



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE
GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y
METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

Eddy Reynaldo García Oliva

Asesorado por el Ing. Mecánico Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala, septiembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE
GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y
METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNDA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

EDDY REYNALDO GARCÍA OLIVA

ASESORADO POR EL ING. MECÁNICO HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Willy Alfredo Contreras Morales
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE
GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y
METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de marzo de 2009


Eddy Reynaldo García Oliva

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 18 de agosto de 2009

Señor:
Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Al saludarle me dirijo a usted para informarle que he tenido a bien asesorar el trabajo de graduación titulado: **“GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA”**, desarrollado por el estudiante **Eddy Reynaldo García Oliva**, y encontrándolo satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo sugiriendo el trámite pertinente, en el entendido que el autor y asesor somos responsables del contenido y conclusiones del trabajo.

Sin otro particular me suscribo. ..

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hugo Leonel Ramírez Ortíz". The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
ASESOR

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, del estudiante Eddy Reynaldo García Oliva, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2009 .

708ndci

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales, al Trabajo de Graduación titulado GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, del estudiante Eddy Reynaldo García Oliva, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Guatemala, septiembre de 2009

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y METALOGRAFÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Eddy Reynaldo García Oliva**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, septiembre de 2009



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS A:

DIOS	Por ser guía, amigo y fortaleza en mi camino, porque nada es imposible para Él.
MIS PADRES	Juan José García González y Berta Oliva de García, por su amor, paciencia y apoyo incondicional desde el día en que nació.
MIS HERMANOS	Héctor y Mario, gracias por sus consejos y sus palabras de aliento en los momentos difíciles.
A MIS FAMILIARES	Gracias por estar a mi lado.
MI ASESOR Y AMIGO	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz, por sus consejos y orientación en este trabajo de graduación.
MIS AMIGOS	Grupo Kahuí, Walter, Omar, Otto, Alex, Andrea, Luis, Elmer, César, Delmi, Alejandro, José Luis, Wendy, Karin, Raquel.
USTED	Apreciable amigo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. GENERALIDADES

1.1. Desgaste de los metales	1
1.1.1. Mecanismo de desgaste	2
1.1.2. Factores que influyen en el desgaste	4
1.1.3. Protección contra el desgaste	6
1.2. Corrosión de los metales	7
1.2.1. Principios electroquímicos	8
1.2.2. Factores que influyen en la corrosión	10
1.2.3. Métodos para combatir la corrosión	11
1.2.3.1. Utilización de metales de alto grado de pureza	11
1.2.3.2. Empleo de adiciones de aleación	11
1.2.3.3. Utilización de tratamientos térmicos especiales	12
1.2.3.4. Diseño adecuado	12
1.2.3.5. Protección catódica	12
1.2.3.6. Empleo de inhibidores	13
1.2.3.7. Revestimientos superficiales	13
1.3. Electrólisis	13

2. TEORÍA DE ELECTRODEPOSICIÓN O GALVANOPLASTIA

2.1. Equipos y materiales	15
2.1.1. Cubas electrolíticas	15
2.1.2. Calefactores eléctricos	18
2.1.3. Sistema de agua corriente para enjuague	19
2.1.4. Ánodos: tipos y características	20
2.1.5. Fuentes de corriente continua	22
2.1.6. Equipo de protección personal	24
2.1.7. Otros equipos y materiales	27
2.2. Tratamientos previos a la electrodeposición de metales	30
2.2.1. Decapado	30
2.2.1.1. Ácidos usados	31
2.2.1.2. Formación de lodo	33
2.2.1.3. Agentes humectantes en el decapado	34
2.2.1.4. Lavado después del decapado	34
2.2.1.5. Instalaciones de decapado y su funcionamiento	36
2.2.1.6. Recubrimientos de protección	38
2.2.1.7. Sistemas de aspiración	38
2.2.1.8. Agitación de la solución	40
2.2.2. Desengrase	41
2.2.2.1. Desengrasado por disolventes	43
2.2.2.2. Desengrasado en caliente	44
2.2.2.3. Desengrasado electrolítico	45
2.3. Tratamientos posteriores a la electrodeposición de metales	47
2.3.1. Pulido	47

3. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

3.1. Práctica núm. 1: cobreado electrolítico	51
--	----

3.1.1. Solución electrolítica	52
3.1.2. Ánodos	53
3.1.3. Temperatura	53
3.1.4. Rendimiento y densidad de corriente	54
3.1.5. Defectos en el cobreado	54
3.2. Práctica núm. 2: niquelado electrolítico	57
3.2.1. Solución electrolítica	57
3.2.2. Ánodos	59
3.2.3. Temperatura	60
3.2.4. Rendimiento y densidad de corriente	60
3.2.5. Defectos en el niquelado	60
3.3. Práctica núm. 3: cromado electrolítico	64
3.3.1. Solución electrolítica	64
3.3.2. Ánodos	65
3.3.3. Temperatura	65
3.3.4. Rendimiento y densidad de corriente	65
3.3.5. Defectos en el cromado	66
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- 1 Desgaste adhesivo
- 2 Desgaste abrasivo
- 3 Corrosión en una tubería de vapor
- 4 Cuba electrolítica con agitación horizontal
- 5 Calefactores eléctricos por inmersión
- 6 Ubicación ideal de los ánodos en el proceso de galvanoplastia
- 7 Fuente de CC para industria de galvanoplastia
- 8 Distintos diseños de ganchos para suspender piezas
- 9 Sistema de agitación por oscilación vertical
- 10 Proceso de decapado en barriles tipo retorno automático
- 11 Sistema de aspiración de vapores
- 12 Agitación por medio de inyección de aire
- 13 Instalación para un proceso de desengrase en línea recta
- 14 Diagrama de flujo para el proceso de cobreado
- 15 Diagrama de flujo para el proceso de niquelado
- 16 Diagrama de flujo para el proceso de cromado

TABLAS

- I Condiciones para el cobreado en baño ácido tipo UBAC
- II Composición de la solución electrolítica para el cobreado
- III Condiciones para el niquelado mate en baño tipo Watts

- IV Composición de la solución electrolítica para el niquelado mate
- V Condiciones para el niquelado brillante
- VI Composición de la solución electrolítica para el niquelado brillante
- VII Condiciones para el cromado decorativo
- VIII Composición de la solución electrolítica para el cromado decorativo
- IX Condiciones para el cromado duro
- X Composición de la solución electrolítica para el cromado duro

LISTA DE SÍMBOLOS

OH^-	Ión hidroxilo negativamente cargado
H^+	Ión hidrógeno positivamente cargado
°F	Grados Fahrenheit
PVC	Cloruro de polivinilo
mm	Milímetro
°C	Grados Celsius o grados centígrados
CC	Corriente continua
Fe_2O_3	Óxido férrico
Fe_3O_4	Óxido ferroso – férrico
FeO	Óxido ferroso
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorhídrico
CFM	Pies cúbicos por minuto
NaOH	Soda cáustica
KOH	Potasa cáustica
A	Amperio
dm^2	Decímetro cuadrado
pH	Potencial de hidrógeno
CuSO_4	Sulfato de cobre
H_2O_2	Peróxido de hidrógeno
KMnO_4	Permanganato de potasio
cm	Centímetro
g	Gramo
lt	Litro
NiSO_4	Sulfato de níquel
NiCl	Cloruro de níquel

H_3BO_3	Ácido bórico
SLS	Lauril sulfato sódico
cm^3	centímetro cúbico
$NiCO_3$	Carbonato de níquel
CrO_3	Acido crómico
$PbCrO_4$	Cromato de plomo
Pb	Plomo
Sb	Estaño

GLOSARIO

Abrasión	Acción mecánica de rozamiento y desgaste.
Adhesión	Propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.
Anión	Ión negativo.
Ánodo	Electrodo positivo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones negativos dentro del electrolito.
Catión	Ión positivo.
Cátodo	Electrodo negativo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones positivos.
Cianuro	El cianuro es un anión monovalente de representación CN^- . El mismo contiene el grupo cianuro ($\text{C}\equiv\text{N}$), que consiste en un átomo de carbono con un enlace triple con un átomo de nitrógeno.
Decapado	Es un proceso mediante el cual se “limpian” las superficies de un elemento, previo a la aplicación de

una pintura o cualquier recubrimiento incluidos los generados por un proceso galvánico.

