

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE COBRIZADO  
ESTANDARIZADO

CARLOS ANDRES ANDRADE BARRIOS  
ROMIR EDUARDO SANDOVAL CAMPIZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Marzo de 2004

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE COBRIZADO  
ESTANDARIZADO

CARLOS ANDRES ANDRADE BARRIOS  
ROMIR EDUARDO SANDOVAL CAMPIZ

Monografía para optar al título  
de Ingeniero Mecánico

Director  
BENJAMÍN ARANGO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
Marzo de 2004

Cartagena de indias, Marzo 30 del 2004

Señores:

**COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO**  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
La ciudad

Apreciados señores:

Atentamente hago entrega para su estudio y evaluación el trabajo de investigación titulado “**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE COBRIZADO ESTANDARIZADO**”, como requisito parcial para optar por el título de INGENIERO MECÁNICO.

Esperando que cumpla con las normas y requisitos exigidos por la facultad.

Atentamente,

---

CARLOS A. ANDRADE  
c.c. 73.211.659

---

ROMIR E. SANDOVAL  
c.c. 73.185.434

Cartagena de indias, Marzo 30 del 2004

Señores:

**COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO**  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
La ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que he aceptado ser el director del trabajo de investigación titulado “**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE COBRIZADO ESTANDARIZADO**”, que será presentado por los estudiantes **CARLOS ANDRES ANDRADE BARRIOS** y **ROMIR EDUARDO SANDOVAL**, como requisito parcial para optar por el título de INGENIERO MECÁNICO.

Esperando que cumpla con las normas y requisitos exigidos por la facultad.

Atentamente,

---

BENJAMÍN ARANGO  
Ing. Metalúrgico  
Director

## RESUMEN

La galvanoplastia, actividad que se ocupa en el recubrimiento metálico sobre objetos, es una de las alternativas para proteger los materiales de ingeniería contra la corrosión, más específicamente el proceso de recubrimiento electrolítico de cobre. En nuestra monografía se explica el recubrimiento de cobre, mas exactamente el baño de cobre a base de cianuro de cobre, como alternativa para proteger los objetos de la corrosión.

Para iniciar nuestra investigación se explica la electrolisis con todo lo que implica este proceso. Luego, se enumeran los componentes generales que se requieren en el proceso de electrodeposición, un capítulo que incluye todos los elementos básicos disponibles para montar un taller de galvanoplastia.

Ya en el cuerpo de la investigación nos centramos en el baño de cobre a base de cianuro se cobre estandarizado. Se explica los procedimientos, preparación del objeto a recubrir, calculo de cantidad de ánodos, calculo de cantidad de corriente, cuidados, etc., puntos que son esenciales a la hora de hacer la electrodeposición de cobre. Finalmente se considera los aspectos ambientales para evitar la contaminación de aguas, de suelos y de la atmósfera con los elementos químicos que se emplean en galvanoplastia y sus posibles tratamientos.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PROCESO DE ELECTRÓLISIS.....	6
2. COMPONENTES DE UN EQUIPO DE GALVANOPLASTIA.....	10
2.1 Fuentes de corriente.....	12
2.2 Cableado.....	14
2.3 Tanque o Piscina.....	15
2.4 Fuentes de calor.....	16
2.5 Ánodos.....	17
2.6 Objeto base o matriz.....	20
2.7 Agitación.....	21
2.8 Filtración.....	22
2.9 Lavado.....	23
2.10 Ventilación.....	24
3. PREPARACIÓN DEL OBJETO.....	25
3.1 Protección de las partes no recubiertas.....	26
3.2 Preparación general para recubrir.....	27
3.3 Pulido.....	28
3.4 Desengrase.....	29
3.5 Desoxidado o decapado.....	31

3.6 Electroremovido.....	32
3.7 Objetos no metálicos.....	33
3.8 Conexión al cátodo.....	33
4. ELECTRODEPOSICION DE COBRE.....	35
4.1 Baños de cobre a base de cianuro potásico.....	36
4.2 Baños de cianuro de cobre de alto rendimiento para cobrear.....	40
4.3 Baños ácidos de cobre .....	43
5. BAÑO ALCALINO DE CIANURO DE COBRE.....	49
5.1. Operación de baño.....	50
5.2. Modificaciones al baño de cianuro de cobre.....	53
5.3. Problemas en el baño de cobre a base de cianuro .....	53
5.4. Eliminación de recubrimientos de cobre.....	56
6. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES.....	58
6.1. Fuentes y caracterización de los residuos líquidos.....	58
6.2 Fuentes y caracterización de los residuos sólidos.....	61
6.3 Fuentes y caracterización de emisiones atmosféricas.....	61
6.4 Principales impactos ambientales generados por el sector.....	62
6.4.1. Contaminación atmosférica.....	64
6.4.2, Contaminación del agua.....	65
6.4.3. Contaminación del suelo.....	68
6.5 Reducción en origen.....	69
6.5.1 Buenas prácticas.....	69

6.5.2. Mejoramiento de Procesos.....	72
6.5.3. Reciclaje.....	80
6.6. Implementación de sistemas de gestión ambiental.....	81
7. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END OF PIPE).....	83
7.1. Control de Residuos Industriales Líquidos.....	83
7.1.1. Tecnologías Convencionales.....	84
7.1.2 Tecnologías Emergentes.....	85
7.2. Control de Contaminación Atmosférica.....	93
7.3. Control de Residuos Industriales Sólidos.....	94
8. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	95
8.1. Aplicabilidad de Plan de Manejo de Residuos Peligrosos.....	95
8.2. Concepto de Residuo Peligroso.....	96
8.3. Procedimiento de Determinación de Residuos Peligrosos.....	97
8.4. Aplicación Al Rubro.....	97
8.5. Componentes del Plan de Manejo.....	98
8.6. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.....	99
9. CONCLUSIONES.....	103
10. RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Densidad de fluido eléctrico necesaria en los baños galvánicos.....	14
Tabla 2. Caracterización de Residuos Líquidos en una Empresa de Galvanoplastía.....	60
Tabla 3. Residuos de Galvanoplastía.....	64
Tabla 4. Efectos de los contaminantes sobre la salud.....	66
Tabla 5. Efectos de los Contaminantes sobre Instalaciones del Sistema de Recolección de Aguas Servidas (Alcantarillado).....	67
Tabla 6. Efectos de los Contaminantes sobre Aguas Superficiales.....	68
Tabla 7. Componentes de un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos.....	98

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de los componentes básicos de un proceso de cobrizado.....	6
Figura 2. Aplicabilidad de PMRP.....	96

## INTRODUCCIÓN

El proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base generalmente metálica se conoce como galvanoplastia. La galvanoplastia es una técnica muy importante en la industria del terminado del metal. Se hace tanto en las grandes industrias como en los pequeños talleres, pues los procesos fundamentales de la industria se adaptan a la pequeña escala de un taller artesanal. Para montar un taller pequeño de galvanizado se necesita poco capital. Con una pequeña inversión en productos químicos y una fuente de energía eléctrica directa se puede comenzar. Sin embargo, lo más importante no es la inversión, sino seguir y respetar las reglas de seguridad en el manejo de la mezcla de productos químicos que son peligrosos.

En este proceso se usa una corriente eléctrica para mover pequeñas partículas o moléculas de metal con una carga eléctrica positiva, llamadas iones, a través de una solución química, para depositarlas en un objeto que tiene carga eléctrica negativa. El recubrimiento se logra colocando, dentro de un baño de sustancias químicas, una placa de metal con la que se requiere recubrir y el objeto que va ser recubierto. El objeto que se quiere recubrir se conecta con un alambre al polo negativo de una fuente de corriente directa, como la de una batería, mientras que el metal con que se quiere recubrir se fija al polo positivo de la misma fuente.

Al pasar la corriente a través de una solución química, los iones salen de la placa del metal, corren hacia el objeto y se depositan en su superficie. Los iones corren del polo de corriente positivo, llamado ánodo, al polo de corriente negativo, llamado cátodo, a través de una solución química llamada electrolito. El ánodo con corriente positiva, es la fuente de donde salen los iones de metal para depositarse en el cátodo. Sin embargo, en ciertas ocasiones, es el mismo electrolito o baño químico, que tiene las sales del cobre con el cual vamos a cobrear, y es quién aporta los iones. En dicho caso, algunas de las sustancias químicas del baño deben ser renovadas de tiempo en tiempo, ya que mientras ocurre el proceso se van disminuyendo en cantidad. Mientras más tiempo pasa el objeto dentro del baño, con los iones o la corriente pasando del ánodo al cátodo, más gruesa será la capa de metal que se forma en el objeto.

Para asegurar una cohesión estrecha entre el objeto a ser recubierto y el material recubridor, hay que limpiar el objeto a fondo, ya sea sumergiéndolo en una disolución ácida o cáustica, o bien utilizándolo como ánodo en un baño limpiador durante un instante. Para eliminar irregularidades en las depresiones de la placa y asegurar que la textura de su superficie es de buena calidad y propicia para el refinado, hay que controlar cuidadosamente la densidad de la intensidad de corriente (amperios por metro cuadrado de superficie de cátodo) y la temperatura. Con frecuencia se añaden al baño ciertos coloides o compuestos especiales para mejorar la uniformidad de la superficie de la placa.

Los objetos se recubren para evitar la corrosión, para obtener una superficie dura o un acabado atractivo, para purificar metales (como en la refinación electrolítica del cobre), para separar metales, para el análisis cuantitativo o como es el caso de la electrotipia, para reproducir un molde. Los metales que se utilizan normalmente en galvanotecnia son: cadmio, cromo, cobre, oro, níquel, plata y estaño. Las cuberterías plateadas, los accesorios cromados de automóvil y los recipientes de comida estañados son productos típicos de galvanotecnia. Dentro de las modificaciones efectuadas a la superficie de las piezas es posible mencionar:

- Mejoramiento de aspecto
- Aumento de la resistencia a la corrosión
- Aumento de la resistencia a procesos de manchado
- Aumento de la resistencia al ataque de sustancias químicas
- Aumento de la resistencia al desgaste, a la fricción
- Otorgar mayor dureza

Los productos mayoritariamente tratados con procedimientos de recubrimiento de superficies corresponden a: piezas de maquinarias industriales en general y de transporte, electrodomésticos, grifería, adornos, joyería, muebles, etc. Según lo anterior, el mercado que atiende el sector de Galvanoplastia se encuentra principalmente en:

- Industria automotriz
- Industria de electrodomésticos
- Industria de grifería
- Industria sanitaria
- Industria de muebles
- Industria de artículos eléctricos/electrónicos
- Industria de la construcción

En la presente monografía estaremos aplicando este proceso para el caso en el que un objeto metálico es galvanizado (en nuestro caso cobrizado) para protegerlo de la corrosión. Además de proteger al objeto base de la corrosión, el cobrizado sirve de base para electrodepositar otro baño de metal que directamente no se pudiera aplicar en el objeto base.

Para abarcar este proceso de cobrizado (o cobreado) primero se introducirá con los componentes que comprende el proceso. En este primer punto se profundizará en el equipo eléctrico, las conexiones, los tanques, componentes del electrolito, ánodos, objeto base, entre otros. Luego se analizará el tratamiento previo que se debe realizar a los metales antes de aplicarles el recubrimiento de cobre. En esta sección se mostraran varias formas de tratar los metales, tales como el choreado de arena, decapado, pulido, desengrase, conexiones, etc.

Luego se entrará en explicación del proceso de cobrizado; se mostraran los diferentes baños aplicables y se determinaran los parámetros de diseño del prototipo de cobrizado estándar. También se darán parámetros para inspeccionar el correcto proceso de cobrizado y los diferentes correctivos que se deben tomar, al igual que se expondrá como se puede eliminar, si en determinado momento es necesario, el recubrimiento de cobre.

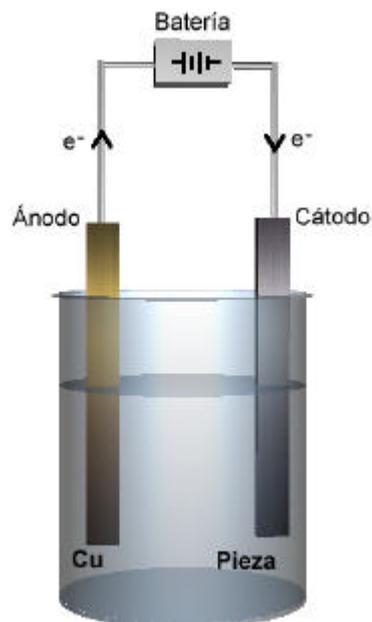
Posteriormente también se considerará algunos mejoramientos que se pueden aplicar al proceso de cobrizado para garantizar la calidad del acabado y para proteger el medio ambiente de la contaminación que se genera al cobrear. También se expondrá el mantenimiento que requiere el proceso.

Por ultimo, se presentará el prototipo de un sistema de cobrizado estandarizado a base de cianuro de cobre. Se especificaran los componentes, cantidad de productos químicos que compondrá el electrolito de la práctica, los procedimientos y cuidados en el proceso.

## 1. PROCESO DE ELECTRÓLISIS

La electrólisis es un proceso donde la energía eléctrica cambiará a energía química. El proceso sucede en un electrolito, una solución acuosa o sales disueltas que den la posibilidad a los iones ser transferidas entre dos electrodos. El electrolito es la conexión entre los dos electrodos que también están conectados con una corriente directa. Esta unidad se llama célula de electrolisis y se muestra en la figura 1.

Figura 1. Esquema de los componentes básicos de un proceso de cobrizado.



El proceso electrolítico consiste en lo siguiente. Se disuelve una sustancia en un determinado disolvente, con el fin de que los iones que constituyen dicha sustancia estén presentes en la disolución. Posteriormente se aplica una corriente eléctrica a un par de electrodos conductores colocados en la disolución. El electrodo cargado negativamente se conoce como cátodo, y el cargado positivamente como ánodo. Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o cationes, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos, o aniones, se desplazan hacia el ánodo. La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos, proviene de una fuente de poder eléctrica que mantiene la diferencia de potencial en los electrodos.

En los electrodos, los electrones son absorbidos o emitidos por los iones, formando concentraciones de los elementos o compuestos deseados. Por ejemplo, en la electrólisis del agua, se forma hidrógeno en el cátodo, y oxígeno en el ánodo. Esto fue descubierto en 1820 por el físico y químico inglés Michael Faraday.

La electrólisis no depende del calor, aunque éste puede ser producido en un proceso electrolítico. Por lo tanto, la electrólisis no está sujeta a los límites termodinámicos de eficiencia, por lo que en un proceso electrolítico, ésta puede ser cercana al 100%.

Para controlar las reacciones en la célula se puede elegir entre diversos materiales para el electrodo. Así como se puede utilizar varios electrólitos para las reacciones y los efectos especiales. El electrolito contiene los iones, que conducen la corriente.

Por ejemplo, si se desea galvanizar, como cátodo se utiliza un pedazo de metal. Los iones del metal del ánodo migran al cátodo y se convierten en una capa delgada en la superficie de la pieza que necesita ser galvanizada.

