



Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia



Coordinador: Adriana Alzate / CNPMLTA

Apoyo: Carolina Oquendo / CNPMLTA

Arnoldo Muñoz / Consultor Nodo Centro

Universidad Pontificia Bolivariana / Grupo de Estudios Ambientales

Nodos regionales de PML de Bucaramanga, Centro, Sur occidente, Eje Cafetero y Caribe.

CONTENIDO

1.	PRÓLOGO	3
2.	¿QUIÉNES SOMOS?	4
3.	LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y SU EMPRESA	5
4.	PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO	7
	4.1 Proceso electrolítico	7
5.	LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS Y EL AMBIENTE	12
	5.1 Pérdida de químicos por arrastre	12
	5.2 Consumo de agua	12
	5.3 Uso de químicos	14
	5.4 Efectos ambientales generales	15
6.	CASOS PRÁCTICOS EN COLOMBIA	16
	6.1 Generalidades del sector	16
	6.2 Proyecto de Producción Más Limpia	16
	6.3 Etapas detalladas del proyecto	16
	6.4 Características de las empresas involucradas en el proyecto	17
	6.5 Opciones de PML	18
	6.6 Descripción de la implementación de un caso práctico específico	22
	6.7 Casos prácticos y alternativas de PML identificadas en otros países	23
7.	FUENTES CONSULTADAS	25

PRÓLOGO

Una de las mayores preocupaciones que embarga al mundo actualmente, sobre todo en países en vía de desarrollo -que deben estar particularmente atentos ante un universo cada vez más global y competitivo- es el creciente desarrollo tecnológico y el subsecuente deterioro ambiental que éste ocasiona.

Cada día el hombre se preocupa más por su bienestar y por elevar su calidad de vida, lo cual sólo se puede lograr a través del equilibrio entre el crecimiento económico y la protección del medio ambiente.

Esta premisa es clara para muchos sectores de la economía, especialmente para la industria de recubrimientos electrolíticos, debido a las características de sus procesos, descargas y residuos.

Por ello, es necesario implementar medidas que disminuyan los efectos ambientales que este tipo de industrias generan. La Producción Más Limpia (PML) es una de estas medidas, y busca reducir la generación de las co-

rrientes residuales y optimizar los procesos, entre otros.

Esta guía consigna las principales alternativas de optimización del proceso de recubrimiento electrolítico, las cuales hacen referencia a la implementación de buenas prácticas en el proceso, cambio de materias primas, cambios de proceso y/o cambios tecnológicos.

La información contenida en esta guía permite a los empresarios del sector, encargados de planta, supervisores e ingenieros de procesos, analizar la viabilidad y los beneficios económicos y ambientales de las posibles alternativas a implementar dentro de sus procesos, además de establecer metas de mejoramiento y realizar sus actividades de una manera ambientalmente sana como una forma de involucrarse en la salud ambiental de su empresa, su comunidad y del país en general.

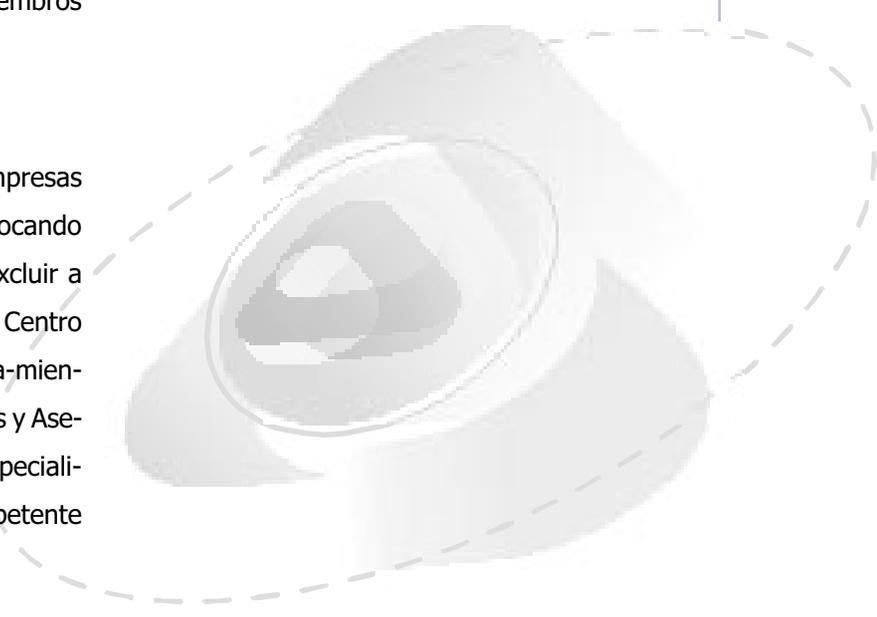
2. ¿QUIÉNES SOMOS?

El Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA), se constituyó como resultado del trabajo conjunto de un grupo promotor conformado por diferentes instituciones y empresas, nacionales e internacionales. Su misión es la introducción y difusión de los conceptos de ecoeficiencia, producción más limpia y tecnologías ambientales buscando apoyar el fortalecimiento del sector empresarial privado y público.

En la actualidad cuenta con un importante grupo de miembros y entidades de apoyo (alrededor de 40), conformado por empresas del sector privado, entidades públicas, gremios, asociaciones, universidades, autoridades ambientales, instituciones públicas y privadas y cooperantes internacionales como el Gobierno Suizo, a través de EMPA - Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales y Tecnologías -, quien aporta su conocimiento por medio de expertos con amplia experiencia en estos campos. Igualmente, el Centro ha adelantado contactos tendientes a formalizar relaciones con otras instituciones internacionales, así como a ampliar el grupo de miembros nacionales.

El CNPMLTA tiene como clientes a todas las empresas privadas y públicas que operan en Colombia, enfocando sus actividades en las empresas medianas, sin excluir a empresas grandes y pequeñas. Los servicios del Centro se enfocan en: Información, Capacitación, Entrenamiento, Asistencia Técnica, Transferencia de Tecnologías y Asesoría Política, contando con la asesoría técnica especializada de expertos y de un equipo de trabajo competente en diversos campos y sectores.¹

La estrategia de regionalización del Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA), busca atender la demanda de las diferentes regiones del país de una manera sistemática, según las necesidades y capacidades de dicha área, es decir, aquellas regiones que, según un análisis de su demanda y del impacto industrial, económico y ambiental que presenten, den una respuesta clara a la política de Producción Más Limpia.



¹ Para mayor información visite la página www.cnpml.org

3. LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y SU EMPRESA

La UNEP Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), define la Producción Más Limpia (PML) como «la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente».

En los **procesos productivos** se refiere a la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos.

En los **productos** busca la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

En los **servicios** se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en la prestación de los mismos.

En general, la PML requiere un cambio de actitud, un manejo ambiental responsable y la evaluación de opciones tecnológicas.

En la práctica, la aplicación del concepto de PML, no significa una «sustitución» de los sistemas de producción, sino «un mejoramiento continuo» de los mismos. Así, PML obedece a un proceso dinámico y sistemático, el cual no se aplica una vez, sino permanentemente en cada una de las fases del proceso, producto o servicio.

En general, los beneficios derivados de la PML incluyen, entre otros:

- Optimización del proceso y ahorro de costos mediante la reducción y el uso eficiente de materias primas en insumos en general.
- Mejoramiento de la eficiencia operativa.
- Mejor calidad y consistencia de los productos debido a un mejor control de las operaciones, haciéndolas más predecibles.
- Reducción de residuos y, por ende, reducción de costos asociados a su correcta disposición.
- Mejoramiento de la imagen de la empresa ante clientes, proveedores, socios, comunidad, entidades financieras, etc.

La Producción Más Limpia (PML) se soporta en herramientas que apoyan las estrategias y sistemas ambientales de las empresas, proporcionando así técnicas concretas para acceder y combinar información que permita definir el estado ambiental de un proceso o producto, tomar decisiones con base en ello, apoyar la implementación de los cambios necesarios y verificar los resultados. Dentro de estas herramientas se encuentran el Análisis de Ciclo de Vida, los Ecobalances, los Indicadores Ambientales y los Sistemas de Gestión Ambiental, entre otros.

Resumiendo lo anterior, la Figura 1 muestra un recuento general de las estrategias que se deben aplicar cuando se implementa un proceso de Producción Más Limpia dentro de la empresa. Es decir, la PML además de pensar en “qué hacer con los residuos”, piensa en “qué hacer para no generarlos”.