Electrodeposición Es un proceso electroquímico en el que se usa una corriente eléctrica para reducir cationes en una solución acuosa que los contiene para propiciar la precipitación de estos, que suelen ser metales, sobre un objeto conductor que será el cátodo de la celda, creando un fino recubrimiento alrededor de este con el material reducido.

Electrólisis Método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad.

Emulsión Formación de una mezcla de líquidos que no se separan en capas al reposar.

Erosión Proceso de sustracción de material o desgaste de una pieza por acción de procesos exógenos como las corrientes superficiales de agua, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los seres vivos.

Ión Es un átomo o una molécula cargada eléctricamente.

Paladiado Proceso de electrodeposición de paladio sobre un metal.

Peptización	Reducción de partículas sólidas de suciedad en una forma finamente dividida.
Saponificación	Formación de jabón.
Soldabilidad	Es la propiedad de unión de dos metales hasta constituir una sola unidad.
Tea	Especie de pino cuya madera es muy resinosa, de color rojizo, compacta y dura. Se usa para suelos, puertas, balcones y obras semejantes.
Tenacidad	Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones.

RESUMEN

El contenido teórico y práctico de esta guía ofrece los conocimientos generales del proceso de galvanoplastia a un nivel didáctico y demostrativo con la finalidad de incluir dicho proceso como una práctica más en el laboratorio de metalurgia y metalografía de la Facultad de Ingeniería.

El desarrollo de este trabajo de graduación inicia con un corto análisis sobre el desgaste y corrosión de los metales, puntos tratados en el capítulo 1, y complementados con una breve explicación sobre la electrólisis.

El capítulo 2 abarca la teoría de electrodeposición o galvanoplastia, concepto medular en el desarrollo de esta guía. Es en este capítulo donde se describen y ejemplifican los equipos y materiales utilizados en los distintos procesos de electrodeposición metálica, las tareas previas a someter un metal a electrodeposición (decapado y desengrase) y los tratamientos posteriores que recibe una pieza que ha sido trabajada.

Por último, en el capítulo 3 se enumeran las prácticas de laboratorio de los procesos en los que se ha centrado esta guía: cobreado, niquelado y cromado. Cada uno de estos procesos industriales, citados individualmente, presenta los conceptos teóricos sobre soluciones electrolíticas, ánodos, temperatura y posibles defectos, a la vez que incluyen las tablas que muestran las proporciones de las variables involucradas en cada uno de ellos.

OBJETIVOS

General:

Implementar una guía para el proceso de galvanoplastia en el laboratorio de metalurgia y metalografía de la Facultad de Ingeniería.

Específicos:

1. Conocer las causas del desgaste y corrosión de los metales, sus consecuencias y las formas de evitar su propagación.
2. Definir los procesos y condiciones de aplicación de depósitos catódicos en diferentes tipos de metales.
3. Comprender las variables involucradas en cada uno de los diferentes tipos de electrochapado, cómo manejarlas y cómo adecuarlas para obtener los mejores resultados en nuestras prácticas de galvanoplastia.
4. Elaborar los diagramas de flujo básicos y concisos de los procesos de cobreado, niquelado y cromado de metales.

INTRODUCCIÓN

El desgaste de los metales, particularmente debido a la corrosión, es la causa de millonarias pérdidas económicas en la industria mundial. Un estudio efectuado por el National Bureau of Standards de los Estados Unidos señala que, tomando como base el año 1975, los costos totales de la corrosión metálica pueden estimarse en el orden de los 70 billones de dólares; el estudio señala que aproximadamente un 15%, es decir, 10.5 billones de dólares, pudo haberse evitado.

Los problemas generados por la corrosión se dejan sentir en tres áreas principales:

1. económica (pérdidas directas e indirectas)
2. conservación de los recursos (agotamiento de las reservas naturales)
3. seguridad humana (fallos fatales en medios de transporte, por ejemplo)

Pero se preguntará el lector de este trabajo de graduación: ¿qué papel juega la industria galvanoplástica en la reducción de costos por corrosión de metales?

Para obtener una respuesta a esta interrogante bastará con llevar a nuestra mente imágenes de objetos metálicos que comúnmente utilizamos y que han sido elaborados bajo procesos galvanoplásticos: la estantería metálica de nuestros libros, el grifo del lavatrastos, las patas de la silla que está en la oficina, la engrapadora, las llaves de nuestro auto, la cadena de oro que llevamos al cuello, muchas de las piezas de la motocicleta o del auto, en fin,

nunca nos imaginamos lo relacionados que estamos con este proceso poco conocido en nuestra región.

Es más fácil ubicar los procesos galvanoplásticos por separado, así, el cromado, niquelado, zincado, paladiado, cobreado, etc. son términos más amigables y conocidos.

A diferencia de otros procesos de protección de metales contra la corrosión, como la galvanización por inmersión, la galvanoplastia ofrece un valor agregado a la protección en sí, y es la estética del acabado final. Desde piezas muy pequeñas como dispositivos electrónicos, hasta estructuras grandes como torres o estanterías, pasando por muebles, adornos, accesorios y prendas de vestir, la industria galvanoplástica coadyuva a la reducción de costos por efectos de la corrosión de los metales siendo, hasta hace muy pocos años, una técnica o proceso desarrollado artesanalmente.

1. GENERALIDADES

1.1 Desgaste de los metales

La calidad de la mayoría de los productos de metal depende de la condición de sus superficies y del deterioro de la superficie debido al uso. Este deterioro es importante también en la práctica de la Ingeniería; suele ser el factor principal que limita la vida y el desempeño de las componentes de una máquina. El desgaste se puede definir como el deterioro no intencional resultante del empleo o del ambiente; puede considerarse esencialmente como un fenómeno de superficie. El desgaste es una de las influencias más destructivas a que están expuestos los metales, y la importancia de la resistencia al desgaste no necesita ampliarse.

El desplazamiento y la separación de las partículas mecánicas de una superficie mecánica puede producirse por contacto con: a) otro metal (desgaste adhesivo metálico), b) un abrasivo metálico o uno no metálico (abrasión), o c) líquidos o gases en movimiento (erosión). La erosión se acompaña generalmente por alguna forma de corrosión. Los tipos de desgaste mencionados pueden subdividirse en desgaste por fricción rodante o por fricción deslizante y, además, de acuerdo a si puede utilizarse o no la lubricación.