Para producir cobre muy puro se tiene que elegir un ánodo de cobre contaminado, que será limpiado por electrólisis. El cobre se consigue como iones de  $\text{Cu}^{2+}$  en la solución y precipita en el cátodo como capa de cobre más pura que antes. La contaminación del ánodo no reaccionará con el cobre. Los metales con un carácter más noble que el cobre no reaccionarán. Los metales con un potencial estándar más o menos igual que el cobre también sufren electrólisis y migran al cátodo.

Generalmente metales positivos son metales nobles en contra de los metales negativos. A excepción de algunos elementos se puede predecir con el potencial estándar qué ocurre en la corteza terrestre. Los metales nobles están generalmente en un estado de metal puro mientras que los metales no nobles se encuentran normalmente como compuesto.

Siguiendo con el pensamiento de arriba la posibilidad de oxidar y también de reducir es función del potencial estándar. De esta forma los fuertes oxidantes (que serán reducidos) tienen un potencial estándar negativo y los fuertes agentes reductores tienen un alto potencial estándar positivo.

Los procesos de electrolisis son difíciles de controlar. El proceso galvánico de la corrosión es normalmente una reacción indeseada, que causa daños en tuberías, marcos y en muchas otras cosas de metal. El proceso es convertir la técnica de electrólisis que apunta las diferencias potenciales de diversos metales usados. Para reducir el daño se puede utilizar por ejemplo otro ánodo, que será oxidado más fácilmente que el material. También se puede utilizar una Unidad de eliminación de iones.

## **2. COMPONENTES DE UN EQUIPO DE GALVANOPLASTIA**

En toda industria relacionada con la transformación de metales, los equipos galvánicos representan factores económicos dignos de consideración. Entre esos factores se encuentra, en primer lugar, el volumen de producción y las características del proceso a utilizar para galvanizar.

También desempeña un factor importante el tamaño de las piezas a recubrir, así como su aspecto en estado bruto.

Otro factor que también es de considerar sería la composición del metal que va a ser tratado, las condiciones exigidas a las electrodeposiciones metálicas y las precipitaciones de óxidos, la limitación de la capacidad adquisitiva, entre otros.

Sin embargo, generalmente en este proceso de cobrizado intervienen simples componentes cuando el proceso se realiza en pequeña escala.

Se necesita una fuente o batería o mejor aun, un pequeño rectificador que transforme la corriente alterna del taller en corriente directa. El polo de la corriente directa se conecta a un cable, el cual se conecta a un par de barras conductoras mediante unos caimanes. De esas barras con corriente positiva colgaran los

ánodos de cobre. Otro cable se conecta al polo negativo de la fuente de corriente la cual se conectara en su otro extremo de una tercera barra conductora de donde colgará el objeto que se va a recubrir con cobre. Tanto el metal como el objeto se colocan en un recipiente con agua y los productos químicos. Ya instalado el sistema se hace pasar corriente. Entonces, el metal se comienza a depositar, molécula por molécula, sobre la superficie del objeto, hasta que lo cubre completamente.

Por tanto, en una síntesis, los componentes importantes que intervienen en el proceso de cobrizado son:

- Fuente de corriente variable.
- Multímetros.
- Caimanes
- Cables
- Ánodos
- Termómetro
- Medios electrolíticos (Ácidos)
- Recipientes (tanques)
- Electrodo

Los Multímetros serán indispensables a la hora de graduar el voltaje y la corriente que requieran para el proceso. El termómetro, de igual manera, será indispensable para medir la temperatura del electrolito y del proceso en general en el caso que se esté usando un calentador para elevar la temperatura y, por consiguiente, se disminuya el tiempo requerido para el proceso.

A continuación describiremos los diferentes componentes que hacen parte del proceso de galvanoplastia.

## **2.1 Fuentes de corriente**

Se necesita una fuente de corriente eléctrica directa de poca fuerza o bajo voltaje, es decir, que produzca 6V para galvanizado en general, hasta 12V para el cromado o hasta 16V inclusive, si es que se desea recubrir aluminio. En cambio, se requiere de un amperaje o cantidad de corriente relativamente alto: cuanto menos 10 amperes, preferiblemente 50 a 100 amperes.

Al galvanizar, el control de la cantidad de corriente es crítico, por tanto, además de la fuente de corriente se necesita un aparato que regule la cantidad de corriente o amperaje que pasa. Ese aparato se llama reóstato. Para que el reóstato regule precisamente la cantidad o amperaje de corriente que se necesita, es importante un aparato que la mida. Ese aparato se llama amperímetro.

Si va a galvanizar de manera constante es mejor invertir en un aparato rectificador que se conecta a la corriente alterna normal de 110V de la casa o el taller. Una corriente de 110V es una fuerza excesiva e inútil para galvanizar. Por tanto, lo que se hace es pasarla por un transformador que baja su fuerza y la convierte en una corriente de 1 a 12V. Luego, mediante un rectificador, la corriente ya baja se transforma de alterna a directa.

Hay rectificadores completos específicos para galvanizado de diversos tamaños, que producen 6 a 12V y 10, 25, 50, 100, 200, 300 o más amperes. Estas unidades ya vienen con voltímetro, amperímetro y reóstato.

La corriente directa que sale de la terminal positiva de la pila, se lleva hacia el baño por medio de un alambre de cobre que se acopla a una barra conectora que cuelga del tanque. La corriente directa se regresa a la terminal negativa de la pila o rectificador, por medio de otro alambre de cobre que sale de otra barra conectora que cuelga del tanque.

En la tabla 1 se muestra la densidad aproximada de fluido eléctrico necesaria en algunos baños galvánicos.

Tabla 1. Densidad de fluido eléctrico necesaria en los baños galvánicos.

BAÑO GALVÁNICO	(APROX.)
Niquelado de hierro y latón con baño en reposo	0.5 a 5 A/dm <sup>2</sup>
Niquelado de hierro y latón con baño en agitación	5 A/dm <sup>2</sup>
Cobrizado de todos los metales con baño en reposo	0.4 a 5 A/dm <sup>2</sup>
Estañado de todos los metales en reposo	0.5 a 2.5 A/dm <sup>2</sup>
Plateado de todos los metales con baño en reposo	0.3 A/dm <sup>2</sup>
Plateado de todos los metales con baño en agitación	1 a 2 A/dm <sup>2</sup>
Dorado de todos los metales con baño en reposo	0.15 A/dm <sup>2</sup>
Precipitados de bronce sobre los metales con baño en reposo	1 a 2 A/dm <sup>2</sup>
Precipitados de cromo sobre los metales con baño en reposo	5 a 60 A/dm <sup>2</sup>

## 2.2 Cableado

Desde la barra conectora otros alambres de cobre sostienen y suspenden el ánodo de metal con el que se va a cobrizar y sostienen también el objeto o cátodo que se va a cobrizar. Las barras colectoras son varillas de cobre rígido con un diámetro entre 6 y 12 mm, suficientemente largas para poder suspenderse a todo lo largo del tanque. Las barras conectoras se sostienen sobre el tanque mediante una parrilla de madera que las mantienen separadas del tanque por lo menos 8 cm.

El arreglo típico de un tanque para galvanizar es con tres barras conectoras, dos a los lados, las cuales van conectadas a la terminal positiva y sirven para sostener los ánodos de metal. Y una barra central conectada a la terminal negativa, de la que se suspende el objeto a cobrizar, el cual funciona como cátodo. De las barras conectadas a la terminal positiva generalmente cuelgan cuatro láminas de metal que sirven como ánodos. Esos ánodos se cuelgan de la barra y se meten en el electrolito, sostenida por un alambre de cobre de calibre 18 o 20. El alambre de cobre se conecta a la lamina a través de un hoyo que se hace en la parte de arriba del metal. El objeto a cobrizar también se suspende dentro del electrolito mediante un alambre de cobre que se cuelga a la barra catódica. La conexión del alambre de cobre al objeto es un poco más difícil. Unas veces, el objeto que se va a cobrizar va soldado al alambre de cobre del que cuelga. Otras veces, el objeto va simplemente colgado del alambre como en este caso, o bien, sostenido dentro de una pequeña parrilla o canasta hecha con alambre de cobre. El alambre del que se sostiene y cuelga la pieza que se cobreará generalmente se fija en aquellas partes de la pieza donde los pequeños defectos del cobrizado no se notaran.

### **2.3 Tanque o Piscina**

La piscina o tanque para galvanizar puede ser casi cualquier recipiente que no sea metálico, con excepción del acero inoxidable. El tamaño del recipiente depende del tamaño de las piezas que se quieran cobrizar y de la cantidad de trabajo que se quiera realizar. Las piezas grandes necesitan recipientes grandes para poder

sumergirlas totalmente en electrolito. En cambio las piezas pequeñas se pueden trabajar en recipientes pequeños, particularmente si el baño es de metales caros, como el oro y la plata porque entonces se ahorra muchos gastos en materiales.

Al escoger el tanque para galvanizar se debe tener en cuenta que muchos de los baños trabajan mejor calientes, a temperaturas elevadas. Por eso, las ollas de peltre funcionan muy bien porque resisten las sustancias químicas, a la vez que pueden calentarse muy bien con llama directa. También suelen ser muy útiles los recipientes de vidrio pirex por su resistencia al calor. Otra opción puede ser usar recipientes de plástico, pero no en baños de altas temperaturas, porque se reblandecen y se deforman, y jamás pueden ponerse directamente al fuego. A pesar de esto, una ventaja de los recipientes de plástico es su bajo precio, comparado con los precios de los recipientes de otros metales.

## **2.4 Fuentes de calor**

Muchas de las soluciones químicas para el galvanizado trabajan óptimamente arriba de la temperatura ambiente. Es decir, que conviene calentar el baño químico. Sin embargo, no es indispensable calentarlo. Se puede galvanizar a temperatura ambiente, solo que el proceso resulta un poco más lento, pues el calor acelera y facilita el movimiento de los iones de metal desde el ánodo hasta el cátodo.

Los tanques de metal se colocan en una parrilla de gas o en una estufa eléctrica para proporcionar un calor directo. Los recipientes de vidrio refractario se colocan sobre parrillas, pero dentro de otro recipiente con agua, en lo que se llama como baño de maría.

Lo más común es usar calentadores eléctricos de inmersión. Es decir, un calentador que se mete directamente al electrolito. Los calentadores de inmersión deben ser especiales para galvanizar, pues deben tener protegido el elemento que calienta, para que no lo corroan las sustancias químicas del baño, y para que tampoco el material del calentador contamine el baño. Se utilizan recubiertos de acero inoxidable para los baños alcalinos, como los de cianuro, o cubiertos de titanio para los baños de níquel y los baños ácidos.

Para controlar la temperatura del baño se utiliza un termómetro de laboratorio, que puede ir dentro de la solución o suspendido en el electrolito mediante un corcho.

## **2.5 Ánodos**

Los ánodos, hechos siempre de metales que son buenos conductores eléctricos, se dividen en dos tipos: ánodos solubles y ánodos inertes. Al pasar una corriente por los ánodos solubles se produce una oxidación y se desprenden iones del metal del que están hechos. Esos iones se depositan después sobre el cátodo. En cambio, al pasar una corriente por los ánodos inertes se produce una oxidación,

pero no se desprenden iones, sino solamente gas oxígeno. Proporcionan corriente eléctrica, pero no iones metálicos para el galvanizado.

Los ánodos inertes están hechos de acero inoxidable. Cuando se usan estos ánodos inertes, todos los iones metálicos provienen de las sales del metal que hay en la solución de productos químicos de baño. Estos baños necesitan renovarse periódicamente, porque el metal de las soluciones se agota y hay que agregar más sustancias químicas. Los baños de ánodos inertes generalmente se usan cuando resulta muy costosa la inversión de los ánodos de metal puro, como es el caso del oro y la plata. Estos ánodos también se usan como ánodos y como cátodos en la electrolimpieza y en el electroremovido.

Por otro lado, los ánodos solubles deben ser de metal puro para que sean altamente eficientes. Se encuentran de cobre puro, níquel, plata, oro, latón, bronce y otras aleaciones. Si el metal no es puro se producen impurezas. Las impurezas contaminan el baño y afectan la calidad del acabado. Los ánodos más puros son los ánodos electrolíticos en placa obtenidas por Electrodeposición. Son también los ánodos de grano más fino. Generalmente se consiguen en espesores de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Las placas deben ser cortadas en tiras o barras más pequeñas.

La superficie del ánodo debe ser proporcional a la superficie del cátodo u objeto que se va a galvanizar. Si el objeto que se va a cubrir es pequeño, con una superficie chica, el ánodo debe ser pequeño. Para cada objeto que se va a

galvanizar hay que hacer algunos cálculos simples de la superficie que tiene y de la superficie del ánodo que necesita. Ese cálculo debe tomarse muy en serio. Las proporciones de la superficie del ánodo en relación con la superficie del cátodo se indican al hablar de cada uno de los baños de galvanizado. Por dar un ejemplo, para recubrir con cobre, la relación de la superficie del ánodo a la superficie del cátodo u objeto base es de 2 a 1.

Es muy importante que la eficiencia del ánodo sea igual a la eficiencia del cátodo, para que se mantenga una concentración de iones correcta. La cantidad de iones que se desprende del ánodo debe ser igual a la cantidad de iones que se depositan en el cátodo. Si los ánodos sueltan iones más aprisa de lo que el objeto los recoge, se dice que los ánodos tienen una eficiencia demasiado alta. Para nivelar la eficiencia se cambian algunos ánodos solubles por otros insolubles y se reduce así la eficiencia de los ánodos.

Los ánodos deben colocarse dentro del tanque, espaciados uniformemente alrededor del objeto que se va a galvanizar. Ésta distribución de los ánodos dentro del tanque es muy importante para que los iones de metal se depositen de manera uniforme sobre el objeto. Sin embargo, si se quiere galvanizar principalmente un solo lado del objeto, entonces, se debe poner mayor cantidad de ánodos en ese lado del tanque.

## **2.6 Objeto base o matriz**

La preparación inicial del objeto o matriz consiste en dos actividades básicas para el éxito del galvanizado: la limpieza y el alambrado.

La limpieza consiste básicamente en lavar, desengrasar y desoxidar el objeto que se va a galvanizar, de manera que la superficie prácticamente solo contenga moléculas del metal que está hecho.

El alambrado consiste en fijar el objeto a un alambre de cobre para que haga contacto con la barra conductora negativa. En vez de unirlo a un alambre, el objeto se puede meter suspendido en una canastilla de alambre.

El objeto que va a recubrirse puede ser metálico, no metálico o una mezcla de metal y no metal. Las matrices de metal son las más fáciles de recubrir. Pueden ser de hierro, acero, cobre, latón, bronce o zinc. Solamente hay que limpiarlas y sumergirlas en el baño electrolítico, cuidando que el baño sea compatible con el metal de que están hechas.