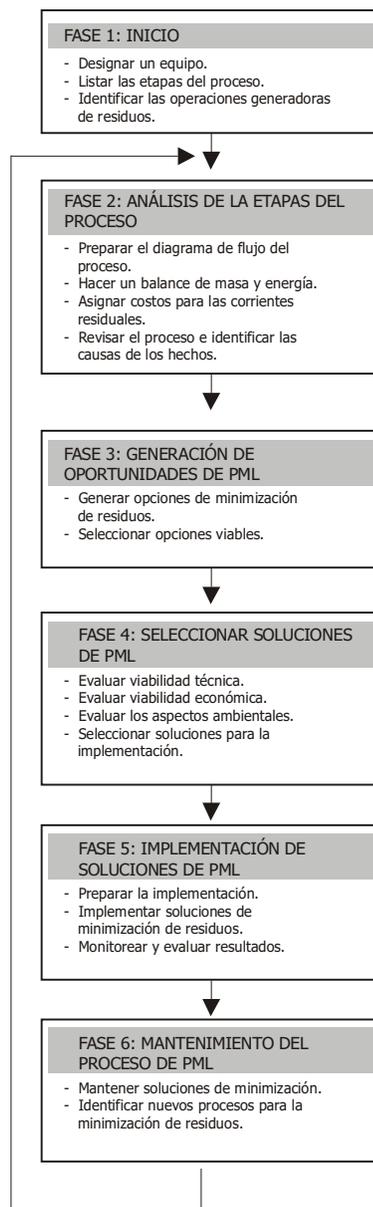
Figura 1 Estrategias de la PML



Fuente: Centro de Iniciativas para la Producción Neta de Cataluña.

Cuando se pretenden implementar las estrategias definidas en la figura anterior, es necesario seguir un procedimiento sistemático previamente definido, con el fin de obtener resultados fácilmente identificables una vez se implementen las alternativas planteadas. La Figura 2 esquematiza cada una de las fases para la implementación de PML, la secuencia lógica de las mismas y los puntos a tener en cuenta en cada una de ellas.

Figura 2 Fases para la implementación de PML



Fuente: UNEP

4. PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO

Los Depósitos por vía Electrolítica hacen alusión al recubrimiento de un objeto con una capa delgada de metal mediante electricidad. Los metales para recubrimiento más comunes son: Oro, Plata, Cromo, Cobre, Níquel, Estaño y Zinc. El objeto a ser recubierto generalmente es un metal diferente al utilizado para el recubrimiento, aunque puede ser el mismo o incluso, puede no ser un metal.

Desde mediados del siglo pasado las industrias de depósito por vía electrolítica (industrias galvánicas), han tenido una tremenda expansión gracias a su capacidad para neutralizar las pérdidas de metales no estables por deterioro de la corrosión. Estas industrias se clasifican según su aplicación en:

- **Depósitos con efecto protector y decorativo (Norma ASTM 456)¹**: En este caso, la protección contra la corrosión y la apariencia son fundamentales. Los recubrimientos que se utilizan son de Cobre/Níquel/Cromo, y Níquel/Cromo, y se realizan sobre sustratos metálicos de Acero, Cobre y sus aleaciones, y Zinc y sus aleaciones. Este tipo de industria de depósitos es la más expandida sobre el territorio colombiano.
- **Depósitos con efecto protector (Norma ASTM B 633 – ASTM B 546)**: Se realizan sobre sustratos ferrosos con depósitos de Zinc cromatizado y depósitos de Estaño. Estos depósitos aumentan la resistencia a la corrosión, sin que la apariencia final sea primordial.
- **Depósitos con efecto protector y decorativo sobre plástico (Norma B 604)**: Utilizan acabados por electrodeposición de Cobre/Níquel/Cromo en sustratos plásticos laminados.

En general, el recubrimiento electrolítico se realiza para proporcionar resistencia contra la corrosión, dureza,

Mal conocidas por el término de industrias galvánicas (en honor a Luigi Galvani), las industrias de depósito por vía electrolítica tienen como principal objetivo aplicar pequeñas capas de metales sobre sustratos metálicos o plásticos con el fin de protegerlos de la corrosión o mejorar su apariencia visual.

resistencia contra el uso, características de antifricción, conductividad eléctrica o térmica y decoración.

4.1 Proceso electrolítico

Un proceso electrolítico se basa en los cambios químicos producidos por la corriente eléctrica, lo cual implica:

- Una fuente generadora de energía continua
- Una cuba o reactor electrolítico
- Un electrólito
- Un ánodo
- Un cátodo

El recubrimiento se lleva a cabo en el reactor donde se encuentra almacenado el electrólito (solución que tiene el metal al ser depositado en forma iónica). Una vez la corriente eléctrica generada por la fuente de energía continua pasa a través del reactor, el ánodo (metal del mismo origen del electrólito) comienza a aportar iones a la solución. El cátodo (objeto a ser recubierto) recibe estos iones metálicos liberando a su vez los electrones y dejando el metal en su superficie en estado metálico.

La operación de recubrimiento electrolítico, incluye tres etapas básicas: Preparación de la superficie, tratamiento y acabado.

² Tomado de: "Normas técnicas de la American Society for Testing and Materials". Ver fuentes consultadas

4.1.1 Preparación de la superficie

La preparación de la superficie, la limpieza y la creación de condiciones químicas apropiadas en la pieza a ser tratada, son esenciales para asegurar que el recubrimiento se comporte adecuadamente una vez la pieza entre en uso. Si una superficie no se encuentra limpia, es muy probable que los recubrimientos no se adhieran adecuadamente a la superficie ni eviten la formación de corrosión en ella.

Las técnicas de preparación de superficies pueden incluir desde una simple limpieza abrasiva con baños ácidos, hasta complejos procesos químicos de limpieza múltiple, lo cual dependerá del tipo de recubrimiento a realizar. En general la preparación de la superficie incluye las siguientes etapas¹ :

- **Tratamiento mecánico:** En esta etapa se eliminan las asperezas o defectos de las superficies y otras imperfecciones físicas que pueden influir en el buen recubrimiento de la pieza. Para ello, la pieza se somete al proceso de pulido por medio de equipos como vibradoras, sistemas de bandas abrasivas, etc., las cuales pulen la superficie de la pieza. Esta operación requiere el uso de ceras.
- **Desengrase:** El desengrase elimina las grasas y los aceites de la superficie de las piezas (provenientes del tratamiento mecánico) y puede efectuarse básicamente de dos maneras:
 - Utilizando solventes orgánicos.
 - Utilizando soluciones alcalinas con poder emulsificador.

Dentro de las sustancias que se emplean en la industria se encuentran solventes orgánicos comunes, (p.e. kerosene, aceite mineral y glicoles) dispersos en un

medio acuoso con la ayuda de un agente emulsificador, sin embargo no es común que se utilicen desengrasantes orgánicos.

La limpieza con el segundo método utiliza menos químicos que el desengrase con solventes, dado que la concentración de éstos es menor.

En general, el desengrase incluye dos operaciones básicas:

- **Macrodesengrase:** para remover grasa pesada. Utiliza principalmente solventes orgánicos o gasolina.
- **Microlimpieza:** para remover grasas que aún se encuentran en el metal. Se puede realizar por vía electrolítica con una acción mecánica de remoción física y por vía química, saponificando la grasa para convertirla en jabón.

Es posible que para dar un determinado acabado sea necesario realizar algunos recubrimientos previos que permitan mejorar su calidad.

Después del desengrase las piezas se enjuagan en un tanque con agua para evitar el arrastre de las soluciones de desengrase a la etapa siguiente.

- **Decapado:** El objetivo del decapado es eliminar las capas de óxido formadas en la superficie de las piezas metálicas debido al contacto entre éstas y la atmósfera, por lo tanto es un proceso que se

realiza si el tipo de recubrimiento es de efecto protector. El decapado se realiza sumergiendo las piezas en una solución que puede ser ácida o alcalina, dependiendo del tipo de proceso.

³ Adaptado guía de PML en galvanoplastia de México, guía para el sector de acabados metálicos de la EPA, y estudio realizado por UPB entre otros.

⁴ Agente activo en contacto con superficies que aumenta las propiedades de emulsificación de un producto (también tensoactivo).

Las soluciones alcalinas generalmente están conformadas por: (1) hidróxidos y carbonatos que comprenden el mayor porcentaje de la solución, (2) aditivos orgánicos o inorgánicos que promueven un mejor decapado y (3) surfactantes¹. Generalmente el decapado con soluciones alcalinas es acompañado por una acción mecánica como el ultrasonido o por potencial eléctrico.