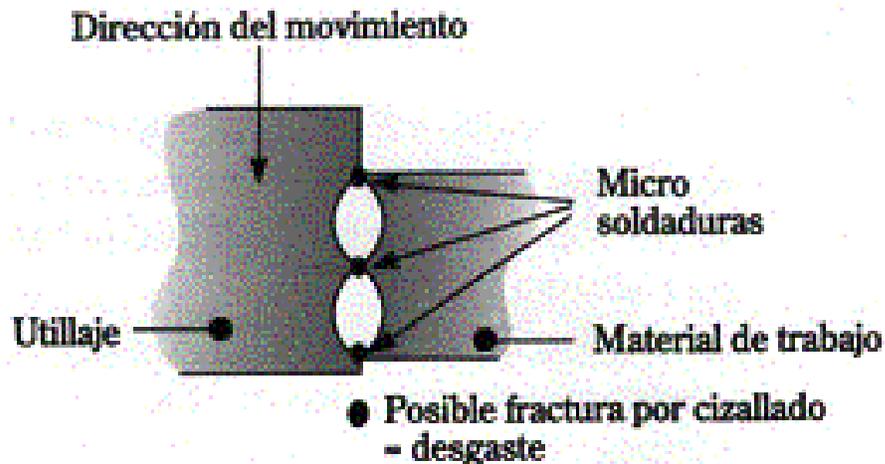
El desgaste que implica un solo tipo es raro, y en la mayoría de los casos ocurren el desgaste abrasivo y el adhesivo. Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones, incluyendo ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas que se acoplan, lubricante, temperatura, dureza, terminado de la superficie, presencia de partículas extrañas, y su composición y compatibilidad de las piezas de acoplamiento implicadas. Como en la mayoría de las aplicaciones mecánicas, el desgaste

rara vez puede evitarse por completo aún con la mejor lubricación; es práctica común utilizar un metal duro y uno relativamente blando en forma conjunta. El material más suave se emplea (como en un cojinete) para la pieza más económica de reemplazar.

1.1.1 Mecanismo de desgaste

En el desgaste adhesivo, también llamado rayado, erosión, prendimiento y ludimiento de las superficies, pequeñísimas salientes producen fricción por interferencia mecánica, con movimiento relativo de las superficies en contacto que incrementan la resistencia para movimiento ulterior. Como puede verse en la figura 1, si la fuerza de impulso es suficiente para mantener el movimiento, las partículas interlazadas se deforman. Si son de un material frágil, pueden arrancarse de lo cual se llega a la conclusión de que la resistencia al desgaste se mejorará evitando el contacto metal - metal e incrementando la dureza para resistir el mellado inicial, aumentando la tenacidad para resistir la separación violenta de las partículas metálicas, e incrementando la uniformidad de la superficie para eliminar las salientes.

Figura 1. Desgaste adhesivo

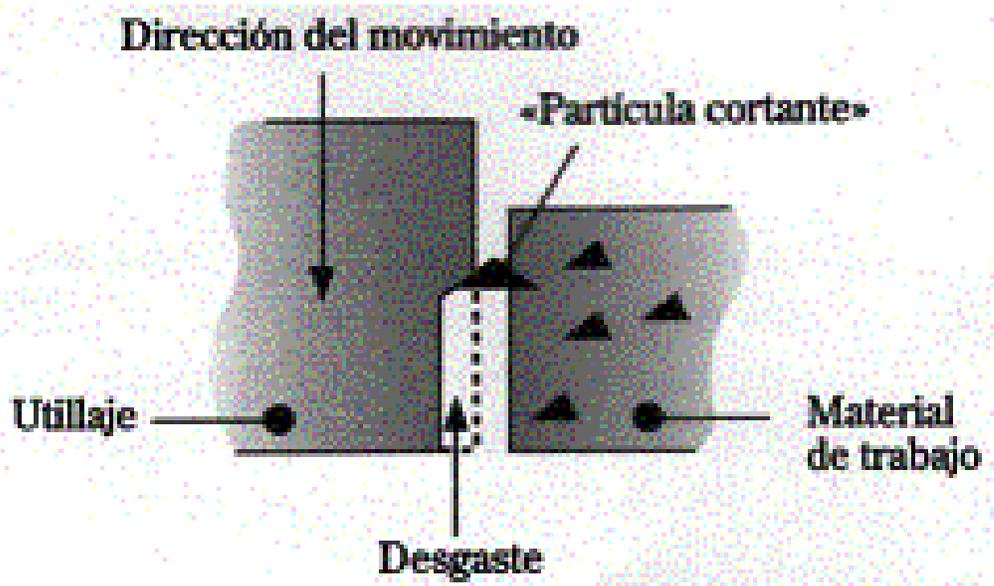


Fuente: www.austenit.com/mecanismodefallo.htm, junio 2009

En la figura 2 observamos que el desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, o cuando una superficie dura se frota a través de otra. Las partículas desgastadas por rozamiento del objeto más duro tienden a rasguñar o acanalar al material más suave. Estas partículas duras también pueden penetrar al metal más suave y producir la violenta separación de las partículas metálicas.

La facilidad con que el metal deformado puede arrancarse violentamente depende de la tenacidad; por tanto, la dureza y la tenacidad, las mismas propiedades que influyen en el desgaste adhesivo, también determinan el desgaste abrasivo. De estos dos factores, la dureza es probablemente el más importante.

Figura 2. Desgaste abrasivo



Fuente: www.austenit.com/mecanismodefallo.htm, junio 2009

1.1.2 Factores que influyen en el desgaste

La lubricación es un factor de contribución importante para la resistencia al desgaste, sobre todo en desgaste adhesivo. En lubricación de “película gruesa”, una película de lubricación suficientemente gruesa elimina por completo el contacto metálico, y el desgaste metálico se reduce a una cantidad despreciable; sin embargo, esta es la condición ideal y se da con más frecuencia la “lubricación límite”. Esta es la condición de contacto metálico intermitente que ocurre cuando la película de aceite no puede mantenerse continuamente. En condiciones límite, la cantidad de desgaste depende de la velocidad, de la presión, de la naturaleza de las superficies de apareamiento y de la eficacia de la película residual de aceite; empero, en muchos casos, la lubricación no es práctica, o no se necesita, como en el sistema de frenos.

Aunque la fusión (derretimiento) verdadera del metal ocurre sólo en casos raros, el efecto del calor producido por desgaste seco puede reducir la resistencia al desgaste en diversas formas. Puede revenir estructuras endurecidas, producir cambios de fase que incrementan la dureza y la fragilidad y disminuir las propiedades mecánicas, y acelerar las reacciones de corrosión.

El factor dominante producido por fricción en los materiales no metálicos se cree que sea la soldadura. Los átomos de metales iguales o cristalográficamente similares tienen fuerzas de cohesión muy intensas. Cuando dos superficies limpias del mismo metal se tocan efectivamente entre sí, se soldarán debido a la atracción atómica. Si, por fricción, se aplica suficiente presión para romper a través de cualquier material residual de separación, tal como aceite, polvo o humedad absorbida, y las superficies están en contacto suficiente para que tenga lugar una deformación elástica o plástica, tiene lugar el aferramiento o la soldadura. El suavizamiento de metales por altas temperaturas incrementa la facilidad de deformación plástica u facilita la soldadura. La adhesión puede causar que el movimiento se detenga por completo o, si no se evita el movimiento relativo, pueden arrancarse algunos pedazos de la cara opuesta. La protuberancia resultante puede producir rasguñado, dañado y excesivo desgaste local.