Los objetos que no son de metal son un poco más difíciles de recubrir porque antes se debe lograr que sean eléctricamente conductivas. Los objetos con estas características se vuelven electroconductivos limpiándolos e inmediatamente se pintan con una pintura electroconductiva.

En conclusión, un objeto que va a ser recubierto debe ser preparado adecuadamente, lo que implica 3 acciones a continuación descritas:

1. Lograr que las área que van a ser recubiertas sean eléctricamente conductivas, si es que el objeto no es metálico.
2. Proteger de la acción química aquellas zonas del objetos que no van a recubrirse.
3. asegurarse que las superficies que van a recubrirse queden absolutamente limpias.

## **2.7 Agitación**

Al igual que el calor, el movimiento o agitación de las sustancias químicas del baño hace que el metal se deposite más a prisa en el objeto que se desea galvanizar. El movimiento del líquido del baño se logra de muy diversas maneras. Una de ellas es echando un poco de aire en el fondo del tanque, utilizando un tubo de plástico y un compresor de baja presión, semejante a los que se usan en las peceras.

Otra manera de agitar el baño es con un pequeño motor suspendido sobre el tanque, que haga girar una hélice o propela metida en la solución. La propela debe girar despacio, a unas 500 revoluciones por minuto y en lo posible no debe ser metálica. También se puede hacer que el líquido circule con una bomba. Una

precaución que se debe tener en cuenta al momento de agitar la solución es el de no mover el agua demasiado, porque entonces puede suceder que se favorezca la granulación de la capa de metal que se deposita en la pieza que se cobrizando.

## **2.8 Filtración**

En talleres pequeños donde se recubren piezas de no gran tamaño no se necesita estar filtrando constantemente los electrolitos, pero sí es necesario quitarles periódicamente algunas impurezas. Algunas partículas metálicas sueltas, lodos, aceite y polvo acumulado con el tiempo en el electrolito, pueden hacer que el metal no se adhiera uniformemente sobre el objeto que se cobriza. También puede ocurrir que por esa suciedad el cobrizado resulte opaco y granuloso. En estos casos se recurre al filtrado del electrolito.

Una manera de filtrar es pasando el electrolito del tanque en un embudo con un filtro de papel. En ves de papel se puede usar una bolsa de carbón activado. Otra manera de filtrado puede ser mediante un colador de plástico con un filtro de papel por donde se pasa el electrolito. Este proceso de filtración debe hacerse con precaución, ya que se están trabajando con sustancias químicas. De allí la utilización de guantes de goma, succionadores de aire, gafas y delantales especiales.

Una vez retirado las impurezas del electrolito con el procedimiento de filtración, se precede también a enjuagar el tanque. Una vez hecho esto, se procede a llenar el tanque con el electrolito.

## **2.9 Lavado**

Además del lavado final, los objetos que se cobrizan deben enjuagarse entre cada etapa del proceso. Los enjuagues intermedios pueden ser igual importantes que el lavado final, especialmente cuando después de un metal se aplica otro. Por ejemplo, un baño de cobre seguido de un baño de plata. Allí un buen lavado es indispensable.

Lo mejor es que después de cada baño de galvanizado haya una tina distinta, porque no se debe usar la misma agua para piezas que provienen de diferentes baños. Por ejemplo, un objeto que viene de un baño ácido de cobre, no se debe lavar jamás en el agua de enjuague de un baño de cobre a base de cianuro.

Los tanques de lavado deben tener agua corriente durante el lavado. Eso quiere decir que el agua debe ser constantemente cambiada para que el agua retire el electrolito y los residuos sólidos que probablemente estén adheridos al objeto.

## **2.10 Ventilación**

Lo mejor es que el taller de galvanización esté en un lugar techado, pero sin paredes, para que haya una ventilación permanente. Si se trabaja en un lugar cerrado, abra las ventanas y las puertas y tenga cerca del área de trabajo un extractor de aire o un ventilador que mueva o saque el aire.

Todas estas precauciones son indispensables porque de la mayoría de los baños de galvanizado salen pequeñas emanaciones de gases tóxicos. Si trabaja en un lugar cerrado sin ventilación constante, esas emanaciones son muy peligrosas. Si hay una buena ventilación no se correrá mayor riesgo.

### 3. PREPARACIÓN DEL OBJETO

A continuación se describirán los pasos necesarios que deben realizarse para lograr que el objeto a recubrir esté en óptimas condiciones para que una vez preparado, pueda llevarse a cabo con éxito el recubrimiento electrolítico. Además, se explicará como proteger las partes que no se desean recubrir, como tratar los objetos no metálicos y como conectar el objeto al cátodo, entre otros puntos. Los pasos para la preparación del objeto son:

1. Protección de las partes no recubiertas.
2. Preparación general para recubrir.
3. Pulido.
4. Desengrase.
5. Desoxidado o decapado.
6. Electroremovido.
7. Objetos no metálicos.
8. Conexión al cátodo.

### **3.1 Protección de las partes no recubiertas**

Las superficies que no van a ser recubiertas deben estar protegidas de los efectos de una exposición prolongada y directa a sustancias altamente cáusticas. La cera, la laca natural y la laca artificial son los materiales más usados para proteger las partes que no se requiere recubrir. Además de estos tres productos, las casas especializadas en galvanoplastia venden compuestos o barnices protectores especiales.

Un protector casero se puede hacer mezclando, en baño de maría, 4 partes de cera de abeja, 12 partes de parafina y 3 partes de resina. Esta combinación, todavía caliente, se aplica con una brocha en aquellas partes del objeto que no se desean recubrir.

Ya terminado el proceso de galvanizado, la cera protectora se quita con calor directo, con agua muy caliente o con un solvente como thinner. La laca natural se quita con alcohol de 96 grados y la laca sintética con el solvente que indique el fabricante.

Además de servir para evitar recubrimiento metálico de algunas partes del objeto, los protectores pueden usarse para otros propósitos como, por ejemplo, hacer una decoración. Las decoraciones pueden trazarse con un lápiz sobre el objeto. Una vez dibujado el motivo de la decoración se cubren con barniz protector aquellas

partes que no se desean recubrir, dejando descubierto el metal en las zonas que recibirán el recubrimiento metálico. Luego, se sumerge el objeto en la tina con el electrolito para el baño de cobre. Se aplica la corriente necesaria de acuerdo con las instrucciones del baño y la superficie del objeto. A los pocos segundos la decoración del objeto se comienza a recubrir. Se extrae el objeto del baño de cobre y se enjuaga perfectamente en una tina de lavado con agua corriente. A continuación, utilizando el solvente adecuado para el barniz protector, se limpian todas las partes protegidas. Con ello queda listo el objeto con su decoración.

Otro ejemplo en el que se protege el objeto es cuando ciertas partes de él ya tienen una capa suficiente de recubrimiento metálico. Estas partes se protegen, de manera que ya no reciban más metal, en tanto que otras partes del mismo objeto son cubiertas con una capa más gruesa de metal. Otro caso es cuando se protege una parte del objeto para después recubrirlo con un metal de otro color.

### **3.2 Preparación general para recubrir**

La parte esencial de todo el proceso de galvanizado es la preparación del objeto que se va a trabajar. Eso incluye eliminar las imperfecciones del objeto, ya que estas van a formar parte de la superficie final y en la mayoría de los casos no se van a disimular, sino al contrario, van a resultar exageradas. También hay que eliminar bien la grasa o aceites que pueda contener la superficie del objeto a recubrir, ya que en esas zonas el metal que se deposite no se adherirá bien y

resultará defectuosa desde el principio o, con el tiempo, se desprenderá el depósito de nuevo metal.

### **3.3 Pulido**

El pulido mecánico más bien forma parte de la elaboración misma del objeto, que de su preparación para el electroplateado.

Sin embargo, es frecuente que deba hacerse un pulido adicional, porque la superficie que va a ser plateada debe tener una superficie extremadamente igual a la superficie de la forma final.

El proceso de pulido puede incluir varias fases, como son el esmerilado, el lijado y el pulido. El esmerilado se usa para quitar rápidamente material sobrante. Por lo general se emplea para quitar rebordes que son resultados del proceso de fundido o soldado de piezas.

El lijado tiene el propósito de borrar la huella dejada por el esmeril y preparar la superficie para un terminado cada vez más terso. Para ello se comienza por lijar con una lija áspera y después con lijas cada vez más finas, hasta que la textura de la superficie es prácticamente la textura final que se requiere, pero sin el brillo final, el cual se logra con el pulido.

El pulido se hace con pastas abrasivas. Estas pastas vienen en diversos grados de abrasión, igual que las lijas. Se comienza por las más gruesas y se termina con las más finas. Estas pastas se aplican sobre unas mantas que se colocan en los ejes de una pulidora o de una esmeriladora, en vez de la piedra de esmeril. Es importante tener en cuenta que lo que pule es la pasta y que la manta es solamente el medio por el que se aplica y frota contra el objeto. Si se trabajan las mantas sin pasta o casi sin pasta, en lugar de pulir pueden rayar el objeto.

Además de pulir a pieza antes del baño de Electrodeposición, muchas veces es necesario pulirla al final, al salir del baño, ya lavada, para darle al metal el lustre correcto. Después de pulir y antes de meter al siguiente baño, la pieza debe desengrasarse y desoxidarse nuevamente. También es conveniente pulir entre un baño y otro para quitar la rugosidad u opacidad que pudiera tener el objeto al salir de un baño de metal.

### **3.4 Desengrase**

Esta etapa tiene por objeto eliminar los aceites, grasas y la cera de la pasta desde la superficie, a fin de que no interfieran en las etapas siguientes. La mayoría de los objetos deben ser lavados primero con un poco de detergente líquido y frotarlos con una esponja o cepillo suave. Luego, se enjuaga muy bien con agua corriente.

Otro método de desengrase es la utilización de soluciones alcalinas. Dependiendo del tipo de acabado se escoge soluciones leve o fuertemente alcalinas, estas últimas provocan un efecto decapante en la superficie. Cuando estas se utilizan normalmente no se aplica un decapado posterior y se dirige a la etapa siguiente de desoxidado.

Hay casos donde se utiliza desengrases ácidos y su aplicación depende del tipo de aceite o grasa que pudiera estar presente en la superficie del metal. Además, en otras ocasiones pueden ser utilizados procesos más avanzados de desengrase, tales como desengrase electrolítico o ultrasonido. Este proceso necesariamente debe ser seguido de un enjuague para remover la solución desengrasante de la superficie del metal y evitar contaminación de los baños siguientes.

Otra manera es desengrasar el objeto aplicando corriente, lo que se conoce como electrolimpieza. Para hacer la electrolimpieza se coloca el objeto como ánodo, en vez de como cátodo. Como cátodo se utilizan placas de acero inoxidable. El tanque se llena con una solución para desengrase y electrolimpieza comercial, y se prepara según las instrucciones del fabricante. Si se indica que la solución debe estar caliente, se calienta. El objeto se mete en la solución, se fija al conductor positivo y se le aplica una corriente de unos 6 voltios durante 30 segundos o el tiempo que indique el fabricante del desengrasante. Muchas veces

dan un rango de menos de un minuto hasta cuatro minutos, según las condiciones del objeto.

### **3.5 Desoxidado o decapado**

Después de la electrolimpieza el objeto debe ser introducido en un baño químico para quitar el óxido. Este baño químico se conoce como decapado o desoxidado de la superficie del metal.

El decapado, al igual que el desengrasado, es esencial para que el metal se pegue o se adhiera a la superficie del objeto. El decapado se hace en una solución de ácido disuelto en agua. El baño ácido neutraliza la película alcalina que deja el baño desengrasante, quita los residuos de óxido, muchas veces invisibles, y prepara la pieza para el baño de metal.

El baño más común es una solución de ácido sulfúrico al 10 por ciento. Es decir que en cada litro de agua se disuelven 100 mililitros de ácido sulfúrico. El ácido siempre debe agregarse al agua poco a poco, nunca de golpe, meneando, sin que salpique. Nunca agregue el agua al ácido porque saltará muy violentamente, con peligro de quemaduras.

Este baño sirve para decapar o desoxidar el hierro y el acero, el cobre, el latón, el bronce y la plata. Se hace con el líquido a temperatura ambiente. El tiempo que se

deja la pieza en el baño es variable, según la condición de la pieza; pero no debe ser más de unos minutos.

Después del baño químico para el decapado, el objeto debe ser lavado completamente en agua corriente y colocado en el baño de electroplateado inmediatamente, sin dejar que se seque

### **3.6 Electroremovido**

En ciertas ocasiones es conveniente limpiar el objeto un poco mas, para quitarle no solamente la grasa y el oxido, sino también quitarle un poco o totalmente un recubrimiento metálico anterior. Entonces, se hace el electroremovido, que actúa también como un desplateador y un limpiador todavía mucho mas profundo.

Al igual que en la electrolimpieza, en el electroremovido, el objeto se fija al ánodo y se introduce en una solución de cianuro, como la descrita a continuación, calentada si es posible a 70°C:

Cianuro de sodio: 117 gramos por litro de agua.

Carbonato de sodio: 168 gramos por litro de agua.

Fosfato de sodio tribásico: 84 gramos por litro de agua.

Soda cáustica: 28 gramos por litro de agua.

El tiempo que se demora la pieza en el baño no supera los dos minutos. Después del electroremovido debe enjuagarse el objeto completamente en agua corriente quedando listo para el proceso de cobrizado.

### **3.7 Objetos no metálicos**

Como se había indicado anteriormente, a los objetos no metálicos no se les puede adherir el metal aportado. En este caso el objeto que va a ser recubierto se debe con anterioridad cubrirse con pintura electroconductiva. Este paso es importante ya que la única forma en que el objeto puede aceptar el metal adicionado es que en su superficie halla un fluido eléctrico, lo que hace posible la pintura electroconductiva.

### **3.8 Conexión al cátodo**

Después de todos los procedimientos anteriores (pulido, desengrase, desoxidado, electroremovido, etc.) el objeto ya se encuentra preparado para el posterior baño de cobre. Sin embargo, ahora es importante que en la fase final de la preparación del objeto, este se conecte adecuadamente a la fuente de voltaje.

El objeto listo que se va a recubrir se conecta, con un alambre, al polo negativo de una fuente de corriente directa, como la de una batería. Por otro lado el ánodo de cobre se fija al polo positivo de la misma fuente de corriente. De esta forma, una

vez implementado el baño de cobre, el ánodo será la fuente de donde salen los iones de metal de cobre para depositarse en el cátodo u objeto. También el electrolito o baño químico (que se explicará en el siguiente capítulo) tiene sales del metal de cobre que sirven como fuentes de iones.

#### 4. ELECTRODEPOSICION DE COBRE

Los recubrimientos de cobre pueden producirse tanto con soluciones ácidas como con las de cianuro potásico.