Las soluciones ácidas pueden estar constituidas por ácidos como el sulfúrico, clorhídrico o fluorhídrico, y su uso dependerá del tipo de metal que se esté limpiando. La concentración de estas soluciones generalmente se encuentra al 50% de ácido debidamente inhibido para evitar un ataque excesivo a la pieza.

Al ir aumentando la concentración de impurezas en el baño, la eficacia del decapado decrece. Para mantener la concentración del baño dentro de los límites adecuados para su uso, éste tiene que ser realimentado mediante reposición de ácido nuevo en cantidades variables en función del nivel de contaminación. Después del decapado las piezas se enjuagan en un tanque con agua para evitar el arrastre de ácido a las siguientes etapas del proceso.

- **Activado**²: El proceso de activado se utiliza para asegurar que no se forme una capa de óxido sobre la superficie del metal, antes de pasar a los baños de recubrimiento electrolítico, pues esa capa de óxido puede dar lugar a una mala conducción eléctrica. En esta operación se emplean soluciones ácidas diluidas, que además de eliminar la capa de óxido, permiten eliminar manchas generadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos adheridos a las piezas.

4.1.2 Tratamiento

Una vez la superficie se encuentre en condiciones óptimas para su recubrimiento se inicia el proceso de tratamiento, es decir, del recubrimiento propiamente dicho, el cual depende del uso que se le dará a la pieza.

El recubrimiento se logra utilizando un potencial eléctrico y altas temperaturas para facilitar el desplazamiento de los iones y aumentar la velocidad de reacción entre la superficie de la pieza y los iones depositados. Dentro de los diferentes acabados se encuentran entre otros: Latón, Oro, Níquel, Cromo, Galvanizado (Zinc) y Plata.

A continuación se hace una breve reseña de los recubrimientos electrolíticos más comunes en la industria:

- Cobre-Níquel-Cromo: Proporciona un efecto protector y decorativo a las piezas y consta de tres pasos:
 - Cobrizado: El cobrizado cianurado es el primer recubrimiento de los sistemas multicapas. Es de gran protección anticorrosiva.
 - Niquelado: Muy apropiado para usos decorativos.
- Cromado: Con excelentes características de brillo, dureza y poder anticorrosivo.
- Galvanizado: Es el nombre que se le da a los recubrimientos con Zinc en frío o en caliente. En frío se refiere al recubrimiento electrolítico propiamente dicho, y en caliente implica los recubrimientos de Zinc fundido (a 480°C con electricidad). Estos recubrimientos presentan

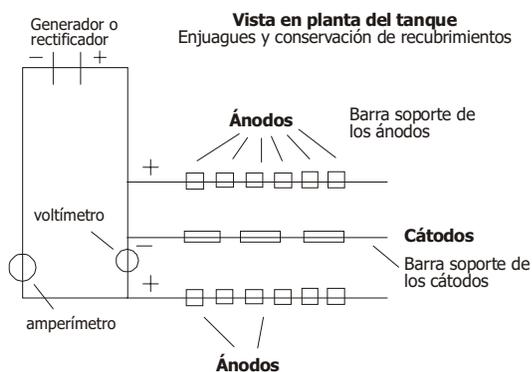
⁵ El activado sólo se hace si no se realizó decapado a la pieza, y viceversa.

propiedades anticorrosivas y ocasionalmente decorativas.

- **Anodizado:** Este proceso busca la conversión de la superficie de Aluminio a Óxido de Aluminio. Dentro de sus ventajas se encuentran: Mejor resistencia a la corrosión, mejor adherencia a la pintura, admisión de recubrimientos subsecuentes y aislamiento eléctrico, entre otros.

Con el fin de tener una idea más clara de la etapa de tratamiento, la Figura 3 muestra la vista en planta de una unidad de recubrimiento electrolítico, indicando la ubicación y distribución de los ánodos y cátodos en el baño y otros elementos importantes para la realización del recubrimiento.

Figura 3 Proceso de recubrimiento electrolítico



Fuente: Sector Notebook Project. Fabricated Metal Products. EPA, USA.

4.1.3 Acabado

Luego del recubrimiento, es necesario realizar varias etapas claves para dar el acabado deseado a la pieza. Estas etapas son:

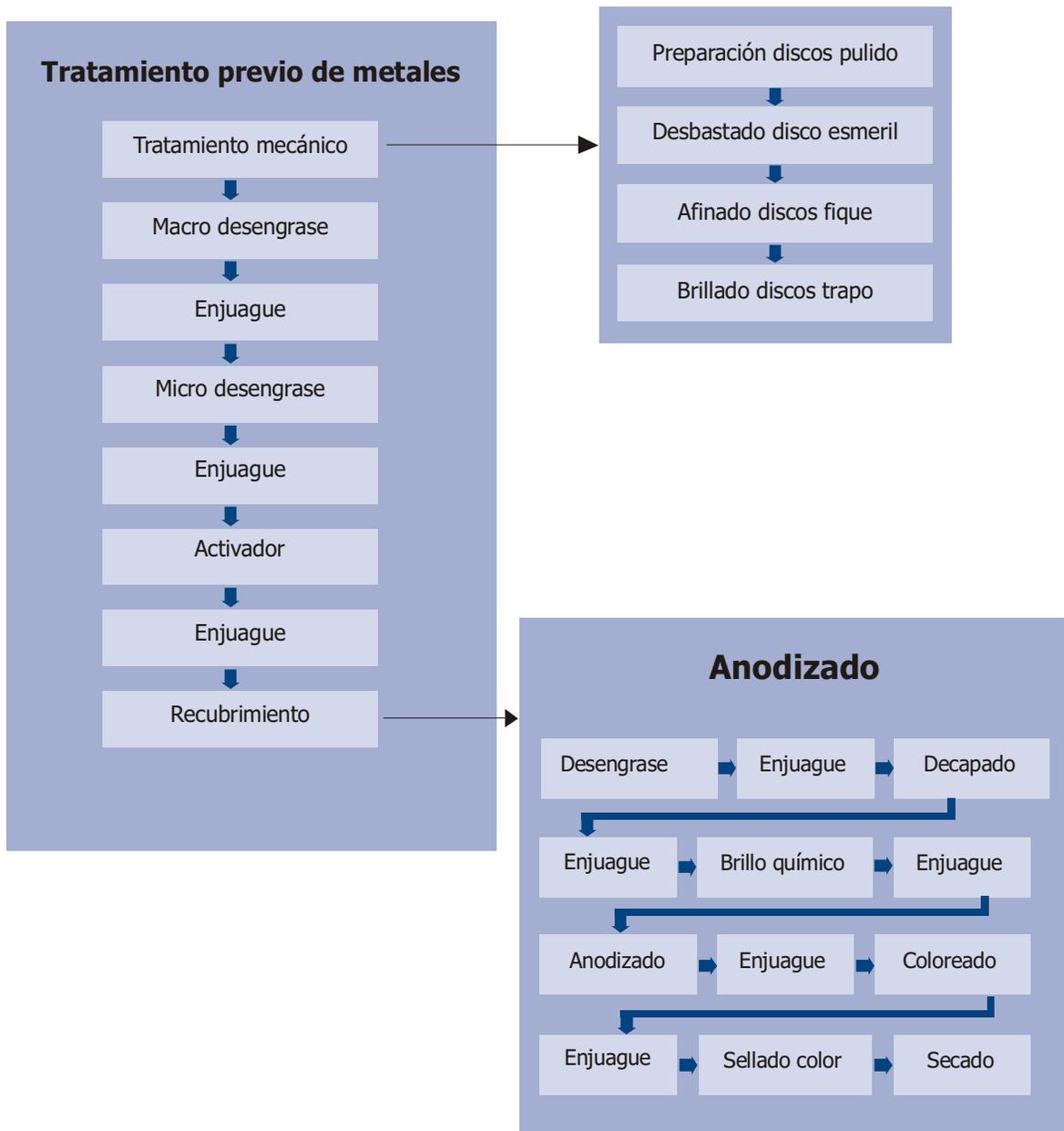
- **Recuperador (Enjuague estanco):** Después del tratamiento con las sales en el baño de recubrimiento, las piezas se enjuagan en un tanque con agua para limpiarlas de residuos procedentes

del baño anterior. El enjuague almacenado en este tanque se puede utilizar para reponer las pérdidas por nivel de los baños de recubrimiento. Algunas empresas instalan más de un recuperador para garantizar una menor pérdida de materia prima por arrastre.