Muchos métodos pueden utilizarse para minimizar el peligro de adhesión. Uno es emplear capas delgadas de material duro de revestimiento. La utilización de por lo menos un metal que forme alguna clase de película de lubricación o un revestimiento delgado, de óxido, sulfuro o fosfuro estrechamente adherible suele ser útil. El óxido de aluminio es muy efectivo para evitar la soldadura. Para piezas que funcionan bajo presiones tan altas que la deformación elástica permite contacto íntimo, el mejor método preventivo es un lubricante que se combine con la superficie del metal a fin de formar un

producto de “corrosión” de suficiente resistencia para mantener las superficies separadas. El uso de materiales de límite elástico alto minimizará la adherencia debido al contacto íntimo producido por deformación plástica.

El impacto es un factor en el desgaste, ya que la carga aplicada repentinamente puede producir flujo plástico y un cambio en forma. Un diseño adecuado debe proporcionar una resistencia a la cadencia compresiva en la superficie, superior al esfuerzo compresivo producido por las cargas aplicadas con impacto y suficiente soporte, de manera que no ocurra flujo subsuperficial.

La falla por fatiga se incluye en un estudio de desgaste, ya que es una deterioración gradual debida al uso. Un diseño adecuado para eliminar las concentraciones de esfuerzos en muescas y ángulos agudos incrementará la resistencia a la fatiga. Como las fallas por fatiga se deben siempre a esfuerzos tensiles, un esfuerzo residual compresivo en la superficie proporcionará protección adicional. Esto puede llevarse a cabo por endurecimiento superficial como carburización y por picamiento con un chorro de perdigones.

1.1.3 Protección contra el desgaste

Hay disponibles muchos materiales y métodos para proteger contra el desgaste. La selección de un material y proceso específicos requiere un análisis concienzudo de las condiciones reales de servicio, un conocimiento de la aplicabilidad y limitaciones del material y proceso particulares, y datos referentes al costo implicado. La falta de datos de ingeniería disponibles para comparaciones impone la necesidad de que el ingeniero o el técnico que selecciona los materiales para soportar el desgaste tenga un buen juicio.

1.2 Corrosión de los metales

En sentido amplio, la corrosión puede definirse como la “destrucción de un material por interacción química, electroquímica o metalúrgica entre el medio y el material”. Generalmente es lenta, pero de carácter persistente. En algunos ejemplos, los productos de la corrosión existen como una película delgada adherente que solo mancha o empaña el metal y puede actuar como un retardador para ulterior acción corrosiva. En otros casos, los productos de la corrosión son de carácter voluminoso y poroso, sin ofrecer ninguna protección.

La principal causa de la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas; los mismos tienden a volver a sus estados originales a través de los procesos de corrosión.

En la figura 3 podemos observar un ejemplo de corrosión originada en el interior de una tubería de vapor y, debido a falta de mantenimiento, se exteriorizó, causando con ello una degradación mucho más acelerada de la tubería.

Figura 3. Corrosión en una tubería de vapor



Fuente: www.materialsengineer.com/CA-corrosion.htm, junio 2009

1.2.1 Principios electroquímicos

La corrosión es esencialmente un proceso electroquímico que origina parte o el total del metal que está transformándose del estado metálico al iónico. La corrosión requiere un flujo de electricidad entre ciertas áreas de la superficie de un metal a través de un electrolito, el cual es cualquier solución que contiene iones. Los iones son átomos o grupos de átomos eléctricamente cargados; por ejemplo, el agua pura contiene iones hidrógeno positivamente cargados (H^+) y iones hidróxido negativamente cargados (OH^-) en cantidades iguales. Por tanto, el electrolito puede ser agua pura, agua salada, o soluciones ácidas o alcalinas de cualquier concentración. Para completar el circuito eléctrico, debe haber dos electrodos, un ánodo y un cátodo, mismos que deben

conectarse. Los electrodos pueden ser dos diferentes clases de metales o distintas áreas sobre la misma pieza de metal. La conexión entre el ánodo y el cátodo puede ser mediante un puente metálico, pero en la corrosión se lleva a cabo simplemente por contacto. Para que fluya la electricidad, debe haber una diferencia de potencial entre los electrodos.

Si una pieza de hierro común se coloca en una solución de ácido hidroclicó, se observará un vigoroso burbujeo de gas hidrógeno. Sobre la superficie del metal hay numerosas y pequeñísimas áreas cátodo y ánodo producidas por las inclusiones en el metal, las imperfecciones superficiales, los esfuerzos localizados, la orientación de los granos o quizá las variaciones en el medio. En el ánodo, los átomos de hierro positivamente cargados se separan por sí mismos de la superficie sólida y entran a la solución como iones positivos, mientras que las cargas negativas, en la forma de electrones, se dejan atrás en el metal. En el cátodo, los electrones chocan y neutralizan algunos iones hidrógeno positivamente cargados, los cuales han llegado a la superficie a través del electrolito. Al perder su carga, los iones positivos llegan a ser átomos neutrales nuevamente y se combinan para formar gas hidrógeno. Así, conforme este proceso avanza, la oxidación y la corrosión del hierro se presentan en los ánodos, y el desvestimiento de hidrógeno ocurre en los cátodos. La cantidad de metal que se disuelve es proporcional al número de electrones que fluyen, lo cual a su vez depende del potencial y de la resistencia del metal.

Para que la corrosión prosiga, es necesario eliminar los productos de corrosión del ánodo y del cátodo. En algunos casos, la evolución del gas hidrógeno en el cátodo es muy lenta, y la acumulación de una capa de hidrógenos sobre el metal retarda la reacción, lo cual se conoce como *polarización catódica*; sin embargo, el oxígeno disuelto en el electrolito puede

reaccionar con hidrógeno acumulado para formar agua, permitiendo de este modo que la corrosión avance. Para hierro y agua, la rapidez de eliminación de la película depende de la concentración efectiva de oxígeno disuelto en agua adyacente al cátodo. Esta concentración efectiva depende, a su vez del grado de aceleración, de la cantidad de movimiento, de la temperatura, de la presencia de sales disueltas y de otros factores.

Los productos de los procesos del ánodo y del cátodo frecuentemente chocan y entran en reacciones posteriores que dan muchos de los comunes y visibles productos de corrosión; por ejemplo, con hierro en agua, los iones hidróxido formados por la reacción catódica, en su migración a través del electrolito hacia el ánodo, encuentran iones ferrosos que se mueven en la dirección opuesta, y se combinan para formar hidróxido férrico, el cual se precipita como en forma de herrumbre de hierro. Dependiendo de la alcalinidad, del contenido de oxígeno y de la agitación de la solución, esta herrumbre se puede formar ya sea lejos de la superficie de hierro o muy próxima a ella, donde puede ejercer más influencia sobre el ulterior progreso de corrosión.