En la industria que ennoblece los metales no se emplean solamente los baños de cobre con cianuro potásico, sino éstos conjuntamente con un baño de cobre ácido. El baño de cobre a base de cianuro ofrece la ventaja de poder cobrear con él cualquier metal, mientras que el baño ácido no puede aplicarse directamente al hierro y el acero. En este último caso suele hacerse un cobreado previo en baño de cianuro para efectuar, luego, el de acabado, en el baño ácido.

Para la consecución de un recubrimiento cúprico hay que tener en cuenta que partiendo de diferentes baños siempre se obtendrán estructuras metálicas distintas. Las electrodeposiciones de cobre más blandas se obtienen con baños compuestos de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, o sea con baños ácidos. Los recubrimientos por baños a base de cianuro son más o menos duros y frágiles, pues la dureza viene determinada por el contenido metálico y de cianuro, en especial cuando en el baño hay abrillantantes.

#### **4.1 Baños de cobre a base de cianuro potásico**

Los baños de cianuro potásico exigen para su preparación los siguientes constituyentes: cianuro cúprico o cianuro doble de cobre y potasio en combinación con cianuro potásico, lejía de sosa y casi siempre carbonato sódico. La mezcla de sales más simples es el trisalicilato de cobre, que contiene todas las sales metálicas conductoras necesarias.

Una solución de cobreado muy acreditada es:

100 L de agua

6,0 Kg. de cianuro doble de cobre y potasio

1,4 Kg. de sulfito ácido de sodio

0,8 Kg. de carbonato sódico cristalizado

0,65 Kg. de cianuro potásico

0,08 Kg. de hiposulfito sódico.

Si se parte de cianuro doble de cobre y potasio como sal metálica, las sales pueden disolverse simplemente una a continuación de otra, obteniéndose así el baño de cobre completo, que trabaja entre 2 y 4 Vol., según la temperatura de trabajo que se elija.

El proceso de trabajo en el cobreado es idéntico al de cualquier otro tipo de galvanostegia y presupone un perfecto desengrase. No es necesario neutralizar, dado que las piezas salen de un baño alcalino para entrar en otro del mismo carácter. Las dos soluciones, o sea el baño de desengrase y el de cobre, tiñen de azul el papel rojo de tornasol y acentúan el azul del tornasol azul. El material, después del desengrase, solamente se enjuagará cuidadosamente en agua, pasando en seguida al baño de cobre.

En ocasiones harto frecuentes los baños de cobre cambian de color y tanto más rápidamente cuanto con mayor descuido se trata el material. La decoloración consiste en un paso al verde, similarmente a lo que ocurre, como se ha explicado anteriormente, con el baño de desengrase. Al igual que allí, debe atribuirse a una falta de cianuro potásico, que tiene por consecuencia la formación de sal cúprica. Una pequeña adición de cianuro potásico disuelto en agua elimina inmediatamente la decoloración y con ello el defecto.

En todos los baños de cobreado con cianuro, junto con la separación de cobre existe también la de hidrógeno. Aparece con mayor o menor viveza según la densidad de corriente aplicada, la temperatura del baño, la composición del mismo y, en especial, el contenido en cianuro libre.

Resulta comprensible que la rápida permutación del cianuro potásico, hallándose en cualquiera de sus soluciones, lleve a la inestabilidad de las mismas, si se tiene

en cuenta que, a causa del anhídrido carbónico del aire, el cianuro potásico y también el cianuro con agua, por un lado se transforma en carbonato potásico y ácido prúsico, y por otro, en amoníaco y formiato potásico. Para el trabajo correcto de un baño de cobre es de vital importancia el exacto contenido en cianuro libre. Por ello es imprescindible el uso de cianuro potásico puro o cianuro sódico para preparar o corregir los baños de cobreado.

Si la composición del baño de cobre es correcta y el trabajo preparatorio ha sido bien efectuado, resulta suficiente aportar un grueso recubrimiento de cobre en una sola operación, realizando sin más consideraciones el secado y el bruñido. Las porosidades y los cuarteamientos son siempre resultado de un baño de composición defectuosa.

Para el cobreado es premisa necesaria que la superficie metálica esté limpia, pero esto no quiere decir que grandes series de material en estado basto, es decir, sin esmerilar, deben desengrasarse necesariamente si han sido lavadas con tricloretileno puro. Este material puede sumergirse en el baño de cianuro y ser cobreado durante una hora sin que el recubrimiento presente poros y se desconche.

Al trabajar durante el cobreado con grandes densidades de corriente, por lo general se forma una deposición esponjosa que de tanto en tanto debe rascarse

con un cepillo metálico; no es que sea deficiente, sólo que precisa el raspado, en especial cuando ha de ser de gran espesor.

Se consigue acelerar la formación del recubrimiento aumentando la temperatura del baño, o el porcentaje metálico en el electrolito, y mejor todavía reuniendo ambas medidas.

Para obtener recubrimientos de fuerte carácter anticorrosivo está muy difundida la costumbre de cobrear primero y luego niquelar. En este caso hay que desengrasar cuidadosamente el material, cobrear seguidamente durante 20 a 45 minutos, secar y raspar, desengrasar de nuevo y niquelar. En el caso supuesto de cromar a continuación, será necesario un nuevo raspado. La ventaja del recubrimiento de cobre radica en el sellado totalmente hermético de la superficie del metal base, de modo que al no existir poros no puede ser atacado por ningún agente corrosivo.

Los recubrimientos cúpricos son poco empleados con fines exclusivos de embellecimiento y adorno superficial; generalmente se aplican como capa intermedia para otros recubrimientos metálicos o para colorear. Si alguna superficie de cobre ha de quedar desnuda, después del bruñido debe limpiarse cuidadosamente y cubrirse finalmente con barniz incoloro. De no hacerse este barnizado, el recubrimiento se oxida rápidamente, quedando el material con un auténtico color pardo oscuro tendiendo a rojizo. Todas las piezas que han de

colorearse de pardo, negro o verde se cobrean; en este caso, el recubrimiento debe estar siempre desnudo antes de ser introducido en las soluciones colorantes.

Para conseguir en poco tiempo gruesas capas de cobre sobre hierro, etc., se calienta el electrolito que se citará a continuación hasta 50°C; con 2,5 voltios la densidad de corriente aplicable es de 3 A/dm<sup>2</sup>, y con 5 voltios llega a 11 A/dm<sup>2</sup>. Así se logran gruesas capas en 5 minutos, que sin desventaja alguna pueden bruñirse sobre discos.

La composición del electrolito es la siguiente:

1 L de agua

50 g de carbonato de cobre

50 g de sulfito de sodio

80 g de cianuro potásico

0,3 g de aceite para rojo turco

0,5 g de carbonato amónico.

#### **4.2 Baños de cianuro de cobre de alto rendimiento para cobrear**

El desarrollo de los baños de cianuro de alto rendimiento para cobrear se produjo por la acuciante necesidad de conseguir un recubrimiento cúprico sobre hierro y acero para así poder ahorrar níquel

Antes de 1939 ya se conseguía recubrir piezas en baños de cobre a base de cianuro, con espesores discretos; sin embargo, no eran adecuados para obtener precipitados superbrillantes. Para ello se procede hoy a la adición de sal de La Rochelle, conocida hace muchos años.

Añadiendo sales acéticas al baño cobreador de cianuro puede reducirse fuertemente el contenido en cianuro libre. Con ello queda reducida la carga de hidrógeno. Si además de esto se aumenta la temperatura, la cantidad de hidrógeno ocluido en el recubrimiento resulta mínima, pues así pueden conseguirse capas de cobre más gruesas en menos tiempo.

Para recubrimientos cúpricos gruesos se utilizan hoy día 25 g/l de cianuro de cobre, 35 g/l de cianuro sódico, 7 g/l de hidróxido potásico, 45 g/l de sal de La Rochelle y 5 g/l de cianuro potásico libre, a densidades de corriente próximas a 6 A/dm<sup>2</sup>, a 60°C y un pH cercano a 12. Al aumentar el contenido en sal metálica se obtiene una capa de cobre más fina, o sea más brillante, y el aprovechamiento de la corriente aumenta.

Las ventajas del baño de cobre con sal de La Rochelle han sido superadas por los baños cúpricos de cianuro de alto rendimiento con un alto contenido metálico (50 g/l), menos cianuro libre, un alto contenido en hidróxido potásico y aditivos abrillantadores y humectantes. Estos baños trabajan en parte con un rendimiento eléctrico del 100 % a temperatura elevada y con el material en movimiento.

Para mejorar el brillo se emplea sulfocianuro amónico a concentraciones de 0,4 g/l. Cuando existen impurezas de plomo o cinc, pueden compensarse aumentando el sulfocianuro amónico a 2 g/l. Un mayor contenido de potasa cáustica (hidróxido potásico) aumenta la capacidad de dispersión. y un excesivo incremento del contenido en carbonato hace decrecer el rendimiento eléctrico.

Los baños de cobre de alto rendimiento, por lo general patentados, se distinguen principalmente por contener agentes humectantes. En baños sin agentes humectantes se pueden obtener piezas con un precipitado muy adherente por neutralización de las mismas en una solución de ácido clorhídrico al 10%, enjuague en agua fría y niquelado acto seguido en un baño de níquel superbrillante. Si no se efectúa la neutralización, existe el peligro de que los recubrimientos se desgarren luego durante el cromado.

Cuando se utilizan baños de cobre preparados con agentes humectantes, las piezas deberían ser después desengrasadas de nuevo; al menos esto es lo que propugnan algunos técnicos, aunque en realidad se han evitado recubrimientos defectuosos pasando precisamente por alto el desengrase posterior alcalino y llevando sólo a cabo un enjuague en un baño de decapado.

### 4.3 Baños ácidos de cobre

Entre los baños de cobre ácidos se distinguen dos tipos diferentes: un baño ácido corriente con, aproximadamente, 50 a 60 g de cobre por litro y ácido sulfúrico puro hasta 50 g; y un baño galvánico con aproximadamente 70 g de cobre metálico por litro y sólo 8 g de ácido sulfúrico. Para la calidad de un recubrimiento de cobre obtenido en un baño ácido son decisivos en éste: la relación entre el contenido metálico y el contenido ácido, la densidad de corriente, la temperatura del baño y la agitación del baño. Aparecen perturbaciones cuando el contenido en ácido libre es insuficiente. El ácido del baño cumple el mismo papel en el baño ácido que el cianuro potásico libre en el de cianuro. Las oscilaciones en el contenido metálico tienen un papel secundario. Si el contenido ácido decrece demasiado, se forma protóxido de cobre granate, encarnándose en el recubrimiento de tal modo que éste parece grabado.

Los baños ácidos depositan el metal en su forma bivalente, o sea 1,184 g por ampere-hora. Se obtiene, pues, por ampere-hora un espesor de 0,013 mm sobre un decímetro cuadrado. Para la obtención de un grueso recubrimiento de cobre en corto tiempo es necesario trabajar con densidades eléctricas elevadas. Condición para ello es, por un lado, la especial composición del baño, y también, por otro, la temperatura y la agitación del mismo.

Para la preparación de un sencillo baño ácido de cobre se requieren, por 100 litros de agua, 20 kg de sulfato de cobre y 3 kg de ácido sulfúrico químicamente puro. Con un baño de este tipo se aplican densidades de corriente de 0,5 a 3 A/dm<sup>2</sup>, con tensiones comprendidas entre 0,7 a 4,2 voltios, siendo la temperatura del baño 18°C aproximadamente. Aumentando la cantidad de sulfato de cobre sólo en un 20 %, las densidades de corriente crecen de 3 a 10 A/dm<sup>2</sup>, con tensiones de 2,4 a 8 voltios. Altas intensidades precisan como mínimo una agitación del baño o del material. La agitación del baño puede conseguirse por agitadores mecánicos o por inyección de aire. La agitación del material requiere el movimiento de las barras de fijación por transmisión excéntrica de un motor.

La preparación de un baño de cobre ácido requiere mucho cuidado. Bajo ningún concepto debe disolverse sulfato de cobre en recipientes de hierro. Los recipientes esmaltados con desconchados también son inservibles. Se pesa el sulfato de cobre necesario y se introduce en un tamiz de gres, colgado éste de una barra por encima del baño, que se llena de agua. El sulfato de cobre se disuelve y, a causa de su densidad, va depositándose en el fondo. Se disuelve más rápidamente elevando y bajando el colador. Una vez disuelto todo el sulfato se agita el baño, añadiendo la parte correspondiente de ácido sulfúrico. Es erróneo echar directamente el sulfato de cobre en el baño e intentar disolverlo por agitación. Entonces, en la mayoría de los casos, se forma en el fondo de la cuba un estrato concentrado que finalmente cristaliza y no es posible disolver ni con agitación enérgica y duradera.

Para que con los baños ácidos de cobre se consiga un recubrimiento de grano particularmente fino, será necesario agregar, al sulfato de cobre y al ácido sulfúrico, una dosis de sal de Seignette. Así, por 100 l de baño con 25 kg de sulfato de cobre y 700 g de ácido sulfúrico, deberán agregarse 200 g de sal de Seignette. También resulta beneficioso un pequeño agregado de alcohol común.

La utilización de baños ácidos de cobre es recomendable en la preparación de matrices, galvanos, en el recubrimiento metálico de maderas, materiales pétreos, vidrios, o en todos aquellos casos en que se requiera, en corto tiempo, un grueso precipitado, libre además casi completamente de hidrógeno. Estos baños ácidos pueden utilizarse directamente sobre casi todos los metales, a excepción de hierro, cinc, plomo y [aluminio](#). Éstos deben previamente niquelarse o bien tratarse en baño de cobre a base de cianuro potásico.

En el cobreado debe prestarse atención a que el recubrimiento de cobre tenga siempre un color rojo carne claro. Una tendencia al marrón significará demasiado altas densidades de corriente y carácter agrio del recubrimiento.

En muchos casos estos recubrimientos son inservibles, dada su tendencia a desconcharse. Con los baños en reposo y cobreado ácido normal no se sobrepasa la densidad de 3 A/dm<sup>2</sup> debido a que es la densidad óptima para conseguir la máxima adherencia. A medida que aumenta de espesor, el recubrimiento se

vuelve áspero; con demasiado ácido se puede agrumar. Esto último sucede cuando el espesor es ya de varias décimas de milímetro.

El hierro se ha de niquelar primero o cobrear con un baño a base de cianuro como se ha descrito anteriormente. Puede pasarse, sin ninguna clase de preparación, del baño de cianuro al ácido, salvo el requisito de un enjuague en agua. Sin embargo, es costumbre, al extraer el material del baño de cianuro, llevarlo al banco de lija do, donde se pule totalmente, pasando luego al cobreado de acabado en baño ácido. Las piezas niqueladas previamente pueden pasar ya al baño de cobre ácido después del enjuague en agua; el lijado, en este caso, es innecesario. El tiempo aproximadamente necesario para un espesor determinado se calcula partiendo de la densidad de corriente. Una vez terminado el recubrimiento electrolítico de cobre, se enjuaga el material con agua pura y luego se seca y bruñe o cepilla con un cepillo de fibra si lo deseado es cobre mateado o rayado.