- **Enjuagues:** Después que las piezas pasan por el enjuague estanco, todavía tienen residuos de las sales de recubrimiento, lo que hace necesario un nuevo enjuague en tanques de agua corriente.
- **Pasivado/Enjuague:** Una vez que la superficie se encuentre libre de sales, se sellan los poros, se elimina la posible reactividad del acabado y se dan los últimos retoques estéticos por medio de sales de Cromo principalmente en baños que no requieren electricidad.
- **Secado:** Después de tener el acabado final, las piezas se secan para eliminar el agua residual proveniente del enjuague y así, evitar que el producto salga con manchas, para luego lacar y proseguir a su embalaje y venta.

La Figura 4 presenta, a modo de ejemplo, las etapas típicas de un proceso de recubrimiento electrolítico, específicamente de anodizado. Estas etapas varían en algunos aspectos según el tipo de material y el recubrimiento a realizar (especialmente las etapas de decapado y activado)

Figura 4 Diagrama de flujo de un proceso típico de recubrimiento electrolítico



5. LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS Y EL AMBIENTE

La Industria de depósitos electrolíticos (galvánicos), por su naturaleza química y eléctrica, es una fuente de generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

La presencia de metales pesados en el agua, compuestos cianurados vertidos y la emanación de vapores que son difíciles de destruir o estabilizar y de disponer en una forma ambientalmente adecuada, forman parte del trabajo cotidiano en las empresas de este campo.

Las dificultades ambientales derivadas de esta actividad son generadas principalmente por el uso de cuatro materiales específicos:

- Cadmio.
- Cianuros, especialmente para Zinc, Cobre, Bronce, Plata y Latón.
- Cromo hexavalente.
- Soluciones electrolíticas basadas en Cromo/Formaldehído.

A continuación se describen algunos de los efectos ambientales más significativos de la industria de recubrimientos electrolíticos.

5.1 Pérdida de químicos por arrastre

Un efecto ambiental importante en esta industria es la pérdida de químicos, pues la naturaleza del proceso inevitablemente resulta en una cierta cantidad de químicos gastados a medida que son removidos de las soluciones de recubrimiento (arrastre de químicos).

Estas pérdidas se dan principalmente en los momentos en que las piezas pasan de un baño a otro, provocando que éstas dejen caer gotas de las soluciones en el suelo, lo cual, además de generar pérdidas económicas, se convierte en una fuente potencial de conta-

En un baño de recubrimiento para usos decorativos se puede perder más del 70% del Cromo en el arrastre. Incluso en un baño de Cromo para otros propósitos se puede generar una pérdida de hasta el 40%.

Sin embargo, estas pérdidas pueden ser reducidas hasta en un 40% utilizando simples procedimientos que involucran una pequeña o ninguna inversión.

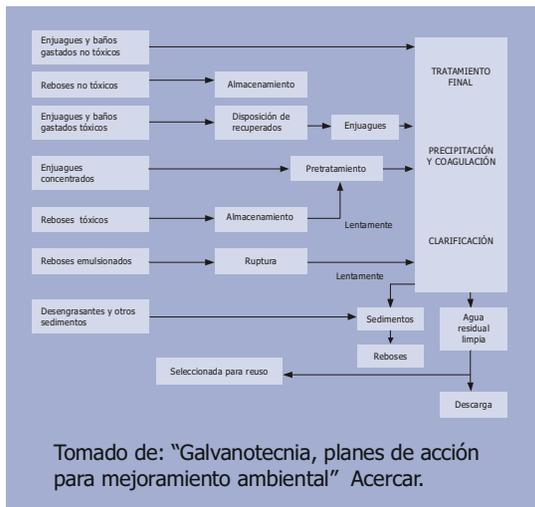
minación, pues estos residuos pueden terminar en las conducciones de agua lluvia.

5.2 Consumo de agua

Esta industria presenta algunas dificultades con el uso del agua, pues, por ejemplo, en el enjuague se puede utilizar cerca del 95% de toda el agua del proceso de recubrimiento¹ haciendo que este recurso sea uno de sus más preciados bienes y materia prima. Esto es particularmente cierto considerando las limitaciones de uso, generación de residuos peligrosos y límites permisibles de metales disueltos y otros contaminantes de modo que, a veces, el aspecto más importante de la conservación del agua es el control de la contaminación mediante simples buenas prácticas de comportamiento y algunas inversiones, lográndose incluso alcanzar ahorros desde el 15 hasta el 30%.¹

⁶ Tomado de "Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry" de Envirowise, U.K

Figura 5 Diagrama general para la separación y re-colección de efluentes



5.2.1 El enjuague

Dentro de los procesos de recubrimiento electrofítico, una de las actividades que más se ve influenciada por la calidad del agua y que a su vez consume cantidades considerables de ella es el enjuague. Se puede decir que hay más enjuagues que baños de proceso en un ciclo determinado.

Enjuagar implica diluir y remover películas superficiales o contaminantes por lo que se debe garantizar que funcione de forma eficiente para evitar que el recubrimiento de las piezas sea defectuoso.

Una forma para determinar si un enjuague está operando bajo condiciones óptimas es calcular su eficiencia. Para medir este parámetro se debe calcular su Razón de Dilución (Rd), la cual puede ser expresada en función de la concentración de los metales de interés en un baño (Zn, Ni, Cr,...)(Co) y la concentración del metal en el último enjuague (Cf), así:

$$Rd = \frac{C_o}{C_f}$$

⁷ Adaptado de "Enjuague: Más es mejor... Menos es mejor". Ver fuentes consultadas.

La Tabla 1 presenta algunos valores de referencia de Rd para los sistemas de enjuague según el baño de recubrimiento¹.

Tabla 1 Valores medios de Rd para diferentes procesos de enjuague

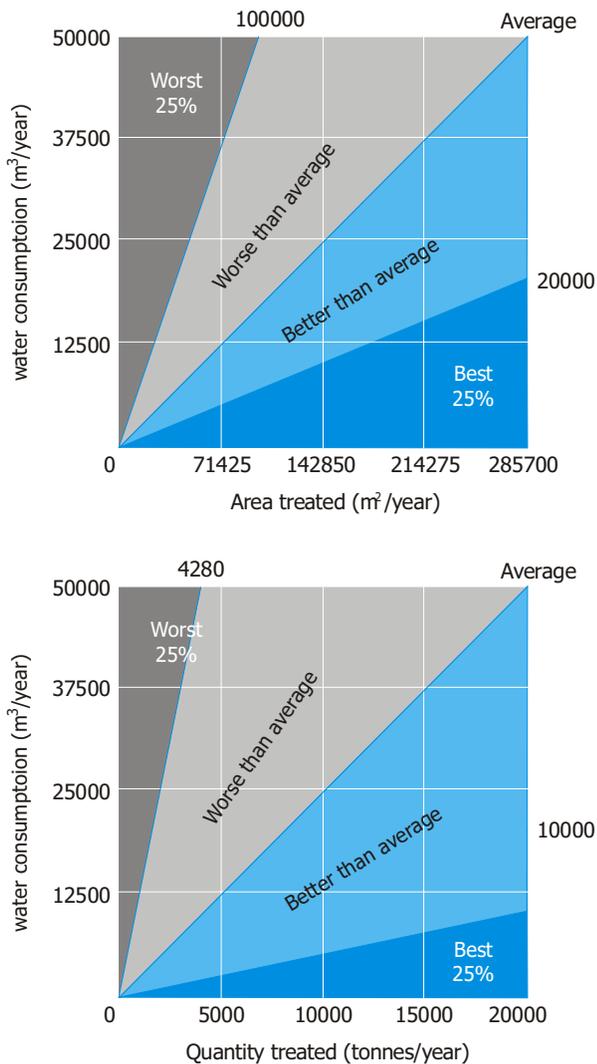
Proceso	Valores medios Rd
Preparación de superficies (desengrase, decapado, neutralizados, etc.)	500 -2.000
Baños de Cobre sin Cianuro	1.000 - 5.000
Baños de Cromo	10.000 - 50.000
Otros metalizados (excepto cianurados)	10.000 - 20.000
Pasivados Amarillos	750 - 2000
Baños de Cobre cianurado	5.000 - 10.000

Igualmente, para hacer el enjuague más fácil y efectivo se pueden aplicar ciertas prácticas de optimización, las cuales se analizarán en un capítulo posterior¹.

Otro punto importante para analizar en el momento de implementar buenas prácticas para optimizar el consumo de agua, es verificar si la planta, en general, utiliza ineficientemente este recurso. La Figura 6 muestra los consumos típicos de agua para diferentes niveles de producción en la industria de recubrimientos electrofíticos en el Reino Unido.

⁸ Tomado del estudio realizado por la UPB, Colciencias y el CNPMLTA.

Figura 6 Comparación entre los consumos de agua en la industria de recubrimientos electrolíticos en el Reino Unido.