1.2.2 Factores que influyen en la corrosión

Uno de los factores más importantes que influyen en la corrosión es la diferencia en potencial eléctrico de metales no similares cuando están acoplados conjuntamente y sumergidos en un electrolito. Este potencial se debe a las naturalezas químicas de las regiones anódica y catódica.

1.2.3 Métodos para combatir la corrosión

Muchos métodos se emplean industrialmente para evitar la corrosión mediante la selección de la aleación y estructura propias o por medio de protección de la superficie de un material dado. Los métodos más importantes son:

1.2.3.1 Utilización de metales de alto grado de pureza

En la mayoría de los casos, la utilización de metales con alto grado de pureza tiende a reducir la corrosión por agujeros en la superficie, minimizando las inhomogeneidades, con lo cual se mejora la resistencia a la corrosión.

1.2.3.2 Empleo de adiciones de aleación

Las adiciones de aleación pueden reducir la corrosión mediante diversos métodos; por ejemplo, los aceros austeníticos inoxidable, cuando se enfrían a través de un intervalo de temperatura desde unos 900 hasta 1,400 °F, precipitan carburos de cromo en las fronteras del grano, precipitación que agota el cromo en las fronteras y las hace susceptibles a corrosión intergranular. Este tipo de corrosión puede evitarse ya sea reduciendo el contenido de carbono a un valor bajo (inferior a 0.03%) o convirtiendo el carburo a una forma más estable. El último método se utiliza más ampliamente e incluye la adición de titanio o columbio. Estos elementos tienen gran afinidad por el carbono, produciendo carburos muy estables que no son solubles en austenita a alta temperatura. Esto deja muy poco carbono disponible para combinarlo con el cromo y da como resultado lo que se conoce como *acero inoxidable estabilizado*. Algunas adiciones de aleación mejoran la resistencia a la corrosión formando películas de óxido superficial no porosas y adherentes o

ayudando a su formación. Esto es particularmente cierto en adiciones de manganeso y aluminio a aleaciones al cobre, en adiciones de molibdeno a aceros inoxidable, y en adiciones de magnesio a aluminio.

1.2.3.3 Utilización de tratamientos térmicos especiales

El tratamiento térmico que origina la homogenización de soluciones sólidas, especialmente en aleaciones fundidas que están sujetas a una composición variable de cristales individuales a través de la pieza fundida, tiende a mejorar la resistencia a la corrosión. Los tratamientos para suprimir las tensiones ocasionadas por el trabajo en frío se aplican mucho para mejorar la resistencia de las aleaciones susceptibles a corrosión por esfuerzo.

1.2.3.4 Diseño adecuado

El diseño adecuado debe mantener contacto con el agente de corrosión a un mínimo. Las uniones deben diseñarse adecuadamente para reducir la tendencia a que los líquidos entren y sean retenidos. El contacto entre materiales alejados en la serie electromotriz debe evitarse; en caso contrario, deben separarse por hule o plástico para reducir la posibilidad de corrosión galvánica.

1.2.3.5 Protección catódica

La protección catódica se obtiene colocando el metal, que normalmente sería corroído, en contacto eléctrico con uno que esté encima de él en la serie galvánica o, en otras palabras, uno más electronegativo. De este modo, el metal más activo llega a ser el ánodo, lo cual es esencialmente una batería galvánica en la que el metal corroíble se hace para funcionar como el cátodo.

Los metales utilizados generalmente para proporcionar este tipo de protección son el zinc y el magnesio.

1.2.3.6 Empleo de inhibidores

Los inhibidores son agentes químicos que cuando se añaden a la solución corrosiva, reducen o eliminan su efecto corrosivo. En la mayoría de los casos, el inhibidor formará una capa protectora sobre la superficie del metal. Los inhibidores se agregan a las mezclas anticongelantes utilizadas en los radiadores de los automóviles. Cuando se agrega a la solución corrosiva, los agentes de oxidación producirán películas de óxido sobre aluminio, cromo y manganeso.

1.2.3.7 Revestimientos superficiales

Los revestimientos de las superficies abarcan pinturas, películas de óxido y de sal y revestimientos metálicos.

1.3 Electrólisis

La electrólisis es un método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad: se produce en primer lugar la descomposición en iones, seguido de diversos efectos o reacciones secundarios según los casos concretos.

Electrólisis procede de dos radicales: *electro*, que hace referencia a electricidad, y *lisis*, que quiere decir *rotura*.

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 potencia 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 de la transferencia de calor, aunque éste puede ser producido en un proceso electrolítico, por tanto, la eficiencia del proceso puede ser cercana al 100%.

2. TEORÍA DE ELECTRODEPOSICIÓN O GALVANOPLASTIA

La galvanoplastia es el proceso basado en el traslado de iones metálicos desde un ánodo a un cátodo en un medio líquido, compuesto fundamentalmente por sales metálicas y ligeramente acidulado.

Desde el punto de vista de la física, es la electrodeposición de un metal sobre una superficie para mejorar sus características. Con ello se consigue proporcionar dureza, duración, o ambas.

2.1 Equipos y materiales

2.1.1 Cubas electrolíticas

Las cubas o bateas, deben reunir ciertas condiciones que son fundamentales: deben resistir el ataque de los ácidos, no contaminar el electrolito, no ser conductoras de la corriente eléctrica y, además, deberán quedar separadas del piso para no sufrir los efectos corrosivos de los líquidos derramados.

En general son utilizadas cubas confeccionadas de chapa de hierro revestidas interiormente con ebonita, o cubas de polietileno o polipropileno, o de resina poliéster o epóxi con fibra de vidrio. También suelen utilizarse, con buenos resultados en función de su aplicación, las cubas de hierro recubiertas con PVC o con pinturas antiácidas.

Actualmente, se utiliza en muchos casos la cuba metálica, construida con chapa de hierro, soldada o plegada. En su parte superior lleva un labio de refuerzo, el cual se utiliza, aislado, como soporte de barras anódicas y

catódicas. Estas cubas van siempre recubiertas interiormente. Los forros metálicos están formados generalmente por plomo en plancha, soldadas las uniones con soldadura autógena pero empleando plomo sin estaño como material de unión.

En general las dimensiones de las cubas (largo, ancho y altura), obedecen a razones de orden práctico, ya que deben tenerse en cuenta todos los implementos que deberán ir necesariamente sumergidos, como calentadores, ánodos, intercambiadores de calor, ánodos auxiliares, etcétera. También se debe considerar el tamaño de las piezas a procesar, como así también la producción que se desea obtener. Es un dato a tener muy en cuenta en el diseño, el hecho de prever una zona libre en el fondo de la batea, para que se asienten los posibles residuos del electrolito.

Los revestimientos de goma vulcanizada, han sido usados en cubas para electrólisis. Este proceso de engomado es conocido normalmente como *ebonitado*. Si bien es cierto que su preparación exige mano de obra especializada, la larga duración de los baños protegidos con goma, compensa el elevado costo relativo de los mismos. Su uso no es general, y por eso se recomienda informarse antes de encarar la construcción de una cuba para su posterior ebonitado.

La precaución que se debe tener con los recubrimientos de ebonita, es la de efectuar un correcto curado superficial antes de su utilización. Esto se realiza llenando el interior de la batea con una solución diluida al 5 o 10 % de ácido sulfúrico o clorhídrico, y dejándolo reaccionar durante 12 a 24 horas. Esta acción le produce un curado a nivel superficial, retirándole a la misma, restos de impurezas orgánicas y/o metálicas, que podrían llegar a provocar contaminaciones, especialmente cuando se use con baños de níquel.