[Una ventaja](#) del baño de cobre ácido es que no hace que se desprendan las capas de barniz. Con ello existe la posibilidad de escribir con barniz sobre piezas de todas clases y obtener efectos de singular belleza cuando, haciendo aparecer el metal base, queda lo escrito en metal de diferente color.

Para todas las coloraciones mates resulta igualmente imprescindible el baño ácido. Con este baño se consiguen toda una gama de superficies de efectos muy

atractivos, debido a que es el único capaz de suministrar un recubrimiento de la finura de grano deseada. Plata mate, oro mate y similares se obtienen sobre artículos de latón cuando después de un decapado químico se enjuagan en una solución a partes iguales de ácido nítrico concentrado y ácido sulfúrico de 66°Bé y un poco de cloruro sódico. Luego, se introducen en un mordiente para matear, compuesto por 1 L de agua, 200 g de dicromato cálcico y 60 g de ácido sulfúrico de 66°Bé, durante un tiempo comprendido entre 10 y 20 minutos, bajo agitación. A continuación se enjuagan con agua. Luego se hace lo mismo pero con ácido sulfúrico al 10 %, que se elimina finalmente con un rociado a presión. Así, el material está dispuesto para el cobreado en baño ácido a 0,5 voltios durante 5 minutos, después del cual vuelve a enjuagarse en agua, pasando al baño dorado o plateado para recibir la coloración elegida.

Para obtener un recubrimiento sobre madera, cuero, piedra, vidrio, etc., es necesario lograr que las piezas sean conductoras. La madera, el cuero y, en general, todos los cuerpos porosos se han de empapar en cera para que luego las piezas no se hinchen por imbibición. El vidrio, etc., se recubre con un barniz a pistola (éste es el mejor sistema), espolvoreado luego con grafito galvánico finamente amasado. Después de un buen secado se cepilla el material con un cepillo blando, quedando así listo para el cobreado en baño ácido. Si hay que obtener recubrimientos cúpricos de gran espesor, es necesario cobrear en una única operación. Lo más conveniente en este caso es trabajar con acumuladores que durante el día se recargan al mismo tiempo que trabajan. De este modo, al

cabo de una semana puede producirse una electrodeposición extraordinariamente gruesa y lisa, que incluso puede trabajarse sobre una muela abrasiva.

## 5. BAÑO ALCALINO DE CIANURO DE COBRE

Hay muchas variaciones del baño de cianuro pues tiene gran aplicación en la industria, ya que se puede usar para recubrir sobre fiero y acero, al igual que sobre otros metales.

El baño de cianuro de cobre también se prefiere cuando se va recubrir formas complejas, con superficies muy intrincadas, ya que tiene un gran poder de depósito y cubre mejor las formas complicadas.

También se usan los baños de cianuro para aplicar depósitos preliminares sobre los que se aplica níquel, cromo, plata y también cobre, cuando se trata de objetos de hierro, los cuales se terminan de cobrizar con el baño de ácido.

Los baños de cianuro deben ser trabajados con mucho cuidado.

Los baños de cianuro sueltan un poco de gas hidrocianuro, por tanto en el taller debe haber una ventilación adecuada o bien se debe trabajar en el exterior. Tenga especial cuidado al elevar la temperatura a un baño de cianuro, porque produce un poco mas de gas.

Aquí vamos a trabajar con el llamado baño estándar cuya fórmula es la siguiente:

Cianuro de cobre: 22 g/l

Cianuro de sodio: 35 g/L

Carbonato de sodio: 15 g/L

### **5.1. Operación de baño**

Los pasos siguientes describen el procedimiento que se debe seguir para realizar el baño de cobre a base de cianuro de cobre:

1. Determine la cantidad de litros que caben en el tanque que va a usar. Enseguida, multiplique ese número de litro por los gramos de cada una de las sustancias de la fórmula. Repita las operaciones para estar seguros de que no se ha equivocado en alguna y esté seguro que esas cantidades son correctas.
2. Enseguida pese cada una de las sustancias. Luego, comience a mezclarlas en el orden y la manera que sigue: Llene el tanque con 2/3 de agua, disuelva el cianuro de sodio, agregándola poco a poco en pequeñas cantidades, mientras menea constantemente. Luego, disuelva el cianuro de cobre agregándolo poco a poco y en pequeñas cantidades mientras continúa meneando constantemente. Entonces,

agregue el carbonato de sodio y disuélvalo meneando. También se agrega el resto de agua para completar el volumen total.

3. La temperatura óptima para la operación del baño es de 20 a 40 grados centígrados. Es decir, que este electroplateado se puede hacer casi con el agua a la temperatura ambiente, aunque si está mas caliente será un poco más rápido.
4. La densidad de la corriente debe ser entre 0.5 y 1.5 amperes por decímetro cuadrado de superficie de cátodo u objeto que se va a cobrizar.
5. Calcule la superficie de la pieza que va a cobrizar. Obtenga el número de decímetros cuadrados y multiplíquelo por la densidad de la corriente.
6. La cifra que resulte es el número de amperes que debe marcar el amperímetro cuando se haga pasar la corriente por el baño.
7. Escoja la cantidad de ánodos de cobre que va a usar. Esto se puede calcular a partir de la relación de la superficie del ánodo a la superficie del cátodo u objeto, que es de 2 a 1. o sea, que tiene que poner el doble de superficie de ánodos que la superficie del objeto.
8. Coloque en la solución el número de ánodos de cobre cuya superficie más se acerque a esa proporción de 2 a 1.
9. Coloque el cátodo en la solución. El cátodo debe haberse desengrasado antes del baño de electrolimpieza y luego en un baño

de desoxidación o decapado. Inmediatamente antes de entrar al tanque de cobre alcalino se enjuaga bien con agua.

10. Encienda la corriente y gire el reóstato hasta que el amperímetro indique aproximadamente la cantidad de amperes que debe pasar por el electrolito. Observe la pieza en el cátodo. Debe producir algunas burbujas y a los pocos segundos comenzar a cubrirse con cobre.
11. Encienda el agitador. Si no tiene, mueva un poco el cátodo para agitar la solución.
12. Lleve el tiempo de inmersión del objeto en el baño. Una capa de cobre de 2 centésimas de milímetro se alcanza en aproximadamente una hora.
13. Una vez que se considera que hay una capa suficiente de cobre se saca la pieza del electrolito y, luego que se examina para verificar que no tenga defectos, se coloca en la tina de lavado con agua corriente constante por unos minutos para quitar todo rastro de las sustancias químicas.
14. Ya lavada la pieza en agua corriente, se procede a pulirla. Una vez pulida, la pieza queda terminada.

## **5.2. Modificaciones al baño de cianuro de cobre**

Al baño de cobre a base de cianuro de cobre se le pueden hacer ciertas modificaciones con el fin de lograr distintos acabados. Uno de ellos es lograr una superficie más brillante. Este acabado se logra agregando al baño tiosulfato de sodio a razón de 1.8 g/L ó también agregando hidróxido de sodio a razón de 1.8 g/L.

Otra manera de lograr una superficie más tersa y más brillante es utilizando un abrillantador comercial. Estos abrillantadores los tienen las casas dedicadas al comercio y fabricación de productos para Galvanoplastia. Utilícelos en las proporciones recomendadas por el fabricante.

El pulido de las piezas cobrizadas, en caso de ser necesario, se hace de manera muy ligera para que al pulir no se quite la capa de metal que acaba de colocar. Algunas veces sobre las superficies muy irregulares la presión con la pulidora debe ser mayor, por lo que debe ponerse una capa de metal suficientemente gruesa.

## **5.3. Problemas en el baño de cobre a base de cianuro**

Pueden surgir algunos problemas en el proceso de electrodeposición que se reflejarán en el acabado del objeto.

Por ejemplo, las manchas cafés en la superficie del cobre pueden deberse a que hubo poca agitación. Un polvo rojo en la pieza puede deberse a exceso de corriente. La granulosis de la superficie cobrizada se puede disminuir bajando la densidad de corriente y agregando gelatina o melaza.

Los inconvenientes para la determinación analítica de los componentes uno a uno son obvios. Pero al técnico práctico en la materia, empero, le resulta posible, por simple observación, apreciar la transformación de las diversas sales metálicas y conductoras, y las consecuencias que de ello se derivan, basándose en lo siguiente:

1. Ningún precipitado: falta de cobre o exceso de cianuro potásico.
2. Recubrimiento brillante: contenido normal en cianuro potásico libre.
3. Recubrimiento duro y brillante: exceso de contenido en cianuro potásico.
4. Recubrimiento pardo: exceso de carbonato Sódico.
5. Coloración verde del baño: excesiva densidad de corriente; carencia de cianuro.
6. Coloración pardo oscura: pasivación de los ánodos, formación de paracianuro.
7. Coloración parda clara de los ánodos: baño trabajando en condiciones normales.
8. Coloración verde de los ánodos: excesiva densidad de corriente.

9. Coloración blanco-verdusca de los ánodos: falta de cianuro potásico, superficie anódica demasiado pequeña, o sea excesiva densidad de corriente.
10. Intensa formación de hidrógeno: exagerado contenido en cianuro potásico.
11. Separación de un precipitado verde: falta de sulfito sódico.
12. Recubrimiento que se cuartea fácilmente: excesivo contenido en cianuro potásico.
13. Deficiente dispersión en profundidad: falta de carbonato sódico, exceso de cianuro.

Basándose en estas observaciones, un buen técnico puede mantener en correcto estado un baño de cobreado sin recurrir a determinaciones analíticas. Dado que la sal metálica sufre constantemente un desgaste (esto sólo es cierto en parte, ya que depende de la composición del baño), puede, por adición cuidadosa de sales conductoras, mantenerse constante la composición del baño de cobreado, de modo que nunca sea posible una falla.

Otros defectos al cobrizar es que el recubrimiento resulte cuajado de burbujas. Observando los ánodos de cobre se descubrirá una capa blanca. Esto indica que al baño le falta cianuro. Cuando en el baño hay suficiente carbonato sódico y el contenido de cianuro es correcto, puede incluso cobrizarse en caliente, con resultados satisfactorios, en baños viejos, sin que lleguen a formarse burbujas.

Téngase en cuenta que puede reducirse extraordinariamente la formación de hidrógeno elevando la temperatura del baño.

Para evitar que los recubrimientos de cobre tengan poca adherencia debe procurarse que los ánodos se disuelvan bien y que la superficie anódica no sea escasa respecto a la superficie que se desea cubrir. Recuerde que esa relación es de 2 a 1. Cuando los ánodos se colorean de verde ello significa que su superficie es pequeña para la densidad de corriente aplicada. El retardo en la formación del recubrimiento surge cuando el baño es pobre de metal. Hay que tener presente que con los electrolitos calientes la densidad de corriente resulta muy elevada y, como consecuencia, depositan grandes cantidades de metal. Con esto, el contenido metálico se va agotando progresivamente, con lo que el baño trabaja lentamente por falta de cobre.

#### **5.4. Eliminación de recubrimientos de cobre**

Los recubrimientos porosos característicos de los baños de cianuro se eliminan anodinamente en un baño a 40°C de 100 g de cianuro potásico por litro. La densidad de la corriente importa aproximadamente 6 A/dm<sup>2</sup>. en lugar de cianuro potásico puede emplearse 100 g/L de nitrito sódico.

Para descubrizar piezas de acero hay que emplear una solución compuesta por 300g/L de ácido crómico, 10 a 12 g de ácido sulfúrico concentrado y 600 g de agua. El ácido crómico puede ser sustituido por dicromato potásico.

## **6. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y ASPECTOS AMBIENTALES**

Los residuos generados por el rubro industrial de Galvanoplastia se consideran potencialmente contaminantes debido a sus características, encontrándose conformados mayoritariamente por metales pesados tales como zinc, níquel, cromo hexavalente, cobre, cadmio los cuales son considerados, entre otros aspectos, inhibidores de tratamientos biológicos de residuos líquidos y dañinos para la salud.

Esta potencialidad contaminante tiene su justificación al considerar los volúmenes de agua utilizados en los procesos, sobre todo en los de lavado o enjuague que presentan contaminantes en descargas continuas. Relacionado con lo anterior, la operatividad relativa a la descarga de estas aguas residuales también incide, pues el peso total de estos compuestos químicos es inferior a los acumulados en los estanques de electrodeposición, que comúnmente, son asociados a procesos discontinuos.

### **6.1. Fuentes y caracterización de los residuos líquidos**

La industria de Galvanoplastia lleva involucrado consumo de agua, tanto en los baños de proceso como en las etapas de lavado y enjuague. Las descargas de

estas aguas residuales están compuestas por efluentes que se caracterizan por su carga contaminante tóxica en términos de su contenido de cianuro, metales pesados como el cromo hexavalente, ácidos, álcalis.

El proceso de recubrimiento metálico, en general, es muy poco efectivo ya que sólo una pequeña cantidad de las sustancias utilizadas en éste se deposita en la pieza. Hasta un 90% de las sustancias puede evacuarse a través de las aguas residuales.

En particular, los residuos líquidos provenientes de procesos de cromado, se caracterizan por su contenido de ácido crómico libre y bicromatos en solución neutra o débilmente ácida. Si se utilizan baños ácidos de cobre, níquel, plata, etc., las aguas ácidas generadas contienen los metales correspondientes en concentraciones trazas, más los diversos compuestos asociados a productos anexos agregados al baño.

En general, los residuos líquidos descargados por este tipo de industria, provienen de:

- Aguas de lavado, enjuague y enfriamiento
- Baños de proceso agotados
- Mantenimiento de baños de proceso (ejemplo: filtración)

- Baños de remoción y acondicionamiento: contaminados, agotados
- Soluciones de sistemas de lavado/extracción de gases

En la Tabla 2 se presentan rangos de concentraciones y valores de parámetros físico-químicos factibles de encontrar en una caracterización de residuos industriales líquidos, en una empresa de Galvanoplastia de la Región Metropolitana vs “Norma de Emisión D.S. 609/98 para la Regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.”

Tabla 2 Caracterización de Residuos Líquidos en una Empresa de Galvanoplastia

<b>PARÁMETRO</b>		<b>Norma N° 609</b>
pH	5,0 – 10,0	5,5 – 9,0
Temperatura	9,0 – 12,0	35°C
	<b>CONCENTRACIÓN (mg/l)</b>	<b>Norma N° 609 (mg/l)</b>
Sólidos	14,0 – 60,0	300
Suspendidos	<5,0 – 160	150
Aceites y grasas	1,0 – 3,4	1,0
Cianuro	7,0 – 28,0	3,0
Cobre	17,0 – 40,0	10,0
Cromo Total	19,0 – 40,0	0,5
Cromo	5,0 – 30,0	4,0
Hexavalente	6,0 – 7,0	5,0
Níquel		
Zinc		

## **6.2 Fuentes y caracterización de los residuos sólidos**

Los residuos sólidos generados en el rubro de Galvanoplastia lo constituyen los lodos (o borras) resultantes de los baños de proceso y enjuague, así como también los lodos provenientes de algún sistema de tratamientos de las aguas residuales. La composición de estos lodos o borras es variada, pudiendo contener metales como níquel, cobre, cromo, zinc y otros metales pesados.