Fuente: "Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry" de Envirowise, U.K

La primera gráfica se aplica cuando la producción se tiene en superficie tratada por año (m²/año), mientras que la segunda se utiliza cuando se tiene en toneladas/año.

Estas gráficas implican entonces que una planta que trata 60.000 m²/año y consume 37.500 m³/año de agua, se encuentra en el peor promedio dentro de la industria (los menos eficientes). Igualmente, para la segunda gráfica si la producción se encuentra en 4.000 toneladas/año y tiene un consumo de 37.500 m³/año, es bastante ineficiente en su consumo de agua.

Las demás convenciones son:

- Worse than average: Peor que el promedio.
- Better than average: Mejor que el promedio.
- Best: Mejor.

Luego, si la planta se encuentra dentro de los rangos de peor (worst) y de peor que el promedio, requiere, necesariamente, implementar prácticas de uso eficiente del agua.

5.3 Uso de químicos

La industria de recubrimientos electrolíticos presenta, si se le compara con otras industrias, bajas eficiencias en cuanto al uso de químicos. Para el recubrimiento con Cromo, por ejemplo, la eficiencia puede ser de hasta el 15%, es decir, sólo el 15% del metal en el baño de recubrimiento se transfiere a la pieza, el porcentaje restante se pierde como residuo. La Tabla 2 resume las eficiencias típicas de esta industria en el Reino Unido.¹

⁹ Tomado del estudio realizado por la UPB, Colciencias y el CNPMLTA.

¹⁰ Tomado de "Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry" de Envirowise, U.K.

Tabla 2 Eficiencias típicas de la industria de recubrimientos electrofíticos en el Reino Unido

Proceso	Eficiencia en el uso de químicos (%)
Cromo - decorativo	15
Cromo - duro	40
Cobre (ácido)	65
Níquel	70
Zinc (alcalino)	80
Oro	99

5.4 Efectos ambientales generales

Con el objetivo de visualizar los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas del proceso de recubrimiento electrofítico, la Figura 7 esquematiza la matriz de impactos de este proceso. En ella se indica el impacto que cada etapa tiene sobre el aire, el agua y/o la generación de residuos sólidos.

Figura 7 Matriz de impacto ambiental de una operación de recubrimientos electrofíticos

Proceso	Componente del ambiente		
	Humo, gases y vapores, polvos y particulares finas	Aguas ácidas, alcalinas, con grasas y aceites, cianuradas, crónicas, ricas en metales pesados	Lodos, cenizas, restos de materias primas recipientes vacíos y empaques
Tratamiento mecánico			X
Desengrase/enjuague		X	X
Decapado/enjuague	X	X	
Activado/enjuague		X	
Baño de recubrimiento	X	X	
Recuperador		X	
Enjuague		X	
Pasivado/enjuague		X	
Secado y pintado	X		X

Por lo general, estos impactos ambientales son controlados mediante sistemas de fin de tubo, desconociendo que las principales causas de éstos son debidas a ineficiencias en el uso de insumos como el agua, la energía y las materias primas, lo cual se traduce igualmente en costos innecesarios.

¹¹ Tomado de "Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry" de Envirowise, U.K.

6 CASOS PRÁCTICOS EN COLOMBIA

6.1 Generalidades del sector

El sector de las industrias de recubrimientos electrolíticos en Colombia está agrupado bajo el conjunto de industrias dedicadas a la fabricación de productos metálicos, con excepción de maquinaria y equipo. Esta industria incluye un gran número de empresas dedicadas a prestar el servicio de recubrimiento, con excepción de algunas pocas que manufacturan totalmente las piezas, ya sea integradas a los procesos productivos metalmecánicos o plantas exclusivas de servicios.

En Colombia hay unos 1.800 talleres de procesos de recubrimientos electrolíticos, de los cuales un gran porcentaje se encuentra concentrado en Santafé de Bogotá. De éstos, el 5% se dedican al anodizado de Aluminio, el 8% a operaciones de preparación de superficies, una gran fracción son pequeños joyeros que metalizan sobre algunos plásticos y metales bases como es el caso del Hierro y aleaciones ferrosas, Cobre y aleaciones de Cobre, además de algunos talleres de metalizado galvánico de Aluminio, especialmente para rines y autopartes.¹

6.2 Proyecto de Producción Más Limpia

Debido a las condiciones de la industria en el país, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) y Colciencias realizaron una investigación general del sector de recubrimiento metálico con la participación de 12 empresas de la ciudad de Medellín a lo largo de dos años. Dicha investigación estuvo centrada en la identificación de alternativas de optimización en los aspectos de consumo de agua y materias primas. El estudio identificó unas 50 oportunidades de Producción Más Limpia para el proceso de recubrimiento, arrojando

resultados muy positivos tanto para las empresas como para las entidades involucradas en el proyecto.

Posteriormente, a raíz de los buenos resultados alcanzados, el CNPMLTA y la UPB unieron esfuerzos para la realización de un proyecto de PML en el sector en cuestión, proyecto que desarrollaron con dos empresas en Medellín.

Los buenos resultados y los ahorros alcanzados en las empresas (mayores al 50% en consumo de agua y materias primas), motivaron a replicar el proyecto dentro de la red de Nodos del CNPMLTA (Bucaramanga, Cúcuta, Sur occidente, Eje Cafetero, Caribe y Bogotá), transfiriendo el conocimiento y la metodología de evaluación en las distintas regiones y sumando el conocimiento de los expertos locales conocedores del tema.

En general, este proyecto incluyó capacitaciones y evaluaciones realizadas a empresas para identificar y proponer mejoras relacionadas con el análisis de las materias primas, el uso del agua y el consumo energético en cada planta de recubrimiento electrolítico, enfocadas en una estrategia de Producción Más Limpia.

6.3 Etapas detalladas del proyecto

El proyecto se dividió en tres etapas:

- **Diagnóstico preliminar:** Visitas técnicas a las empresas con el objetivo de determinar el potencial de ahorro en los aspectos de agua y materias primas.
- **Evaluación detallada:** Orientada a presentar a cada empresa un reporte con las principales alternativas de mejoramiento y su respectivo análisis técnico y económico, además de realizar una ca-

pacitación para implementar las alternativas dentro de la empresa.

- **Implementación y seguimiento:** Implementación de las alternativas por parte de las empresas con el apoyo del CNPMLTA y la UPB. Al finalizar esta etapa, las empresas obtuvieron un reporte comparativo con el análisis técnico y económico del estado antes y después de implementadas las alternativas propuestas a lo largo del proyecto.

6.4 Características de las empresas involucradas en el proyecto

Para determinar la magnitud del proyecto, de las alternativas planteadas y de los beneficios logrados, es necesario definir en qué rangos de producción se encuentran las empresas que participaron en el proyecto, para así ubicarlas en el contexto adecuado. Esta descripción es fundamental dado que la industria de recubrimientos electrolíticos es un sector bastante diverso que presenta variaciones significativas en cuanto al tamaño, los procesos, las prácticas de operación y la eficiencia de las empresas, lo que hace difícil la comparación especialmente de los beneficios obtenidos entre unas empresas y otras.

La Tabla 3 establece los niveles y esquemas de producción para algunas de las empresas que participaron en el proyecto.

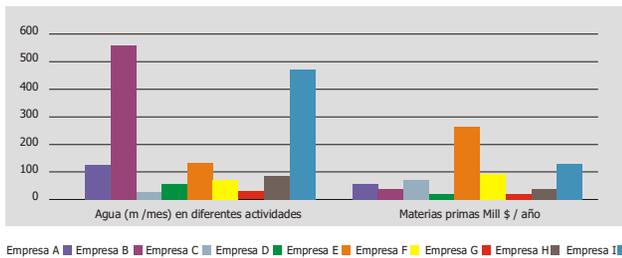
Tabla 3 Nivel de producción de las empresas evaluadas

	Producción	Descripción
Empresa A	324 ton/año	Baños concentrados de Cobre ácido y cianurado, Níquel, Cromo duro y decorativo, galvanizado cianurado.
Empresa B	2.400 unidades/año	Baños concentrados de Cromo duro, desengrase, decapado y descrome.
Empresa C	\$120 millones/año	Recubrimientos metálicos con Zinc, Cromo, Latón y Níquel.
Empresa D	\$90 millones/año	Recubrimiento metálico con Zinc, Cromo y Níquel.
Empresa E	144 ton/año	Recubrimientos metálicos con Cobre, Latón, Níquel negro y mate y Oro.
Empresa F	1'094.400 dm ² /año (aprox 80 ton/año)	Recubrimientos de Cobre + Níquel + Cromo en aceros, Cobres y sus aleaciones.
Empresa G	9'544.800 cm ² (aprox 50 ton/año)	Recubrimiento a metales ferrosos y no ferrosos con acabados en Oro, Cromo, Plata y Níquel, entre otros.
Empresa H	20 ton/año	Acabados en Oro, Plata y Níquel decorativos brillantes y satinados, Níquel mate, latonado decorativo, brillante y pasivado negro, Níquel negro satinado, brillante y mate.
Empresa I	896'558.520 cm ² /año (aprox 120 ton/año)	Acabados en cromo decorativo, Níquel decorativo brillante, satinado, mate y negro, latonado decorativo, brillante, pasivado negro y Aluminio anodizado.