Respecto a otros tipos de recubrimiento, como la resina poliéster o epóxi con fibra de vidrio, se utilizan habitualmente en bateas que no trabajen con demasiada temperatura. La desventaja de estos polímeros, es el envejecimiento natural que tienen, incrementado por la acción de los electrolitos. Para este tipo de uso, se nota una mayor resistencia y duración por parte de las resinas epóxi, respecto a las de poliéster. Se debe trabajar con espesores no menores a 3 mm, con refuerzos externos de hierro, formando una jaula o bastidor de contención. Deberá tenerse en cuenta que hay soluciones electrolíticas en las que se especifica la no utilización de este tipo de bateas, ya que se produce un envejecimiento prematuro del material.

Una formación de cubas electrolíticas en una planta industrial de galvanoplastia se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Formación industrial de cubas electrolíticas



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 283

2.1.2 Calefactores eléctricos

La calefacción eléctrica es el sistema que fue ampliamente adoptado como método más práctico, aún sin ser el más económico.

La gran ventaja de este sistema es la precisión en alcanzar una temperatura predeterminada, con un margen de tolerancia muy reducido, del orden de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, mediante un simple sistema termostático mecánico o electrónico.

Los calefactores eléctricos son resistencias, construidas en vainas metálicas, de cuarzo o vidrio térmico. Su uso se ha generalizado por ser fácil su montaje en cualquier zona de la batea, como también por su relación costo-beneficio relativamente baja.

Es muy importante para los baños que funcionan a temperatura ambiente, que la misma no sea inferior a 17°C , ya que en algunos baños alcalinos, se producen efectos de cristalización y, por ende, disminución de la densidad. Para solucionar este inconveniente, se puede calentar una porción del electrolito retirándola de la cuba, para elevar así, la temperatura de todo el conjunto, o bien disponer de un calentador eléctrico auxiliar, para compensar en forma rápida un enfriamiento anormal de los baños.

Figura 5. Calefactores eléctricos por inmersión



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 571

2.1.3 Sistema de agua corriente para enjuague

El taller debe contar con una instalación completa de agua corriente, para enjuague de piezas y limpieza en general.

Es muy importante estudiar la ubicación de los baños siguiendo el orden operativo del trabajo. Se deben disponer los distintos tipos de cubas (desengrase, decapado, enjuague, secado, etcétera) de tal forma que no impliquen un trastorno operativo.

Cerca de cada baño, electrolítico o no, se deberá colocar un recipiente de enjuague, normalmente denominado *enjuague de recuperación*, ya que en él se concentrarán los restos de la solución de la cual provienen las piezas, y se puede utilizar esta para suplir el electrolito evaporado del correspondiente baño.

Además de los enjuagues mencionados, se deberá disponer de cubas de enjuague con agua circulante o corriente, la cual deberá renovarse continuamente para evitar posibles contaminaciones por transporte de residuos de distintos electrolitos o soluciones.

Este sistema podrá ser ideado con un método de desborde o cascada de tres cubas, las que se montarán a distinta altura, formando una escalera. La cuba superior, será alimentada por agua corriente, y las inferiores, recogerán el desborde de la primera. Los enjuagues se realizarán partiendo de la cuba inferior hasta llegar a la más alta, la que contendrá agua totalmente limpia y libre de residuos.

2.1.4 Ánodos: tipos y características

En todos los procesos electrolíticos se deben utilizar ánodos, los cuales pueden ser según la aplicación, *solubles, insolubles inertes o insolubles catalizables*. En la gran mayoría de los baños, el metal depositado proviene de ánodos solubles, que aportan a la solución, el material necesario para que las sales disociadas en la misma se vuelvan a formar luego de haberse adherido sobre el cátodo sus iones metálicos. El rendimiento catódico óptimo es del 100%, lo que quiere decir que por una cantidad determinada de metal depositado, la misma cantidad será disuelta de los ánodos. Generalmente, el rendimiento anódico no es el óptimo, sino que posee valores inferiores, dependiendo esto de las condiciones de trabajo, del electrolito y de la agitación catódica y de la solución.

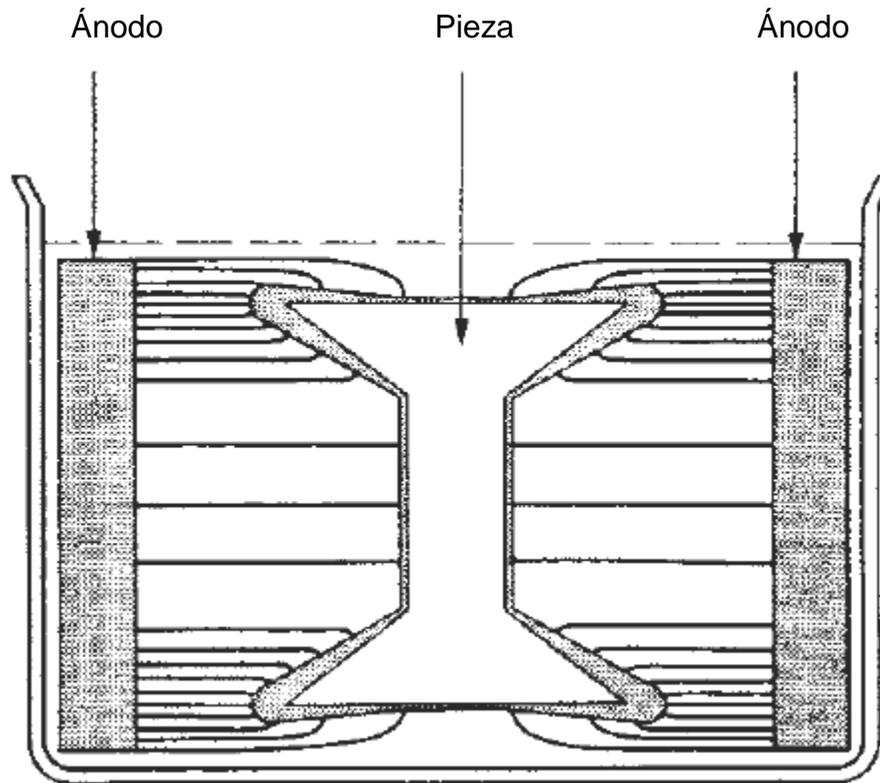
En el caso de ánodos insolubles, estos cumplen la función de cerrar el circuito eléctrico a través de la solución con el cátodo, pero al no disolverse, no aportan metal al electrolito, provocando una merma de dicho contenido en el

baño a medida que se incrementa el espesor del depósito. Esto genera, además, problemas adicionales respecto a la concentración y degradación de sales que el mismo contenga.

En los baños electrolíticos, los ánodos deben estar recubiertos con fundas de tela resistente a los distintos productos químicos utilizados en galvanoplastia. La razón es evitar en la solución partículas metálicas en suspensión, producto del ataque de los ánodos. De esta forma, estos sólidos quedan retenidos en las fundas, sin perjuicio de la solución ni de su depósito.

En casos muy específicos, es necesario recurrir al uso de ánodos auxiliares, los que son muy útiles para realizar recubrimientos electrolíticos en interiores, para la obtención de una buena distribución del depósito, incrementando las características de penetración del baño utilizado.

