde cada uno, y como deben ser conservados?			Disponibilidad de EPP y capacitación.
	74	¿Utiliza regularmente el personal estos elementos?			Control de uso de EPP.
	75	¿Hay uno o dos empleados capacitados para dar primeros auxilios?			Capacitación en primeros auxilios.
	76	¿Existen en las áreas de producción suficientes extinguidores en lugares claramente señalizados?			Medidas preventivas en caso de incendio.
	77	¿El depósito de sustancias químicas es adecuado?			Mejorar depósito de productos químicos.
	78	¿Posee ducha de emergencia y lavaojos en condiciones operativas?			Instalar ducha y lavaojos.
	78	¿Las instalaciones eléctricas cumplen las normas de seguridad imprescindibles?			Mejorar las instalaciones eléctricas.
Cumplimiento Legal	80	¿Posee planes de contingencia, y personal que lo pueda aplicar?			Implementar plan de contingencias y capacitación del personal.
	81	¿Ha cumplido con lo demandado por el Dec. N.º 101/03 y Res. 10/04?			Cumplimentar lo exigido.
	82	¿Posee habilitación municipal vigente?			Gestionar o renovar.
	83	¿Cumple con la Ley Nacional N.º 19587 y sus decretos reglamentarios?			Cumplimentar lo exigido.
	84	¿La actividad que desarrolla la empresa tiene un marco legal especial o no común a todas las actividades?			Mantenerse informado sobre las exigencias legales particulares.
	85	¿Cumple dicha reglamentación?			Cumplimentar lo exigido.

ANEXO II - Procedimiento de mantenimiento preventivo

- OBJETO

Establecer la metodología para reducir el riesgo de paradas de emergencia de la producción que provoquen impactos ambientales y económicos negativos.

- ALCANCE

Comprende a todos los dispositivos con criticidad significativa en la Planta Industrial de la firma en la localidad de

- DEFINICIONES

Dispositivos con criticidad significativa: máquinas, elementos y conducciones que intervengan en forma directa e indirecta en la producción y que su salida de servicio provoque una parada de emergencia.

Parada de emergencia: situación anormal, espontánea en el proceso de producción capaz de provocar una paralización mayor ahoras en la producción.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Ley Marco de Medio Ambiente de la provincia de, sus decretos reglamentarios y resoluciones actualizadas. De ser procedente, incluir ordenanzas municipales.
- Ley N.º 19587 sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo, decretos reglamentarios, resoluciones y normativa complementaria.

- RESPONSABLE

- Empresario: disponer los recursos humanos, técnicos y económicos para el cumplimiento del presente procedimiento.
- Responsable de planta: cumplir con el presente procedimiento, dar capacitación a los operarios, controlar el desarrollo del programa de mantenimiento y registrar los desvíos correspondientes.
- Operarios: cumplir el presente procedimiento y recibir capacitación.

DESARROLLO

- RELEVAMIENTO

Se recopilan los antecedentes de interrupciones de producción, cambios de máquinas, etc., en la vida de la empresa. Obtenida esta información, se determinan los dispositivos con criticidad significativa.

DISPOSITIVOS

En la siguiente tabla se exponen los dispositivos que presentan criticidad significativa para el funcionamiento normal de la planta:

DISPOSITIVO	Ubicación

- PROGRAMA MANTENIMIENTO

Del relevamiento del punto 6.1, se establece el programa de mantenimiento en una planilla donde al lado de cada ítem figura lo que debe hacerse y la frecuencia. Esta planilla resume el programa de mantenimiento y debe revisarse periódicamente o al introducir cambios en los procesos.

INSTRUCTIVO DEL PROGRAMA MANTENIMIENTO

Completar en cada casillero lo que corresponda, según la siguiente explicación.

- **DISPOSITIVO:** escribir la nomenclatura o designación correspondiente al equipo o elemento.
- **SECTOR:** zona de la planta donde se encuentra el dispositivo.
- **RIESGO:** escribir el impacto ambiental al que está asociado el dispositivo.
- **MANTENIMIENTO:**
 - a. **TIPO:** si es cambio de equipo, regulación, cambio de aceite, etc.
 - b. **DETALLE:** breve descripción de la tarea (TIPO) que se lleva a cabo.
- **CRONOGRAMA:** En la casilla superior pintar con amarillo la semana en que se debe efectuar el mantenimiento. En la casilla inferior, pintar con rojo si el mantenimiento está demorado o no fue realizado. Con verde, cuando el mantenimiento se llevó a cabo.