En este tipo de industria, cuando se obtienen residuos líquidos que contienen variadas especies químicas (metales pesados, cianuro, entre otros), se obtienen lodos de iguales características a los residuos líquidos que los generaron, lo que dificulta su reutilización o reciclaje. Sin embargo, la segregación o separación de corrientes de efluentes, permite la producción de un monolodo con la posibilidad de reutilización o reciclaje en la industria metalúrgica.

## **6.3 Fuentes y caracterización de emisiones atmosféricas**

Las emisiones a la atmósfera de la industria de Galvanoplastia se producen en las distintas etapas del proceso productivo y se caracterizan de acuerdo a la naturaleza de los compuestos químicos utilizados en ellos. Así, en los procesos de decapado, en donde se utiliza ácido nítrico se producen gases nitrosos y nítricos, debidos a la naturaleza oxidante del ácido. Del mismo modo constituye fuente de

contaminación el arrastre del ácido en forma de neblina o gotas, que se encuentran contenidas en los vapores de las soluciones de limpieza.

Por otra parte, la utilización de ácido clorhídrico provoca las emisiones del ácido, debido a la alta presión de vapor ejercida a temperatura ambiente.

En la electrólisis se generan gases de hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, lo que permite que estos gases arrastren gotas de solución en su ascenso y difusión en el aire. En la preparación mecánica de las piezas, se produce la emisión de partículas de polvo.

Las cantidades de emisiones atmosféricas producidas en el rubro Galvanoplastia no son relevantes desde el punto de vista ambiental global, sin embargo existe un efecto importante desde el punto de vista de salud ocupacional, pues los trabajadores están expuestos directamente a las nieblas y aerosoles emitidos, cuando no existen aspiradores o absorbentes sobre los baños de proceso y cuando no se utilizan implementos de seguridad.

#### **6.4 Principales impactos ambientales generados por el sector**

Los impactos ambientales ocasionados por los residuos producidos en el rubro de Galvanoplastia tienen directa relación con la naturaleza tóxica de muchos de los

compuestos químicos involucrados, los cuales son los elementos base de esta industria.

En particular es necesario hacer especial mención a los metales pesados tales como el cromo hexavalente (Cr+6) y la especie química cianuro. Así entonces, los procesos llevados a cabo en este tipo de industria significan un importante aporte en el deterioro del medio ambiente.

Estos residuos contaminantes, presentes en los efluentes líquidos descargados, sólidos generados y vapores emitidos a la atmósfera, afectan el medio físico circundante así como la salud de las personas.

Los efectos producidos abarcan desde el deterioro de los sistemas de recolección de aguas servidas; el deterioro de sistemas de tratamientos microbiológicos, inhibiendo el desarrollo microbiano; hasta el efecto en la salud de los trabajadores expuestos y la población en general.

A continuación, en la Tabla 3. se visualiza un resumen de los residuos y su origen en la industria de Galvanoplastía.

Tabla 3. Residuos de Galvanoplastia.

RESIDUO	RIESGO <sup>(*)</sup>	CORRIENTE	PROCESO
Alcali (Hidróxido)	Corrosividad	Residuo Líquido	Limpieza y electrodeposición
Acidos (nitríco, sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico)	Corrosividad	Residuo Líquido	Limpieza, acondicionamiento, electrodeposición, baño de brillo
Detergentes	Toxicidad	Residuo Líquido	Limpieza
Aceites y Grasas	Toxicidad	Residuo Líquido, solvente agotado	Limpieza
Metales Pesados	Toxicidad	Baño de recubrimiento, agua de lavado, filtros agotados, lodos, nieblas	Electrodeposición
Cianuro	Toxicidad	Baño de recubrimiento, agua de lavado, otras aguas, lodos	Electrodeposición, remoción, tratamiento calórico, desmanchado
Cromatos	Toxicidad	Baño de recubrimiento, agua de lavado, lodos, otros	Electrodeposición, cromado, recubrimiento

(\*) Riesgo para el desarrollo de la vida humana, animal y el medio ambiente en general.

#### 6.4.1. Contaminación atmosférica

Las emisiones al aire o atmósfera se producen en las diferentes etapas del proceso y dependen de su naturaleza. Ejemplos de lo anterior son las nieblas, que no constituyen una contaminación del ambiente externo, pero que sí afecta el ambiente interno desde el punto de vista de salud ocupacional.

En la preparación mecánica de las piezas, se produce la emisión de partículas de polvo.

#### **6.4.2, Contaminación del agua**

En el rubro Galvanoplastía existen cuatro tipos de efluentes, dos de ellos, tales como soluciones ácidas y alcalinas pueden contener metales pesados (exceptuando el cromo hexavalente).

Estos efluentes no son tóxicos, pero pueden contaminar los cuerpos de agua. Cuando son descargados en un sistema de recolección de aguas servidas pueden inhibir los procesos biológicos de tratamiento.

Los otros dos tipos de efluentes corresponden a residuos tóxicos tales como los efluentes cianurados y los que contienen cromo hexavalente, los cuales al ser vertidos en cuerpos receptores, sin tratamiento previo los afectan gravemente.

Si bien es cierto, los procesos involucrados en la industria de Galvanoplastía son variados, éstos producen residuos industriales líquidos cuya composición o caracterización química no es contaminante por sí sola, hay que tener en cuenta por tanto los efectos sinérgicos de tales compuestos al momento de ser mezclados en un mismo sistema de descarga o recolección.

La Tabla 4. Presenta los efectos de ciertos contaminantes sobre la salud.

Tabla 4. Efectos de los contaminantes sobre la salud.

PARAMET	EFEECTO POR RESPIRACION	EFEECTO POR INGESTA
<b>RO</b>		
Cadmio	Perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio Disfunción renal	Tumores testiculares Disfunción renal Hipertensión Arterioesclerosis Inhibición en el crecimiento Cáncer
Cromo	Cáncer pulmonar Cáncer gastrointestinal Enfermedades de la piel	Cáncer pulmonar Úlceras Perforaciones de tabique nasal Complicaciones respiratorias
Plomo	Interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos Daños al hígado y riñón Efectos neurológicos	Afecciones a la piel Anemia Disfunción neurológica Daños al riñón
Níquel	Enfermedad respiratoria Defectos y malformaciones en el nacimiento Cáncer pulmonar Cáncer nasal	
Cianuro	Daños en sistema respiratorio Letal	Daños en sistema respiratorio Letal

En la Tabla 5. se presentan los efectos de ciertos contaminantes sobre los sistemas o instalaciones de recolección de aguas servidas.

Tabla 5. Efectos de los Contaminantes sobre Instalaciones del Sistema de Recolección de Aguas Servidas (Alcantarillado)

PARÁMETRO	EFEECTO
pH	Daño a los colectores, por efecto de exceso de acidez o alcalinidad. Inhibición del crecimiento microbiano en los sistemas de tratamiento biológico de las aguas servidas
Temperatura	Aumento de las velocidades de reacción químicas y bioquímicas, ocasionado por un aumento de temperatura. Volatilización de compuestos orgánicos presentes en los residuos líquidos, con gasificación y producción de emanaciones tóxicas y mal olor. La presencia de gases aumenta la presión en las tuberías
Sólidos Suspendidos	Se produce la acumulación de sedimentos al interior de las tuberías, produciendo efectos de obstrucción de escurrimiento de fluidos
Aceites y Grasas	Se produce acumulación y se dificulta el escurrimiento de fluidos. Además, disminuye la transferencia de oxígeno en el cuerpo receptor
Sulfato	Se produce la precipitación de sales insolubles que atacan las tuberías de cemento
Metales pesados y tóxicos	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el crecimiento microbiano
Detergentes	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el desarrollo microbiano

En la Tabla 6. Se presentan los efectos de ciertos contaminantes descargados en las aguas superficiales.

Tabla 6. Efectos de los Contaminantes sobre Aguas Superficiales.

PARÁMETRO	EFEECTO
pH	Efectos sobre las aguas destinadas a consumo humano, bebida animal, riego, recreación, estética, vida acuática
Temperatura	Las altas temperaturas desfavorecen la dilución de oxígeno la masa de agua, alterando el desarrollo de la vida acuática
Sólidos Suspendidos	Se produce la acumulación de sedimentos que ocasionan embancamiento y depósitos en terrenos de uso agrícola
Aceites y Grasas	Efectos sobre la absorción de oxígeno atmosférico en el agua, afectando los procesos de fotosíntesis de algas, plantas y organismos acuáticos en general
Metales pesados y tóxicos	Interfieren en los procesos naturales de autodepuración biológica de cuerpos receptores
Detergentes	Interfieren en los procesos de absorción de oxígeno, creando ambientes anaerobios

#### 6.4.3. Contaminación del suelo

Descargas no controladas de residuos líquidos en planta e inadecuada disposición de lodos no inertizados que contienen compuestos tóxicos, pueden producir contaminación de suelos y napas subterráneas.

Los efectos de los contaminantes infiltrados al suelo son similares a los ocasionados por descarga de residuos líquidos contaminados a las aguas superficiales.

Las opciones de prevención de la contaminación, dentro del marco de la gestión ambiental de una empresa se pueden jerarquizar según el grado de facilidad de su

implementación y costos asociados. Es así, como la más alta prioridad se le asigna a la prevención de la contaminación a través de las buenas prácticas, la reducción en la fuente y el reciclaje.

Las buenas prácticas, la prevención o reducción en origen y el reciclaje en la fuente, disminuyen o eliminan la necesidad de reciclaje fuera de la planta o el tratamiento, en parte, de los residuos y su posterior disposición. La reducción de residuos es siempre más barata que su recolección, tratamiento y disposición. También permite disminuir los riesgos ambientales para los trabajadores, la comunidad y el ambiente en general.

## **6.5 Reducción en origen**

Ahora se describirán algunas de las formas en que se puede reducir la contaminación desde el mismo origen de los procesos de galvanoplastia.

### **6.5.1 Buenas prácticas**

En general, la implementación de buenas prácticas de gestión de operaciones al interior de la empresa se basa en la puesta en práctica de una serie de procedimientos o políticas organizacionales y administrativas, destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades tendientes a lograr la minimización de los residuos.

Dentro de estas prácticas se incluyen:

a. Entrenamiento de personal: Capacitación y entrenamiento permanente del personal que trabaja en un proceso industrial, referida específicamente a la mantención de condiciones del proceso ambientalmente confiables, opciones de segregación de residuos, seguridad industrial, uso óptimo de equipos, manejo de materiales y salud ocupacional. Es vital que los empleados sepan por qué se les exige una forma de trabajo y qué se espera de ellos. La experiencia de los empleados es vital. Normalmente, los empleados antiguos comprenden el proceso muy bien y los errores que resulten en la generación de residuos son poco e infrecuentes.

Uso de incentivos al personal, no solamente monetarios. Los empleados se comprometen más con la aplicación de medidas de prevención si saben que obtendrán algún beneficio.

b. Mejoras en los procedimientos: es decir, desarrollo de manuales y procedimientos:

Sistemas de documentación adecuados, para procedimientos, manuales de operación, partiendo desde listas de chequeo o figuras de llamado de atención para los operarios, hasta manuales dirigidos al personal profesional, destinados éstos a clarificar y/o modificar operaciones para hacerlas más eficientes y controlar pérdidas. En general, este ítem es la principal debilidad de las industrias.

Optimización de operaciones de manejo, almacenamiento de materias primas y control de inventario (sistema FIFO: lo primero que entra es lo primero que sale). Se trata de mantener stock mínimo de materiales, sobretodo si éste es perecible, para evitar pérdidas innecesarias. Utilizar materias primas en cantidades exactas para cada trabajo. Evitar tráfico excesivo en las zonas de almacenamiento y producción.

Programación de la producción y mantención preventiva de los equipos con el fin de evitar emergencias, accidentes, escapes y derrames o fallas de los equipos, mediante chequeo y revisión de bombas, válvulas, estanques, filtros, equipo de seguridad, etc. Establecer un manual centralizado de catálogos y documentos relacionados con los equipos de proceso. Verificar periódicamente que las partes y piezas de los equipos se encuentran en buen estado.

c. Medidas de prevención de pérdidas: Efectuar control de calidad de materias primas al momento de recibirlas, para verificar si cumplen las especificaciones requeridas. Solicitar a los proveedores que certifiquen la calidad de sus productos y llevar a cabo la devolución de los materiales si éstos no cumplen los requerimientos deseados.

Es importante mencionar que en la implementación de este tipo de gestión se entrecruzan los principios desarrollados en las Normas ISO 9000 (aseguramiento de calidad) e ISO 14000 (gestión ambiental).

d. Reparación de pisos: En las empresas de Galvanoplastia es habitual encontrar infiltraciones de piso y suelo, por falta de protección o por una escasa mantención de éstos. Los pisos han sido mayoritariamente corroídos por la naturaleza química de los compuestos que drenan a estas superficies ya sea con ocasión de arrastre de electrolito desde las piezas, al ser transportadas o bien por derrames de los baños. Así entonces, a largo plazo se producen contaminaciones peligrosas de los suelos y las napas o aguas freáticas debido a la acumulación de metales pesados y otras especies químicas.

Se recomienda la mantención del buen estado del piso o recubrimiento del suelo, apoyado por la implementación de buenas prácticas y modificaciones de proceso mencionadas en el presente manual. Sin embargo, de ser económicamente factible, es más recomendable la utilización de pisos recubiertos con material epóxico.

### **6.5.2. Mejoramiento de Procesos**

La reducción en origen implica dentro de otros aspectos, cambios en proceso: sustitución de materias primas e insumos contaminantes; cambios tecnológicos, introducción de tecnologías limpias; mejoramiento de las prácticas de operación; y cambios en productos: diseño con menor impacto ambiental, incremento de la vida útil del producto.

Como opciones factibles de implementar en empresas de Galvanoplastía se encuentran:

a) Modificación de las líneas de producción:

El proceso de Galvanoplastía está constituido por distintas etapas que se suceden. Lo ideal es que estas etapas estén dispuestas en lo que podría llamarse una línea de producción, es decir, que los estanques o baños se encuentren unos a continuación de los otros, de modo que las piezas no deban recorrer un largo camino entre una etapa y otra. Esto disminuirá las pérdidas de líquido durante los traslados y permitirá por ejemplo, implementar técnicas de enjuague que optimicen la recuperación de materiales minimizando las pérdidas y disminuyendo el volumen de efluentes generados durante el proceso.

b) Prolongamiento de la vida del baño:

El volumen de residuos y los costos de reemplazo de baños pueden ser disminuidos al prolongar la vida útil del baño de electrodeposición, a través de:

- Filtración continua de los baños de electrodeposición. Este procedimiento se utiliza con la finalidad de eliminar sustancias nocivas y contaminantes.