Además de las diferencias sustanciales en los niveles de producción entre una empresa y otra, los consumos de agua y químicos igualmente varían, lo que ofrece un amplio rango de ahorros potenciales tanto en cantidad como en costos. Los consumos de agua y materias primas de estas empresas se esquematiza en la Figura 8.

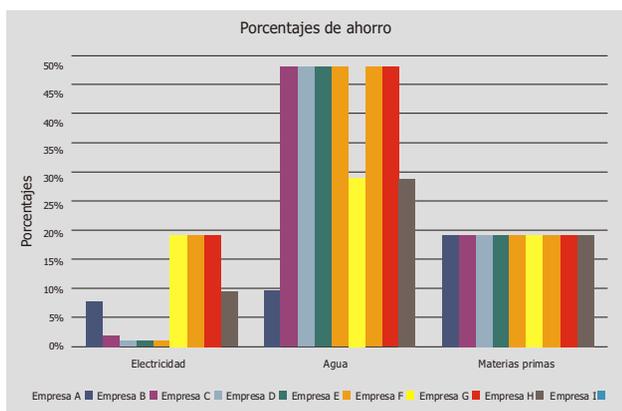
¹² Tomado de "Galvanotecnia, planes de acción para mejoramiento ambiental". Ver fuentes consultadas.

Figura 8 Consumos de agua y materias primas



Una vez establecidos los niveles de producción y de consumo de materias primas e insumos, y de determinar las oportunidades de PML aplicables a esta industria, algunas empresas entraron a implementar estas alternativas. Los principales resultados logrados, en aspectos de ahorro de agua y materias primas, se visualizan en la siguiente gráfica:

Figura 9 Porcentajes de ahorro alcanzados en las empresas analizadas



El nivel de inversiones para lograr los ahorros mostrados en la gráfica anterior oscilan entre \$25.000 y \$2'500.000 pesos colombianos, e incluso más del 20% de las alternativas planteadas no requerían inversión alguna. Todo esto ratifica que la optimización del proceso de recubrimiento electrolítico es totalmente viable para los empresarios colombianos.

6.5 Opciones de PML

Las alternativas de PML identificadas en el proyecto se enfocaron principalmente en el ahorro de agua, materias primas y energía al igual que la optimización del proceso de recubrimiento propiamente dicho. Las figuras 10, 11 y 12, enumeran las opciones propuestas.

Las alternativas de optimización y el beneficio que generan, se dividen en 3 aspectos básicos: baños de recubrimiento, enjuagues y sistema energético.

Figura 10 Opciones de Producción Más Limpia para baños de recubrimiento



Figura 11 Opciones de Producción Más Limpia para sistemas de enjuague

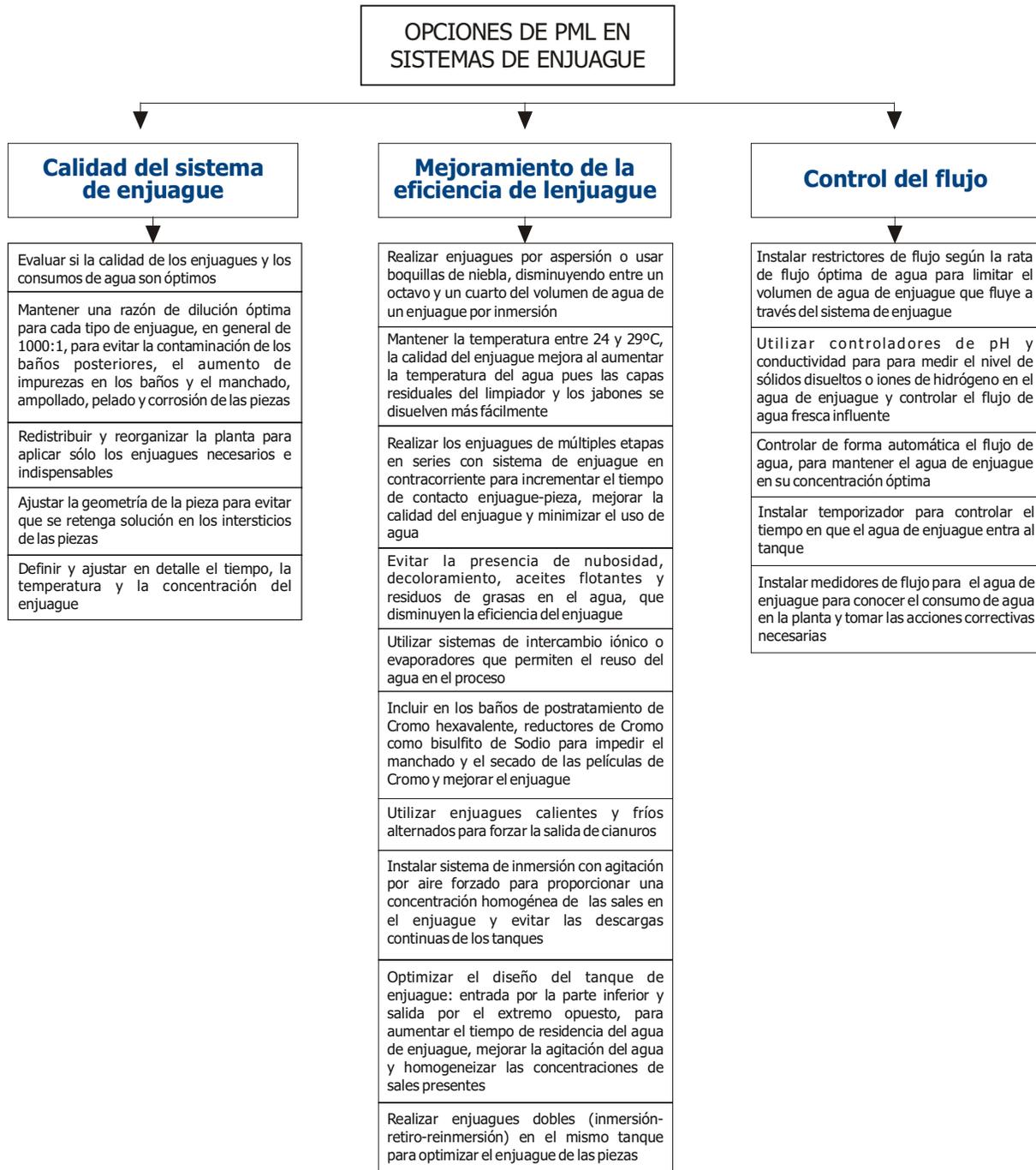
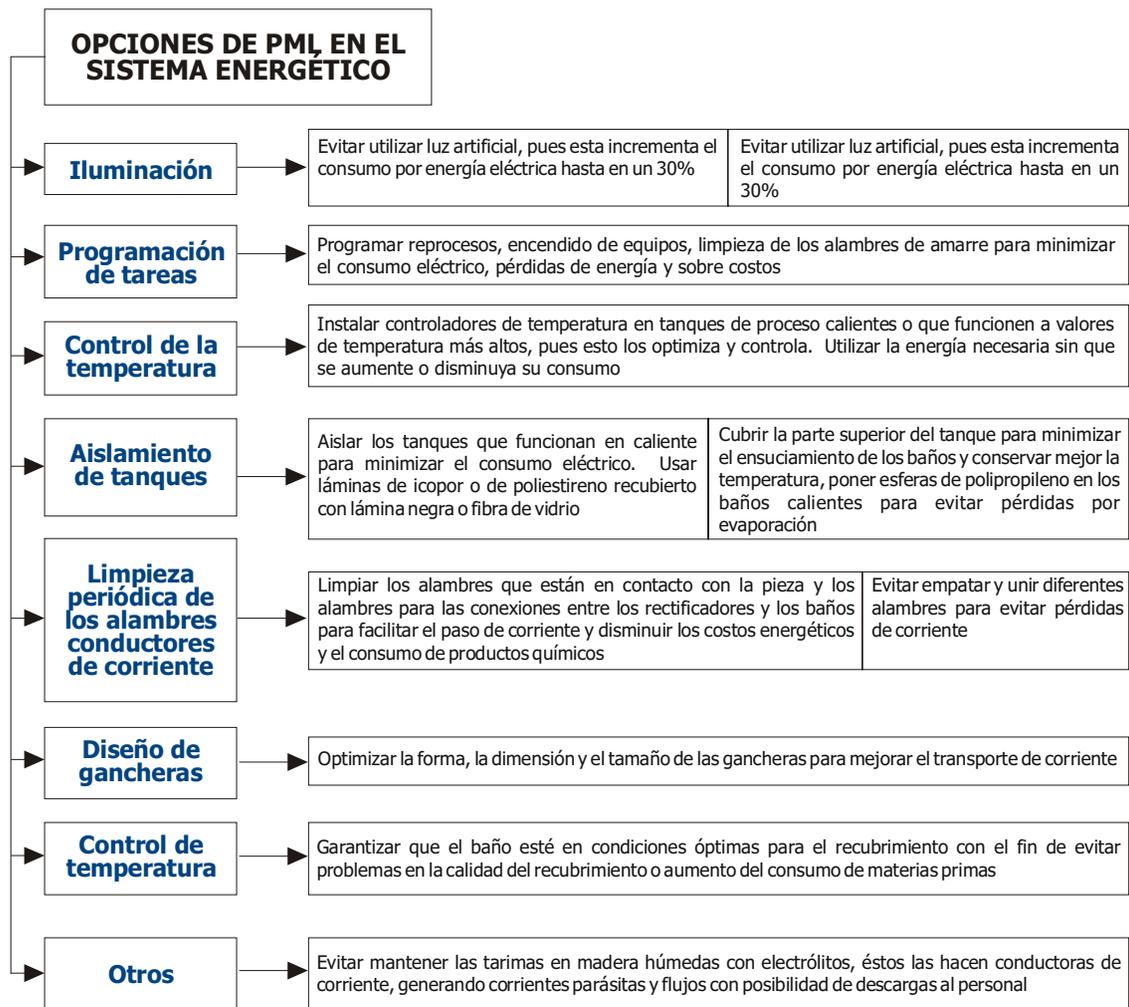