- CONTROL

Rutina de control del estado de los dispositivos de la planta, diferenciado en tres categorías:

- De alto control
- De mediano control
- De bajo control

Se establece la siguiente periodicidad (tentativa) para cada categoría:

CATEGORÍA	PERIODICIDAD
Alto control	Mensual
Mediano control	Bimestral /trimestral
Bajo control	Anual

TABLA DISPOSITIVO/CATEGORÍA

DISPOSITIVO	CATEGORÍA
Inspección visual: debe ser continua para todos los dispositivos.	
Actualización de la tabla: continua.	

INSTRUCTIVO DE LA PLANILLA DE CONTROL (Anexo 8.2)

Completar en cada casillero lo que corresponda, según la siguiente explicación.

- 3. DISPOSITIVO:** escribir la nomenclatura o designación correspondiente al equipo o elemento a chequear.
- 4. SECTOR:** zona de la planta donde se encuentra el dispositivo evaluado.
- 5. ESTADO:** detallar la situación actual del dispositivo. Posible escala: excelente, bueno, regular, malo.
- 6. RESTAURACIÓN:** detallar si se ha producido algún ajuste o cambio de parte o total del dispositivo. Definir si se eleva al programa de mantenimiento.
- 7. FECHA DE CONTROL**
 - c. ÚLTIMA:** fecha de finalizado el actual control.
 - d. PRÓXIMA:** posterior control.

- CAPACITACIÓN

Las capacitaciones se brindan con frecuencia, y se dividen en las siguientes temáticas:

TEMA	PARTICIPANTES	ENTRENADOR

- REGISTRO

Toda documentación relacionada a este procedimiento será guardada en formato papel Carpeta plan de gestión ambiental/mantenimiento y en formato electrónico.

- ANEXO

LAYOUT / CROQUIS UBICACIÓN

- PLANILLA DE CONTROL

DISPOSITIVO	SECTOR	ESTADO	RESTAURACIÓN	FECHA DE CONTROL	
				ÚLTIMA	PRÓXIMA
OBSERVACIONES					

ANEXO 3 - La Celda de Hull

El modelo más común de esta celda es una pequeña caja plástica de 267 ml (para su uso métrico se llena hasta los 250 ml), con forma de paralelepípedo y un lado formando un ángulo de 37,5°. Se coloca un ánodo en el lado opuesto al panel del cátodo, que se fija a lo largo del lado oblicuo como se observa en la figura siguiente:

10

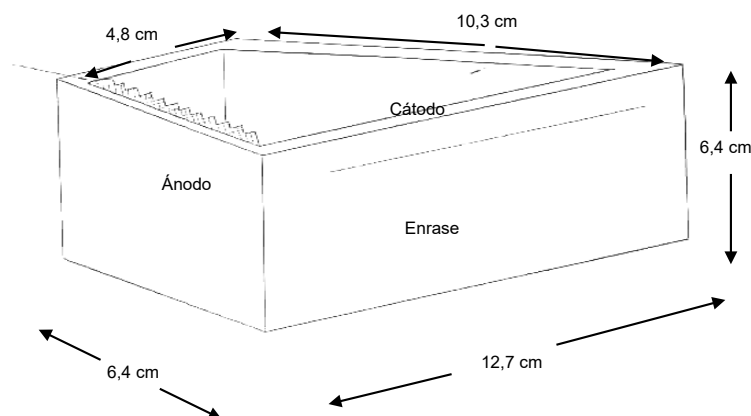


Fig. 1. La Celda de Hull. ⁹

Se llena la celda hasta el enrasedo con la solución que se desea ensayar. Se agita bien y se controla que la temperatura sea la misma a la que opera el baño. El ánodo debe estar bien limpio y el cátodo perfectamente desengrasado. Si el cátodo es de acero, la superficie que enfrenta al ánodo debe presentar un aspecto semibrillante y uniforme; si es de cobre o latón debe estar bien pulida.

Se conecta la fuente de corriente y se regula la intensidad al valor deseado (normalmente entre uno y cinco A, dependiendo del baño en ensayo), y por el tiempo establecido (generalmente entre uno y cinco minutos, pero puede llegar a los 10). Una vez terminada la operación se extrae el cátodo, se lava bien y se seca a temperatura ambiente.

Los ensayos apuntan fundamentalmente a:

- Establecer el rango óptimo de densidad de corriente.
- Determinar la cantidad de aditivos necesarios para generar depósitos brillantes o nivelados, preferentemente en el centro del panel y que ocupen la mayor superficie posible. Se añaden pequeñas alícuotas de aditivos en la celda (0,5 a 1g), se mezcla bien y se realiza el ensayo para observar los efectos.
- Reconocer efectos extraños debidos a la presencia de impurezas (contaminantes o productos de degradación de los aditivos).
- Evaluar el poder cubriente y de penetración de diversos sistemas de electrolitos.
- Establecer la efectividad de los tratamientos para remover impurezas.