- Para evitar la contaminación con sustancias sólidas, por ejemplo sustancias insolubles en las aleaciones, los ánodos se pueden filtrar por medio de un saco anódico que filtra directamente, al cubrirlo. Otra fuente de sustancias sólidas es el polvo de tratamiento mecánico, por esto es importante separar la línea de Galvanoplastia del sector de taller metalmecánica.

- Monitoreo. Seguimiento periódico de variables como el pH, el contenido de metales y controlar por método de Celda Hull, la composición correcta del baño. Este sistema permite conocer la necesidad de adicionar uno de los constituyentes químicos o remover contaminantes y con ello prolongar la vida del baño, sin efectuar un control químico total. Este control puede ser efectuado por los proveedores de materias primas o bien por laboratorios externos, mediante técnicas de análisis químico.

- Aumentar el escurrimiento de los líquidos adheridos a las piezas, sobre los baños con el fin de reducir el arrastre y la contaminación posterior, al próximo baño, mediante instalación de porta-gancheras o bien que el operador mantenga manualmente, la pieza escurriendo sobre el baño de electrodeposición. Esto es válido también para los baños de enjuague. También se puede mejorar la posición de la pieza en la ganchera, de modo de facilitar el escurrido. De ser necesario, se pueden modificar los porta-gancheras de modo que las piezas se puedan colocar inclinadas de manera conveniente sin que se caigan.

c) Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y de sustancias químicas:

- Implementar estanques de lavado en contracorriente o cascada con el fin de reducir el consumo de agua. En este sistema la pieza se mueve en dirección opuesta a la calidad de flujo de agua de lavado. Esto consiste en que agua limpia es alimentada en el estanque más alejado del baño de proceso y luego esta agua alimenta por rebalse el estanque de lavado más cercano al baño de proceso. El agua por rebalse disminuye el consumo de agua de lavado. La pieza es sumergida primero en el estanque con agua menos pura y en el estanque con agua más limpia, después y al final, dependiendo del número de estanques.

- Introducir un enjuague “estanco” o “eco” o “economía” (*batch*, sin entrada y salida de agua), con el fin de reducir el consumo de sustancias químicas y disminuir el arrastre de estas entre baños. El electrolito acumulado en este estanque se utiliza para regenerar el baño de electrodeposición, es decir se regresa electrolito (recicla) al baño de electrodeposición manteniendo su nivel.

- Implementar sistemas sencillos de apertura y cierre de válvulas, para el control de suministro de agua.

- Implementar lavado intermitente del material con pulverizadores de agua, lo que sustituiría unas etapas en cascada.

- Dejar escurrir el electrolito y el agua de enjuague en los baños, desde la superficie de las piezas, antes de transportarlas al baño siguiente, con el fin de evitar la contaminación de los baños siguientes y con ello reducir el consumo de químicos y agua.

- Instalar puentes de polipropileno, en posición inclinada, entre estanques, a fin que el electrolito escurra al estanque desde donde proviene, disminuyendo el arrastre. Esto es válido para estanques de electro lito como de enjuague.

- Dosificar los baños con el contenido necesario de sustancias químicas, con el objetivo de reducir la generación de lodos y de productos químicos para detoxificar o neutralizar los residuos líquidos.

d) Tratamiento de detoxificación integrado a la producción:

Una posibilidad de tratar directamente el arrastre de un baño de proceso (activo) es la detoxificación en un baño de tipo Lancy.

Este método de detoxificación químico directo fue creado los años 50's, pero en la actualidad no es aplicado en las empresas de Galvanoplastía. Lancy propuso este método como "tratamiento integrado a la producción".

Sin embargo, para empresas pequeñas y no automatizadas este método es una posibilidad de detoxificar efluentes de baños tóxicos tales como cromo hexavalente, cianuro u otros, directamente cuando no existe un tratamiento de efluentes final (*“end of pipe”*).

El método de detoxificación directa requiere la inmersión de las piezas, directamente después del baño de proceso, en un baño estanco de enjuague y luego directamente en una solución detoxificante concentrada. Esta solución debe contener los productos químicos detoxificantes en una dosificación en exceso, que cause una reacción completa y rápida con la película de arrastre sobre las piezas.

La solución parcialmente agotada es bombeada a un recipiente donde las sales insolubles que se forman pueden ser decantadas. Cuando la reacción no es completa en el baño de Lancy, se puede completar en este recipiente.

Antes que la solución del recipiente sea retornada en el estanque de Lancy, los productos químicos en exceso son renovados hasta el nivel necesario, con un dosificador. A causa del relativamente gran volumen del recipiente, variaciones en el arrastre no afectan la concentración de las sustancias detoxificantes.

- Particularidades técnicas del proceso. En un baño de enjuague, la película adherente tóxica está diluida con un gran volumen de agua.

Esta solución diluida sería detoxificada en un tratamiento final adicional, debido a que las reacciones químicas normalmente ocurren en forma lenta, en soluciones diluidas. En este sentido, se requiere un tiempo de reacción bastante largo o bien, necesita un gran exceso de reactivos químicos para convertir los productos cuantitativamente. En este caso el pH puede ser ajustado, idealmente, al pH de la solución a detoxificar ya que el baño Lancy es directamente acoplado al baño de proceso.

En una detoxificación convencional adicional final, existen normalmente mezclas que no pueden ser tratadas a un pH óptimo. Esto necesita la aplicación de sustancias químicas más caras para optimizar la precipitación de hidróxidos de metales.

- Consumo de productos químicos. Excepto por las pérdidas debido al arrastre de la solución de enjuague, los productos detoxificantes son consumidos estequiométricamente y no necesitan un gran exceso, como en el modo convencional de tratamiento de efluentes. Los pequeños volúmenes del baño de Lancy permiten ajustar el pH alcalino con menor cantidad de soda cáustica que la necesaria durante un tratamiento final de gran volumen de agua. En este sentido, el ajuste de pH con soda provoca la precipitación de calcio y magnesio.

El proceso se inicia cuando las piezas salen del baño de proceso de cromado e ingresan a un baño de recuperación o de economía. Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o “baño Lancy.

a) Lancy: Detoxificación de Cromo Hexavalente:

Las piezas salen del baño de proceso electrolítico de cromado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o “baño Lancy”, que consiste en una solución saturada de bisulfito de sodio que produce la reducción de cromo hexavalente a trivalente. Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20% para precipitar el cromo trivalente.

Luego, la pieza se sumerge en un baño de enjuague en cascada y continúa su trayectoria de proceso.

b) Lancy: Detoxificación de Cianuro:

Las piezas salen del baño de proceso electrolítico de zincado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o “baño Lancy”, que consiste en una solución saturada de hipoclorito de sodio que produce la detoxificación de cianuro a cianato. Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20% para precipitar el

cianato. Luego la pieza es sumergida en un estanque con agua de lavado, cuyo efluente es descargado al alcantarillado sin cianuro. El lodo obtenido es un cianato, el cual no es tóxico.

### **6.5.3. Reciclaje**

La recuperación de materias primas puede ser llevada a cabo mediante la utilización de un baño de enjuague estanco o de economía o eco o de recuperación, ya mencionado anteriormente, el cual es localizado a continuación del baño de electrodeposición y en donde la pieza es sumergida previo al baño de enjuague. En este baño económico el electrolito puede ser almacenado y utilizado luego para la regeneración del baño de electrodeposición y con ello disminuir el consumo de materias primas.

Se puede utilizar agua desmineralizada para preparación de baños de electrolito o en procesos de lavado o enjuague final, para evitar manchas o concentración de contaminantes en la superficie de las piezas. Los contaminantes naturales del agua, tales como calcio, hierro, magnesio, manganeso, cloruros, carbonatos y fosfatos pueden irse acumulando en procesos de reciclaje.

## **6.6. Implementación de sistemas de gestión ambiental**

Para que las empresas sean realmente eficaces en su comportamiento ambiental, las acciones deben ser conducidas dentro de un sistema de gestión estructurado e integrado a la actividad general de la industria. Ello con el objeto de ayudar al cumplimiento de sus metas ambientales y económicas basados en el mejoramiento continuo. A nivel internacional los estándares ISO 14.000 regulan la gestión ambiental dentro de la empresa, en lo que respecta a la implementación de un sistema de gestión ambiental y auditorias ambientales a la empresa, entre otros. En particular, la Norma ISO 14.000 “Sistemas de Gestión Ambiental”, especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental. Esta norma se aplica a toda organización o empresa que desee:

- Mejorar la calidad de procesos y productos aumentando la eficiencia
- Disminuir los costos, producto de un uso más eficiente de la energía y los recursos
- Aumento de la competitividad
- Acceso a nuevos mercados
- Reducción de riesgos
- Mejoramiento de las condiciones laborales y de salud ocupacional
- Mejora de las relaciones con la comunidad, autoridades y otras empresas

La implementación de sistemas de gestión ambiental, permitirá a la empresa anticiparse a las regulaciones ambientales más estrictas, permitiendo que el ajuste a la nueva realidad legislativa se realice de manera gradual y mediante cambios en los procesos de producción, no sólo recurriendo a grandes inversiones en plantas de tratamiento de residuos.

## **7. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (END OF PIPE)**

Actualmente existen diferentes métodos para el control de la contaminación o los también denominados tratamientos al final del proceso (*end of pipe*). La selección del sistema más adecuado dependerá de las características particulares de los efluentes a ser tratados, entre éstas los caudales, composiciones y concentraciones.

Sin embargo, un factor decisivo en la selección de uno de estos sistemas será los costos asociados a la inversión y a la operación de tales sistemas, a los cuales la pequeña y mediana empresa de Galvanoplastia pueda acceder.

Con el propósito de entregar una breve reseña de sistemas, a continuación se mencionan algunas características de éstos.

### **7.1. Control de Residuos Industriales Líquidos**

Los residuos líquidos pueden ser tratados utilizando tecnologías convencionales o bien tecnologías emergentes. Dentro de las tecnologías convencionales se encuentran los procedimientos químicos que promueven neutralización, precipitación, sedimentación y filtración. El residuo líquido tratado corresponde a

un residuo no tóxico, pero que contiene sales neutras. Estos tratamientos tienen asociada la generación de sólidos, los cuales contienen en gran parte, cal y óxidos de metales insolubles.

Por otra parte, dentro de tecnologías emergentes pueden ser utilizadas la evaporación, intercambio iónico, osmosis inversa, ultrafiltración, entre otras.

### **7.1.1. Tecnologías Convencionales**

La aplicación de tecnologías que minimicen los tóxicos generados en procesos de Galvanoplastia, debe estar orientada al comportamiento de los componentes químicos obtenidos como residuos líquidos. En tal sentido, es posible dividir las aguas residuales producidas en tres grandes grupos:

1. Residuos Líquidos que contienen cianuros simples o bien complejos cianurados, los cuales pueden ser tratados por medio de la adición de sulfato de hierro o mediante utilización de la descomposición del ion cianuro oxidado con cloro.
2. Residuos Líquidos que contienen ácido crómico, el cual que puede ser tratado con anhídrido sulfuroso o bisulfito de sodio.

3. Residuos Líquidos que contienen metales en solución ácida, cuya eliminación se puede efectuar por simple precipitación con formación de los hidróxidos metálicos.

Cabe mencionar, que los lodos producidos en estos tratamientos se componen principalmente de sales básicas o hidróxidos metálicos. Estos residuos se secan difícilmente y en su disposición final se debe tener en cuenta el impacto que producirían en las napas subterráneas.

Para este tipo de tratamiento el equipamiento consiste, principalmente, en estanques de reacción, sistemas de bombeo, equipos de sedimentación, equipos de clarificación y filtros prensa.

### **7.1.2 Tecnologías Emergentes**

Las tecnologías emergentes en el tratamiento de residuos líquidos de Galvanoplastia se basan fundamentalmente en procesos de separación y la mayoría de las veces requieren previamente, de la separación de efluentes o aguas residuales o bien modificaciones de planta. Se suma a ello, la necesidad de contar con una adecuada capacitación del personal, para la operación y mantenimiento de los equipos.

Dentro de estas tecnologías se pueden mencionar:

1. Evaporación
2. Intercambio iónico
3. Técnicas de membrana: Osmosis Inversa, Ultrafiltración

#### a. Evaporación

En esta tecnología, el residuo líquido es sometido a ebullición hasta su concentración, de modo que el vapor obtenido es condensado y puede ser reutilizado para procesos de lavado o enjuague.

#### Aplicación:

Recuperación de baños de cromo caliente, baños de níquel a temperatura ambiente, baños de cianuro.

Las concentraciones de impurezas pueden ser reducidas por la instalación de una columna de intercambio iónico o filtro de carbón activado.

#### Ventajas:

La evaporación no es una técnica reciente y al ser aplicada como tratamiento, permite obtener un agua de alta calidad. Además, desde el punto de vista equipos,

los evaporadores se encuentran comercialmente disponibles para casi todos los tipos de procesos involucrados en la Galvanoplastia.

Sin embargo, los evaporadores utilizados deben ser contruidos de materiales especiales con el fin de evitar los efectos corrosivos naturales del tipo de compuestos asociados a los procesos del rubro. Se trata de un procedimiento simple y práctico, que permite un real ahorro y recuperaci3n de los químicos y caudales de agua manejados.

Desventajas:

Alto requerimiento energético que se necesita para efectuar la evaporaci3n y concentraci3n de las impurezas contenidas en los flujos líquidos contaminados.

#### b. Intercambio I3nico

Existen dos tipos de unidades de intercambio: catiónicos y aniónicos. La unidad catiónica contiene un tipo específico de resina para remover los iones cargados desde la soluci3n. Los cationes son reemplazados por iones hidrógeno que son desplazados desde la resina. Luego de un tiempo, la capacidad de la resina decrece, debiendo ser regenerada, por ejemplo con ácido sulfúrico.

La unidad de intercambio aniónico contiene una resina que remueve los iones cargados negativamente, tales como cromatos y cianuro. Estos se reemplazan con iones hidroxilo (OH), que se desplazan desde la resina, debiendo ser regenerada con una base fuerte como el hidróxido de sodio.

Aplicación:

La tecnología de Intercambio Iónico es adecuada para el tratamiento o recuperación de materiales a partir de soluciones muy diluidas. Esta tecnología es utilizada para purificar las aguas drenadas de los procesos de lavado, pudiendo posteriormente, reciclarse las aguas purificadas.

Otras aplicaciones son la concentración de efluentes previo a un tratamiento convencional o bien para remover contaminantes a nivel de trazas después de este tipo de tratamiento.

Ventajas:

La ventaja de esta tecnología radica en que ambos procesos, el de recuperación de materiales y agua conducen a la obtención de agua de alta pureza, siempre que se trate de soluciones diluidas. Desde el punto de vista instrumental, se trata de un equipo compacto y automatizado. El uso de un sistema de intercambio iónico continuo se justifica para grandes volúmenes a tratar.