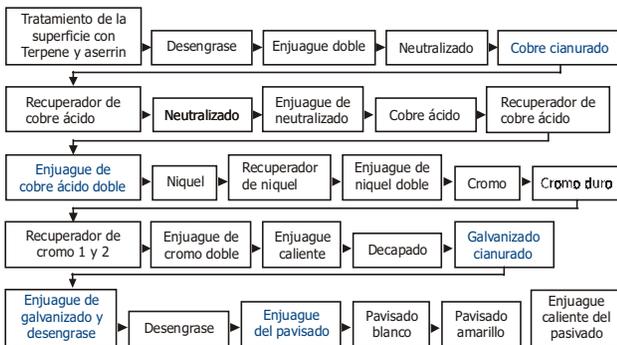
Figura 12 Opciones de PML para usar eficientemente la energía



6.6 Descripción de la implementación de un caso práctico específico

Industrias Gales, es una empresa dedicada a los recubrimientos electrolíticos, principalmente de Hierro y Zamak (aleación de Zinc, Magnesio y Hierro). Actualmente, la planta trabaja baños concentrados de Cobre ácido y cianurado, Níquel, Cromo duro y decorativo, Galvanizado cianurado, desengrase, decapado y neutralizante. Su producción es de 234 ton/año y antes de la implementación de las alternativas de PML, presentaba un consumo de agua de 6.56 m³/ton producto recubierto. La Figura 13 corresponde al diagrama de proceso de la empresa.

Figura 13 Diagrama del proceso

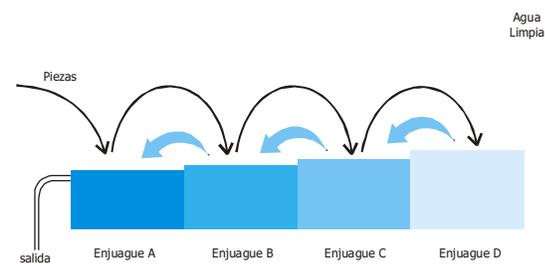


La metodología utilizada para la realización del diagnóstico consistió en el desarrollo de reuniones y visitas preliminares para identificar las inquietudes ambientales de la compañía, seguidas por visitas técnicas e identificación de las posibilidades de mejoramiento enfocadas en los aspectos técnicos, económicos y del desempeño ambiental de la empresa. Posterior a esto se realizó una capacitación para la implementación de las diferentes alternativas.

Dentro de las posibilidades de mejoramiento se identificó:

- Optimización de los tiempos de retirada y drenaje de las piezas.
- Chequeo de fugas en la planta.
- Reducción en la concentración de los baños.
- Instalación de tanques de recuperación.
- Implementación de sistemas de enjuague en contracorriente.

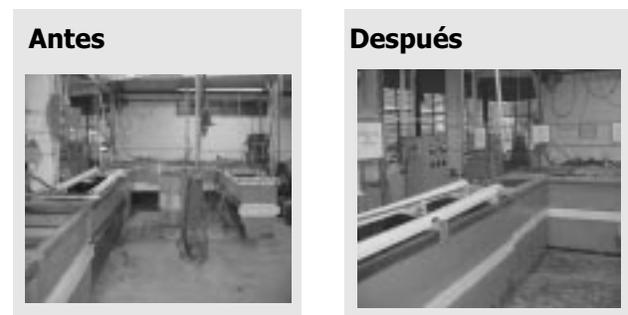
Figura 14 Esquema de enjuague a contracorriente



Fuente: "Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry", de Envirowise, Reino Unido

Luego de diez meses de la presentación de las alternativas de mejoramiento, la empresa logró ahorros en el consumo de agua, energía y productos químicos de hasta \$3 millones de pesos colombianos al año (US\$1.300), resultados que fueron más allá de las expectativas inicialmente planteadas.

Figura 15 Aspecto de la planta, antes y después de la implementación de las alternativas de optimización.



6.7 Casos prácticos y alternativas de PML identificadas en otros países.

En otros países, al igual que en Colombia, se han adelantado esfuerzos en torno a la implantación de los principios de Producción Más Limpia en el sector de los recubrimientos electrolíticos. Algunos de ellos son: Estados Unidos (“A guide to cleaner technologies and alternative metal finishes” – United States Environmental Protection Agency (EPA), 1994.), México (guía “Producción más limpia en el sector de galvanoplastia” del Centro Mexicano para la Producción más Limpia), el Reino Unido (“Minimising chemical and

water waste in the metal finishing industry”) y del Banco Mundial (“Pollution Prevention and Abatement Handbook – Electroplating”).

Las figuras 15, 16, 17 y 18 esquematizan algunas de las alternativas desarrolladas por estas entidades que igualmente pueden ser aplicadas. Estas alternativas van tal vez un poco más allá de las planteadas por el estudio desarrollado por la UPB y Colciencias y plantean opciones más enfocadas a cambios en los procesos y al manejo adecuado de los procedimientos.