Figura 6. Ubicación ideal de los ánodos en el proceso de galvanoplastia



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 214

2.1.5 Fuentes de corriente continua

Se denominan comúnmente rectificadores a las fuentes de corriente continua encargadas de proveer la energía eléctrica necesaria para realizar los diversos procesos galvánicos.

Los equipos rectificadores están constituidos básicamente por un transformador y un puente rectificador, tal y como vemos en la figura 7. El transformador cumple la función de separar la línea de entrada de la salida de baja tensión. El puente rectificador, convierte la corriente alterna en corriente

continua. Dependiendo del tipo de puente rectificador, la corriente continua será de mayor o menor calidad. La variación que pueda quedar sobre la corriente continua así obtenida se denomina *ripple*. A mayor valor de *ripple*, la calidad de corriente continua desmejora. Para determinados electrolitos como por ejemplo el cromo, estas variaciones deben ser reducidas al mínimo posible. La corriente continua obtenida de un equipo trifásico es mucho más pura que la de uno monofásico.

Figura 7. Fuente de CC para industria de galvanoplastia



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 511

2.1.6 Equipo de protección personal

En toda empresa existen situaciones inquebrantables de peligro y, ante esta ineludible situación, los empresarios, técnicos, gerentes y demás personal técnico y obrero, han diseñado estrategias a objeto de evitar el constante índice de accidentes laborales en la industria en general; sin embargo, a pesar de que se recomienda buscar el epicentro del problema para atacar y solucionar el mismo de raíz, esto no siempre es posible. Es por tal motivo que los dispositivos de protección personal juegan un rol fundamental en la higiene y seguridad del operario, ya que los mismos se encargan de evitar el contacto directo con superficies, ambiente, y cualquier otro ente que pueda afectar negativamente su existencia, aparte de crear comodidad en el sitio de trabajo.

El equipo de protección personal que se mencionará a continuación tiene como propósito principal prevenir los accidentes que pudieran alterar la salud de los estudiantes en el desarrollo de las prácticas de galvanoplastia en el laboratorio de metalurgia y metalografía.

Este equipo se utilizará en áreas donde los riesgos a los que se está expuesto no pueden evitarse de otra forma. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que este equipo de seguridad no va a desaparecer los riesgos presentes, sino que junto con actitudes responsables (como el tener la información necesaria para el manejo de materiales peligrosos y manejo de equipos) y buenas instalaciones, se asegurará la seguridad y salud de los usuarios.

Los riesgos a los que se puede estar expuesto en las áreas de trabajo pueden ser:

- Riesgos físicos, como temperaturas extremas, material punzocortante o abrasivo, etcétera.
- Riesgos químicos que implica el manejo de productos químicos peligrosos como ácidos, bases, productos inflamables, explosivos y tóxicos, entre otros.

El equipo de seguridad personal a usarse en el área de trabajo debe seleccionarse en base a los siguientes puntos:

- Identificar los riesgos en el área de trabajo y determinar si para éstos se requiere del uso de cierto tipo de equipo de protección. Debe considerarse que un riesgo puede traer consigo otros, por lo que este punto debe analizarse con cuidado.
- Elegir el equipo de seguridad en base a la información proporcionada por el proveedor con sus limitaciones, ya que el equipo seleccionado debe proporcionar un grado de protección mayor que el requerido. Un ejemplo a este respecto es la elección de guantes para un trabajo constante con ácido sulfúrico concentrado, deben elegirse aquellos elaborados con neopreno, nitrilo o tyvek, entre otros, pero no usar guantes de cirujano o de hule natural en general, ya que este material no es resistente al ácido. De aquí la importancia de tener en cuenta que los materiales utilizados en la elaboración del equipo de seguridad tienen especificaciones muy especiales. Otro factor importante en la elección podría ser el costo de los diferentes materiales.
- El equipo debe ser lo más confortable posible, una talla inadecuada o falta de visibilidad podría causar accidentes serios o no dar la protección adecuada.

El mantener este equipo limpio y en buenas condiciones es un punto muy importante que debe tenerse en cuenta, pues si esto no se cumple, pueden tenerse problemas que agudicen los riesgos inherentes en el trabajo diario. Así, por ejemplo, una limpieza pobre en los lentes de seguridad puede generar infecciones o alergias en los ojos o áreas alrededor de ellos. Si no se revisan constantemente las condiciones en que se encuentran los guantes utilizados al manejar productos químicos, estos pueden penetrar poco a poco y generar, a la larga, lesiones graves en las manos. Como estos casos pueden citarse varios ejemplos con cada uno de los diferentes tipos de equipo de seguridad personal, pero estos pueden ser suficientes para resaltar la importancia de este punto.

De manera general

- Usar bata y lentes de seguridad siempre que se realicen prácticas de galvanoplastia.
- Usar las campanas de extracción de gases siempre que se trabaje con productos que desprendan vapores inflamables, tóxicos o de olor desagradable.
- Usar zapatos cerrados evitando que sean de tela; nunca zapatos abiertos.
- Usar el equipo de seguridad proporcionado, revisándolo antes de que sea usado, para asegurarse que se encuentra en buenas condiciones.
- Cuidar el equipo de protección que se proporciona y mantenerlo limpio.
- Utilizar el equipo de protección cuidadosamente de manera que no se contamine uno mismo con él.
- Lavarse las manos antes de salir del laboratorio.

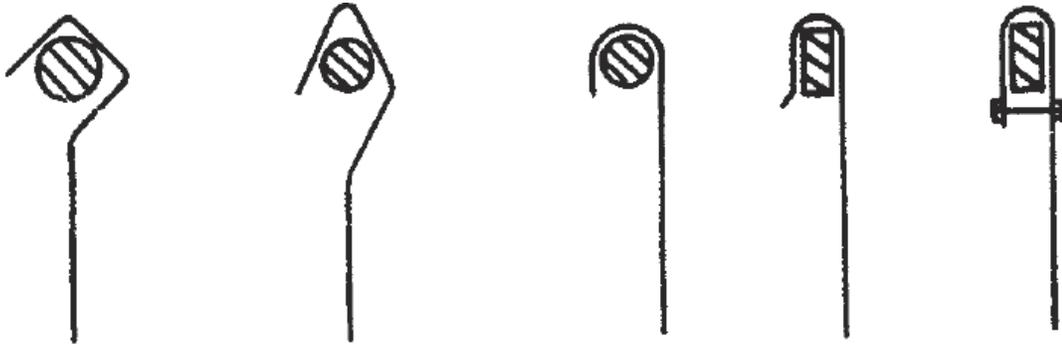
- No comer, beber ni almacenar alimentos en las áreas de trabajo.
- No utilizar el equipo de laboratorio para contener alimentos.
- Evitar el uso de lentes de contacto.
- Mantener limpia y ordenada el área de trabajo.
- Mantener despejadas las salidas de las áreas de trabajo y las instalaciones de emergencia como extintores, regaderas y lavajos.
- No tirar residuos de productos peligrosos al drenaje. Para algunos de ellos será necesario un tratamiento previo, otros deberán de confinarse.
- Conocer los peligros potenciales que se tienen en las áreas de trabajo y del equipo de protección con que se cuenta. Además de lo que debe hacerse en caso de emergencia.