Desventajas:

Alto costo asociado a las resinas de intercambio iónico y al costo de los químicos utilizados para la regeneración de dichas resinas. Se suma además, los costos de disposición final del efluente obtenido. Los sistemas de múltiples columnas de lecho fijo requieren de una labor intensiva y de un alto costo, a pesar de ser completamente automáticos y de fácil operación.

Sin embargo, la tecnología es atractiva desde el punto de vista de su disponibilidad en el mercado internacional y para la aplicación en este rubro. Sin embargo, cabe señalar que esta técnica no remueve aditivos orgánicos y el efluente a tratar, debe ser filtrado para remover partículas y aceites que pueden dañar la resina.

c. Técnicas de membrana

Las Tecnologías de Membrana, tales como la osmosis inversa y ultrafiltración, son particularmente utilizadas en el tratamiento/recuperación de metales en sistemas de ciclo cerrado, provenientes de los residuos líquidos de las aguas de lavado. Esto es particularmente observable en empresas de países desarrollados.

Todas las tecnologías de membrana tienen en general, las mismas ventajas:

- Bajo costo de capital dada la característica modular de las unidades, hacen de ella una alternativa favorable en instalaciones de pequeña escala.
- Bajo requerimiento de espacio: el equipo es compacto y opera continuamente, requiriendo un mínimo de estanques.
- Bajo costo de trabajo u operación: el proceso es simple de operar y es totalmente automatizado, lo que hace innecesario la plena atención del operador.
- Bajo uso de energía: los residuos líquidos no están sometidos a requerimientos de cambios de fase en el proceso.
- No hay generación de lodos: ninguna o pequeñas cantidades de químicos son usados y no resultan lodos del tratamiento bajo esta técnica.

Las técnicas de membrana se utilizan usualmente, para concentrar los efluentes totales de una planta, con el fin de facilitar un posterior tratamiento químico.

#### - Osmosis Inversa

La Osmosis Inversa es un proceso de separación a presión a través de una membrana, en la cual el flujo de residuo líquido alimentado a presión, es separado en un agua reconocida como producto, denominado permeado o permeato, que

contiene muy pocas sales y un concentrado o rechazo, rico en sales. Esta separación se debe a una permeación selectiva del agua a través de una membrana semipermeable.

Aplicación:

Recuperación de aguas de lavado.

Ventajas:

Bajo costo de energía, pues ésta es sólo requerida para el bombeo del fluido.

Desventajas:

Las limitaciones específicas de este tipo de tratamiento son:

- La osmosis inversa sólo logra altas concentraciones cuando la presión utilizada supere la presión osmótica de la solución. De esta manera, el grado de concentración logrado dependerá de la máxima presión de operación. En el caso de baños a temperatura ambiente se requiere un pequeño evaporador de ciclo cerrado.

- La capacidad de separación de la membrana se degrada con el tiempo, por lo que debe ser reemplazada en forma periódica.
- Existe un rango de pH (entre 2,5 – 11) para una buena operación y duración de las membranas.

- Ultrafiltración

En esta técnica, la solución a tratar es filtrada a través de un filtro muy fino con el propósito de remover sólidos, emulsiones y compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Aplicación:

Se utiliza en la regeneración de limpiadores alcalinos, refrigerantes o baños que requieran la remoción de partículas y aceites emulsificados. Además, se usa en el tratamiento de reducción de volumen de refrigerantes agotados, limpiadores y aguas de lavado.

Ventajas:

Se produce una remoción eficiente de aceites emulsificados y otros compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Desventajas:

Aplicación limitada para recuperación de metales disueltos en aguas residuales de lavado. Requiere una periódica eliminación de sólidos capturados en el proceso.

## **7.2. Control de Contaminación Atmosférica**

Las emisiones atmosféricas pueden ser controladas utilizando equipamiento relacionado a lavadores de niebla; torres lavadoras empacadas o con atrapa nieblas tipo lamellas; filtros colectores de polvo y en ocasiones pulverizadores de agua.

Los procesos de tratamiento están asociados a ventilación de estanques de proceso, extracción de gases y recirculación de agua de los sistemas lavadores. El equipamiento puede consistir en campanas de captación de vapores y gases, ventiladores para extracción, lavador de gases y chimenea.

### **7.3. Control de Residuos Industriales Sólidos**

Los residuos sólidos generados en este tipo de proceso están asociados a los lodos y estos pueden ser detoxificados, neutralizados, precipitados, sedimentados y filtrados.

El residuo tratado corresponde a un residuo no tóxico, pero que contiene sales neutras, por ejemplo hidróxidos. En el caso de cromo, la especie trivalente es no tóxica por lo que puede ser dispuesta en vertederos regulares. Sin embargo, un problema puede ser la movilidad de metales pesados en los lodos, no depositados en forma controlada, los cuales emigrarían a las napas subterráneas.

## **8. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS**

El Plan de Manejo de Residuos Peligrosos (en adelante PMRP) está contemplado en la Propuesta de Reglamento sobre el Manejo Sanitario de los Residuos Peligrosos, reglamento que se encuentra (a febrero de 2000) en sus etapas finales de elaboración por parte del Ministerio de Salud. Un PMRP tiene por objetivo la definición de procedimientos y planificación de actividades relacionadas con el manejo de los residuos peligrosos, desde su generación hasta su disposición final o eliminación, de forma tal de resguardar la salud de las personas y minimizar los impactos al ambiente.

### **8.1. Aplicabilidad de Plan de Manejo de Residuos Peligrosos**

Refiriéndose al documento del Ministerio de Salud (1998) se tiene que el esquema de decisión para determinar la pertinencia o no del PMRP es el presentado en la Figura 2.

Un generador tendrá que realizar un PMRP tanto si genera 12 o más kg/año de residuos peligrosos tóxicos agudos y/o si produce 12.000 o más kg/año de residuos peligrosos.

Figura 2. Aplicabilidad de PMRP



## 8.2. Concepto de Residuo Peligroso

El artículo 5 de la Propuesta de Reglamento de Residuos Peligrosos del Ministerio de Salud (1998) define: "Un residuo o una mezcla de residuos se considerará como peligroso si en función de sus características de peligrosidad: toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad por lixiviación, inflamabilidad, reactividad y/o corrosividad, puede presentar riesgo para la salud pública, provocando o contribuyendo al aumento de la mortalidad o a la incidencia de enfermedades y/o presentando efectos adversos al medio ambiente cuando es manejado o dispuesto en forma inadecuada".

### **8.3. Procedimiento de Determinación de Residuos Peligrosos**

Los residuos peligrosos pueden venir casi en cualquier forma, haciendo dificultosa la determinación. Es posible encontrarlos en formas de líquido, semi-sólido, sólido, o lodos. Puede haber una serie de consideraciones prácticas que pueden ayudar a la determinación de la condición de peligrosidad.

Existen dos aproximaciones en la definición de residuo peligroso:

- a) Identificación por Listado: El sistema de listado identifica a sustancias específicas o procesos específicos.
- b) Identificación Analítica: Se identifican cuatro características para residuos peligrosos: toxicidad por lixiviación, corrosividad, reactividad e inflamabilidad. Para cada uno de ellos existen ensayos de laboratorios adoptados, los cuales están basados en la normativa de Estados Unidos.

### **8.4. Aplicación Al Rubro**

Se debe determinar primero si existen residuos peligrosos y después determinar la cantidad de los mismos. En base a lo anterior, un análisis tipo que debería hacer el generador de residuos en el rubro de Galvanoplastia es:

- a) Identificación de Materias Primas

- b) Identificación de Residuos
- c) Clasificación de Residuos (Peligrosos o no)
- d) Calificación

Las materias primas utilizadas y los tipos de residuos ya han sido definidos en los primeros capítulos de esta guía. Es necesario revisar los puntos (c) y (d) para evaluar la aplicabilidad de un PMRP en este rubro.

### 8.5. Componentes del Plan de Manejo

Un PMRP se compone de doce partes fundamentales de acuerdo a lo presentado en la Tabla 7.

Tabla 7. Componentes de un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos.

Sección	Tema	Detalle
1	Descripción de actividades	Descripción de las actividades que se desarrollan con el proceso productivo, sus flujos de materiales e identificación de los puntos en que se generan residuos peligrosos
2	Cantidad y características de residuos	Estimación de la cantidad anual de cada tipo de residuos peligrosos generados e identificación de las características de peligrosidad
3	Minimización	Plan de minimización de la cantidad y/o peligrosidad de los residuos peligrosos

Sección	Tema	Detalle
4	Almacenamiento	Diseño del sitio de almacenamiento de residuos peligrosos
5	Recolección y Transporte	Definición de los procedimientos para recoger, transportar, embalar y etiquetar los residuos
6	Profesional encargado PMRP	Definición del perfil del ingeniero civil, ingeniero de ejecución o del profesional o técnico del encargado de manejo de los residuos peligrosos generados por la instalación, así como del personal encargado de operar el sistema de manejo
7	Manejo y transporte interno	Definición de los equipos, rutas y señalización que deberán emplearse para el manejo y transporte interno de los residuos peligrosos. Debiendo considerar que el equipamiento deberá ser adecuado con el volumen, peso y forma del residuo.
8	Hojas de seguridad	Hojas de seguridad para los diferentes tipos de residuos generados en la instalación
9	Capacitación	Plan de capacitación que deberán seguir las personas que laboren en las instalaciones donde se manejan residuos peligrosos
10	Plan de contingencia	Plan de contingencia
11	Eliminación	Identificación de los procesos de eliminación a los que serán sometidos los residuos generados por la instalación o actividad
12	Registro PMRP	Definición de un sistema de registro de la generación de los residuos peligrosos, en donde se consigne al menos la cantidad en peso y/o volumen generada diariamente, la identificación de las características de peligrosidad del residuo e identificación del sitio en que se encuentra a la espera de transporte, tratamiento y/o disposición final

## 8.6. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Los problemas más importantes de salud y seguridad ocupacional en la industria de Galvanoplastia se detallan a continuación:

Efectos del Cadmio:

Perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio, disfunción renal, tumores testiculares, disfunción renal, hipertensión, arteriosclerosis, inhibición en el crecimiento, cáncer.

Efectos del Cromo hexavalente:

Cáncer pulmonar, cáncer gastrointestinal, enfermedades de la piel, úlceras, perforaciones de tabique nasal, complicaciones respiratorias.

Efectos del Plomo:

Interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos, daños al hígado y riñón, efectos neurológicos, afecciones a la piel, anemia.

Efectos del Níquel:

Enfermedad respiratoria, defectos y malformaciones en el nacimiento, cáncer pulmonar, cáncer nasal.

Efectos del Cianuro:

Daños en sistema respiratorio, mortalidad.

Las medidas para mejorar la salud ocupacional y las condiciones de trabajo son las siguientes:

1. Entrenamiento y capacitación a los trabajadores.
2. Mecanización del trabajo pesado.
3. Cubrimiento de los baños con espuma plástica, esferas, chips que reduzcan los procesos de evaporación de líquidos contaminantes.
4. Mantener los baños de cianuro y las materias primas de este compuesto, lejos de los ácidos, así se evita la generación de gases de ácido cianhídrico, que puede ocasionar muerte.
5. Al efectuar mezclas de ácido-agua, siempre adicionar el ácido sobre el agua, nunca adicionar agua sobre ácido, pues es una reacción exotérmica, con gran generación de energía.
6. Al efectuar mezclas de álcalis (bases), siempre agregar primero el agua al estanque en no más de  $2/3$  de su capacidad y luego adicionar el álcali sobre el agua, lentamente con agitación forzada de aire.
7. Traslado a aquellos trabajadores que presentan problemas a la piel, alergias u otro tipo de síntoma.

8. Distribución de ropa de protección (guantes, máscaras, botas), tapones para los oídos, etc.
9. Facilidad para mantener una buena higiene y lavado de los trabajadores
- 10.Reducción del nivel de ruidos
- 11.Optimización de las condiciones de trabajos, áreas climatizadas, áreas ventiladas (50 a 100 m<sup>3</sup>/min. por m<sup>2</sup> de superficie de baño de proceso), lugares para vestirse y agua potable
- 12.Adaptación de la jornada de trabajo.
  
- 13.Las medidas para mejorar la seguridad ocupacional son las siguientes:
- 14.Entrenamiento e instrucción de los trabajadores en las técnicas y principios de un trabajo seguro.
- 15.Rotación de trabajos y mejoramiento de la organización.
- 16.Pisos ásperos antideslizantes, para evitar resbalones y protección de seguridad de las máquinas.
- 17.Distribución de ropas de protección (botas, guantes, ropa, anteojos y máscaras).

## 9. CONCLUSIONES

Después de haber descrito los procesos que intervienen en el proceso de galvanoplastia, mas específicamente el proceso de recubrimiento de cobre a base de cianuro, vemos la infinidad de aplicaciones que tiene este método, tales como la Industria automotriz, la Industria de electrodomésticos, la Industria de grifería, la Industria sanitaria, la Industria de muebles, la Industria de artículos eléctricos/electrónicos y Industria de la construcción.

Por tal motivo, es importante difundir estos procesos y que se implanten en talleres a nivel local en la ciudad de Cartagena, dado la diversidad de empresas industriales que se encuentran allí.

Observamos que la instalación de un equipo de galvanoplastia no implica un costo grande para su implementación y que los procesos se pueden llevar a cabo fácilmente, teniendo siempre en cuenta las directrices que fielmente hemos expuesto.

Es prioritario concientizarse de la importancia de que los procesos que se efectúan en electrodeposiciones no afecten de manera directa o indirecta al medio ambiente. Esto incluye la contaminación de fuentes de líquidas, de la atmósfera o

los suelos. También incluye optimizar los procesos con el fin de prevenir accidentes al personal técnico que realiza los baños. Recuerde el lector lo peligroso que pueden ser las sustancias químicas con las cuales se trabaja.

## 10. RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones adicionales tienen que ver con el ambiente en donde se realizará la prueba de recubrimiento de cobre a base de cianuro de cobre. Este puede ser un lugar techado, pero sin paredes, para que haya una buena ventilación permanente.

Si fuera necesario trabajar en un lugar cerrado, por no contar con un lugar abierto, abra las ventanas y las puertas y tenga cerca del área de trabajo un extractor de aire o un ventilador que mueva y saque el aire.

Todas las precauciones son indispensables porque del baño de cianuro de cobre salen pequeñas emanaciones de gases tóxicos. Por ello es indispensable una ventilación constante; si así se hace, no se corre mayor riesgo.

También es necesario usar durante el baño y durante los demás procedimientos tales como decapado, desengrase, pulido, etc., los elementos de protección personal, tales como guantes, botas, anteojos y mandril.

Si acaso se salpica con algún tipo de elemento químico, debe lavarse por 15 minutos con agua corriente.

## BIBLIOGRAFÍA

LESUR, L. Manual de recubrimientos metálicos, México, D. F., 1995.

WERNER, E. Recubrimientos metálicos por vía electrolítica y química, Barcelona, .....1961.

<http://www.ugr.es/~decacien/Planes/Optica/temarios/1871116.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%F3lisis>

<http://aesf.org>

<http://www.nmfrc.org>