Figura 16 Cambios en los procesos

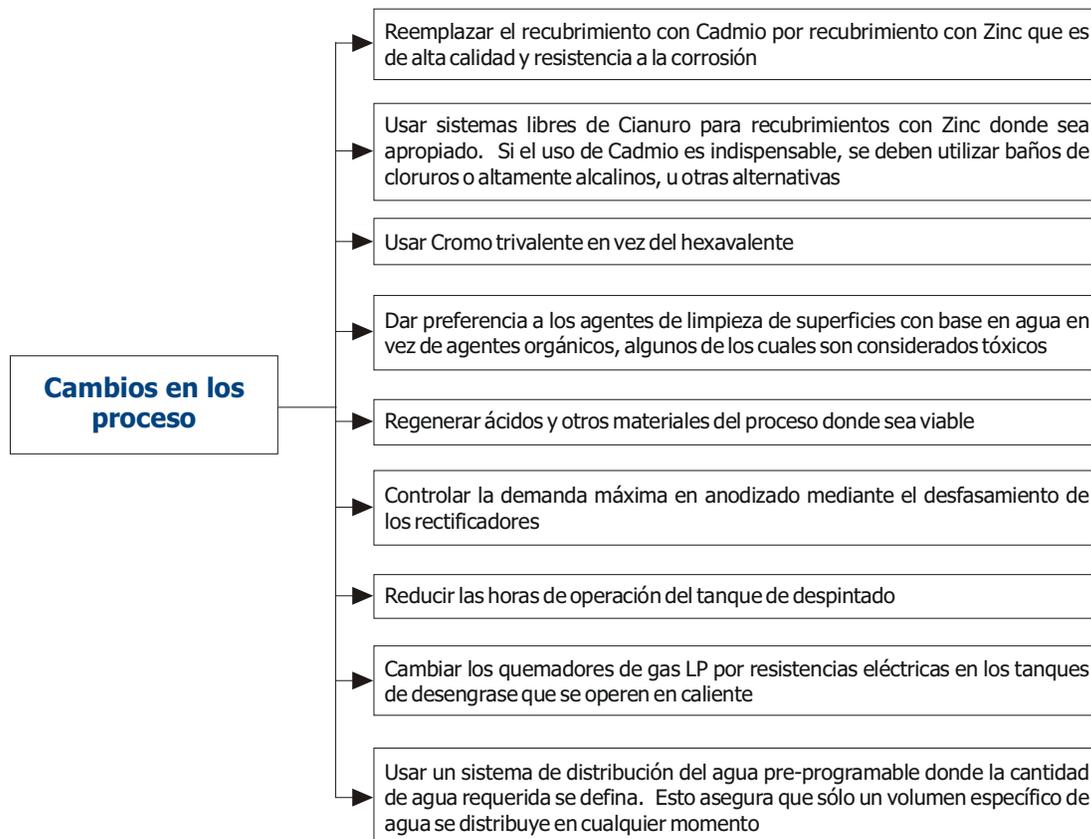


Figura 16 Cambios en los procesos

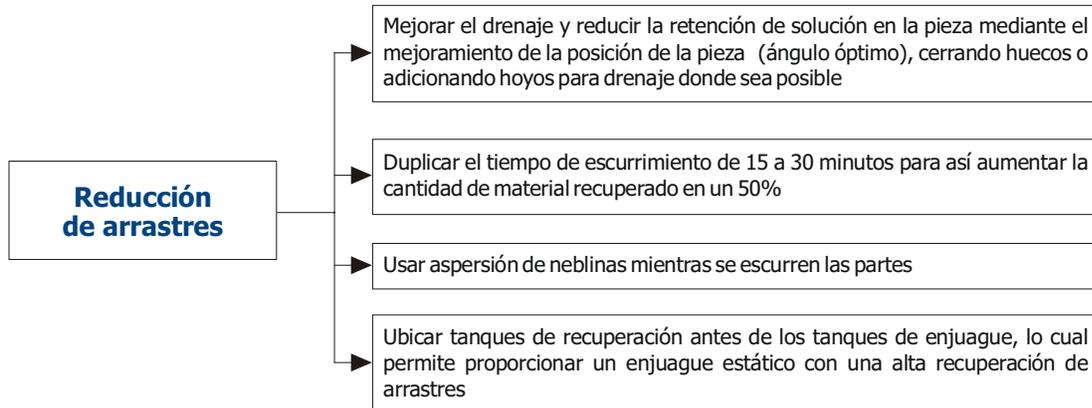


Figura 18 Manejo de soluciones

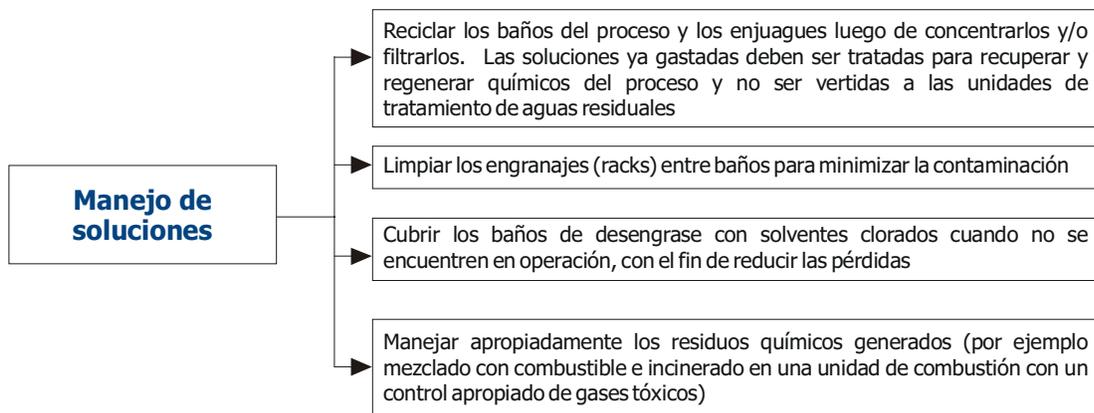
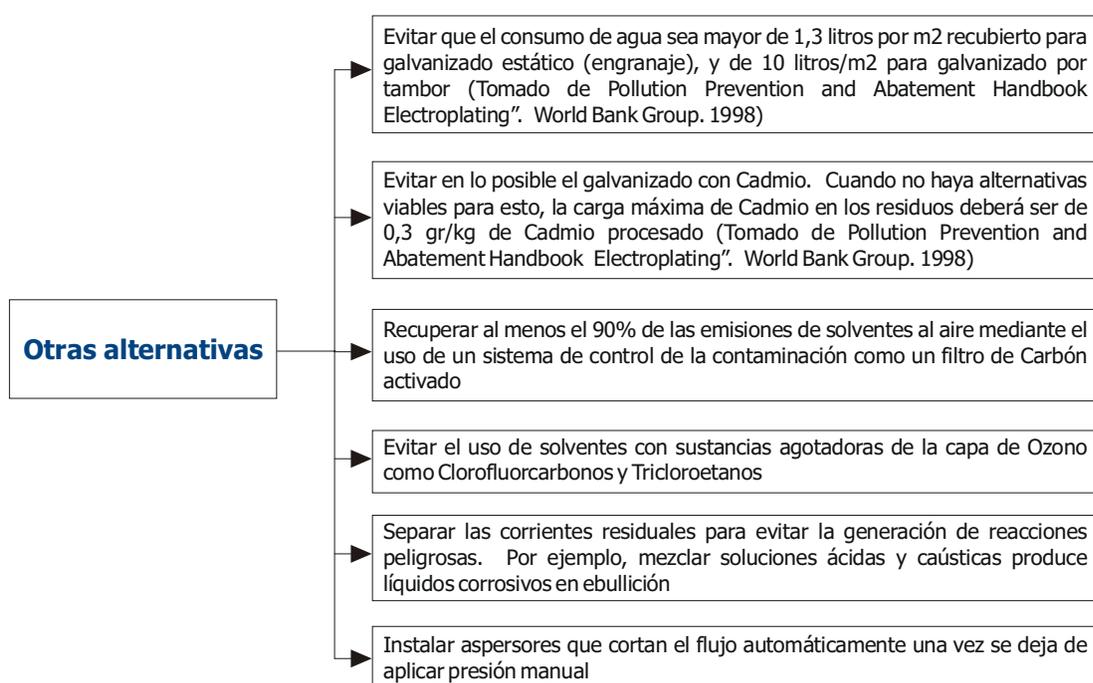


Figura 19 Otras alternativas



7 FUENTES CONSULTADAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Implementación de producción más limpia en el sector de la industria de recubrimiento metálico. 1999.

CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. Producción más limpia en el sector de galvanoplastia. México D.F. 1997.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS – ENVIROMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. Minimising chemical and water waste in the metal finishing industry. Marzo 1999. En línea: www.envirowise.gov.uk

RUDY, Stephen F. ENJAUGUE: MÁS ES MEJOR... MENOS ES MEJOR. En Finisher's Think Tank en Español. Julio 2000.

UNIDAD DE ASISTENCIA TÉCNICA AMBIENTAL PARA LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA - ACERCAR. Galvanotecnia, Planes de acción para mejoramiento ambiental – Manual para empresarios de la PYME. Santafe de Bogotá.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Profile of the fabricated metal products industry. September 1995. En línea: es.epa.gov/oeca/sector/sectornote/pdf/fabmetsn.pdf

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A guide to cleaner technologies and alternative metal finishes. En línea: es.epa.gov/oeca/fedfac/fflexp2/alt-metl.html

WORLD BANK GROUP. Pollution Prevention and Abatement Handbook. July 1998. En línea: [wbIn0018.worldbank.org/sed/sed.nsf/GlobalView/PPAH/\\$File/58_elpla.pdf](http://wbIn0018.worldbank.org/sed/sed.nsf/GlobalView/PPAH/$File/58_elpla.pdf)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. En línea: www.astm.org