⁹ Tomada y traducida de "Metal Finishing - Guidebook and Directory Issue" (págs. 594 y 596), Vol. 97 N1, 1999.

No debe olvidarse que la celda de Hull no es un sustituto de los análisis periódicos de los principales constituyentes de los baños, sino una herramienta complementaria.

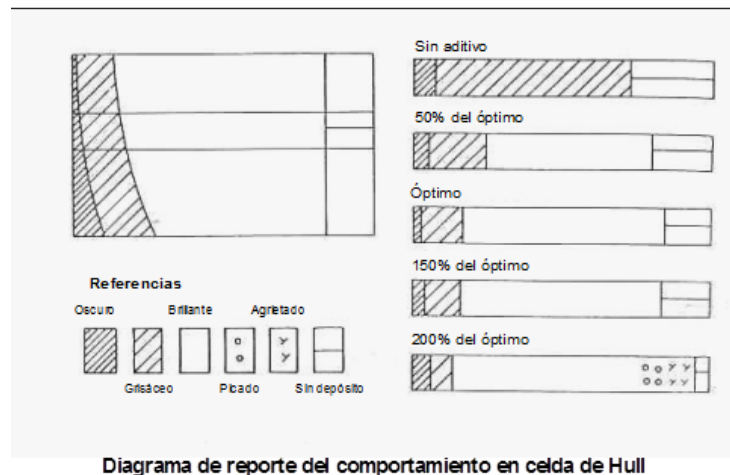


Fig. 2. Diagrama de reporte del comportamiento en Celda de Hull.¹⁰

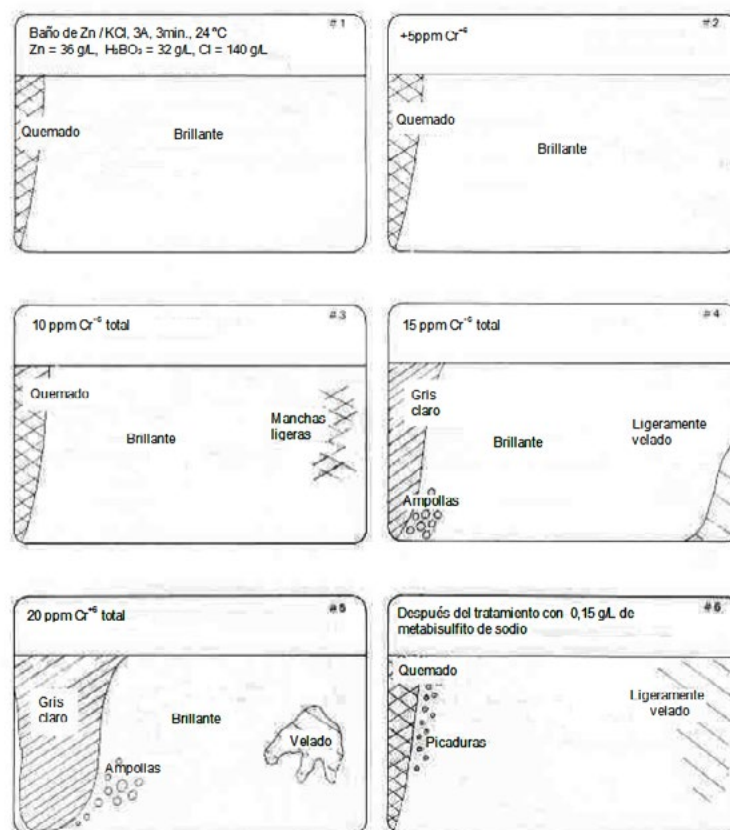


Fig. 3. Efectos del cromo hexavalente en un baño de cinc ácido al cloruro de potasio.¹¹

¹⁰ Tomada y traducida de "Metal Finishing - Guidebook and Directory Issue" (págs. 594 y 596), Vol. 97 N1, 1999.

¹¹ Diagramas tomados y traducidos de "Zinc Plating" by Herb Hedulg (pág. 284), Finishing Publications LTD. Teddington, Middlesex, England, 1988.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
Guía para una producción sustentable : sector tratamientos superficiales.
- 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente y
Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-46796-6-6

1. Desarrollo Sustentable. I. Título.
CDD 620.4