2.1.7 Otros equipos y materiales: ganchos, bastidores, etcétera.

Estos sistemas se utilizan con frecuencia para sujetar y mantener las piezas dentro del electrolito. Son usualmente utilizados cuando se deben procesar grandes lotes de piezas con el mismo formato.

Existen diferencias de diseño y construcción (ver figura 8), las cuales deberán ajustarse al formato y tamaño de las piezas, y a la producción que se deba obtener de ellas.

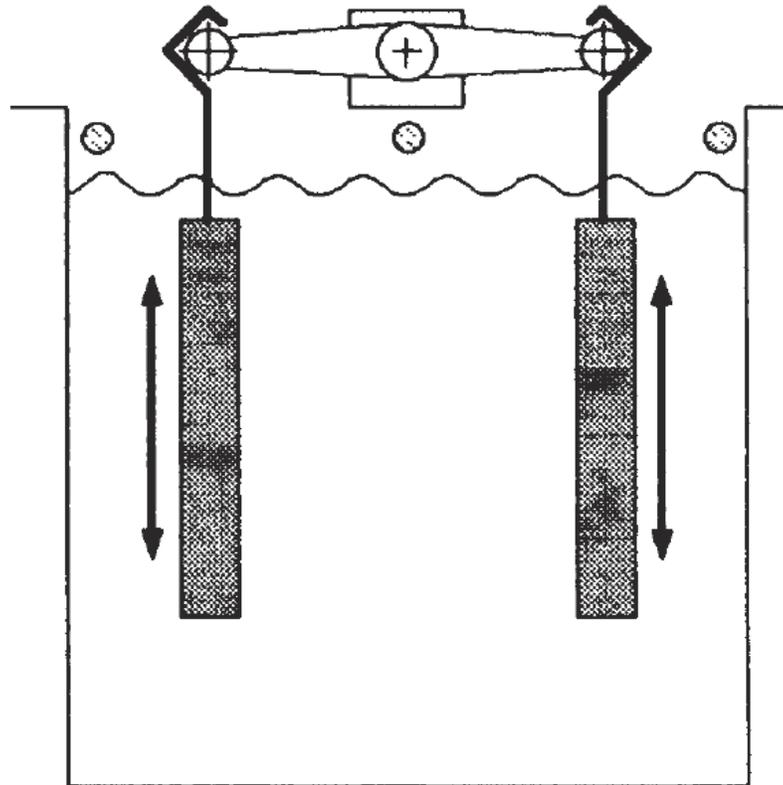
Figura 8. Distintos diseños de ganchos para suspender piezas



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 529

Es importante tener en cuenta en el momento del diseño, que se debe respetar la distancia entre las piezas y los electrodos, y se deben contemplar también los sistemas de agitación catódica, los cuales reducen el largo útil total de la barra. Un ejemplo de agitación catódica es el sistema de agitación por oscilación vertical, visible en la figura 9.

Figura 9. Sistema de agitación por oscilación vertical



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 568

Básicamente, las gancheras están confeccionadas en diversos metales, los que se recubren con una pintura aislante y resistente a los productos químicos utilizados en las soluciones galvánicas. Por lo general, los bastidores son utilizados en procesos anódicos o catódicos indistintamente.

En los procesos anódicos, se prefiere la utilización de soportes de titanio, ya que si bien es más costoso que cualquier otro material, resulta inatacable con los productos químicos. Además, pueden utilizarse como ganchos para ánodos, ya que este material, si bien no posee gran conductividad, no se ataca

con los productos químicos accionando electrolíticamente, o si lo hace, es en forma mínima e imperceptible.

Los bastidores utilizados para electrodeposición, suelen acumular metal sobre los contactos, por lo que es necesario en forma periódica, realizar una operación de desplaque electrolítico para eliminar dicha capa metálica.

2.2 Tratamientos previos a la electrodeposición de metales

2.2.1 Decapado

En el decapado de los metales ferrosos se considera, en general, que el óxido formado al calentar el hierro está constituido por tres capas distintas:

- a) La capa más externa, que es relativamente delgada y que contiene la mayor proporción de oxígeno y consiste en óxido férrico (Fe_2O_3).

- b) Una capa intermedia, que es más bien gruesa y está compuesta de óxido ferroso - férrico (Fe_3O_4).

- c) Una capa relativamente compacta en la proximidad del hierro inalterado que contiene la mayor proporción de este elemento, y su composición corresponde aproximadamente a la fórmula FeO . Es probable que esta capa no consista en el compuesto FeO , sino que sea una solución sólida denominada *wustita* que se descompone por debajo de 570°C en un eutectoide de hierro y óxido ferroso - férrico. En el caso de la herrumbre formada por debajo de esta temperatura de transición, la capa más interna de la misma contiene Fe_2O_3 o Fe_3O_4 , o una mezcla de ambos.

2.2.1.1 Ácidos usados

La eliminación de la herrumbre de los metales ferrosos se lleva a cabo decapandolos en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl).

La eliminación de la herrumbre se produce como resultado de:

a) La disolución química de la capa de herrumbre.

b) El desprendimiento del gas originado al reaccionar el ácido con el metal base.

Durante el decapado, el ácido penetra hasta la capa de FeO a través de los poros y fisuras de la herrumbre, y de esta manera la disolución del FeO en el ácido da por resultado el desprendimiento de las capas superficiales de herrumbre.

En el decapado, la cantidad de herrumbre eliminada por desprendimiento es, en comparación con la cantidad eliminada por disolución química, mayor en el caso del ácido sulfúrico que en el caso del ácido clorhídrico. Éste es un factor que tiende a provocar una mayor economía de ácido cuando se emplea el primero de los citados. El contacto entre la herrumbre y el metal desempeña también un importante papel en el proceso del decapado, a causa de la diferencia de potencial existente entre el metal y el óxido, que facilita, a causa de las células electroquímicas formadas en presencia del ácido, la acción disolvente del mismo.

En el caso del ácido sulfúrico, una elevación de temperatura para incrementar la velocidad de disolución del metal y del óxido es menos eficaz

que en el caso del ácido clorhídrico. El hierro metálico es mucho más soluble en este último que el óxido, y esta diferencia se acentúa al emplear ácido sulfúrico.

Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

El mejor ácido sulfúrico comercial tiene una concentración del 95 %; su acción sobre el hierro y el acero es pequeña. Empezando con una baja concentración de ácido, se observa que al aumentar la misma, disminuye el tiempo de decapado, hasta que alcanza un máximo cuando la concentración está próxima al 25 %; después, la velocidad del decapado disminuye rápidamente. El decapado con ácido sulfúrico deberá llevarse a cabo con ácido caliente; así podrá lograrse un mayor rendimiento.

La velocidad del decapado disminuye a medida que aumenta en la solución el contenido en sulfato ferroso.

El efecto retardador de las sales ferrosas es menor a elevadas que a bajas temperaturas, tanto en el caso del ácido sulfúrico como en el del ácido clorhídrico, y es debido a la mayor solubilidad de las sales a alta temperatura. Con bajas concentraciones de ácido sulfúrico el efecto es menos marcado que con las elevadas. Las sales férricas aceleran la velocidad de decapado.

Aunque en el caso del ácido clorhídrico la presencia del hierro puede acelerar la velocidad de decapado, dentro de ciertos límites de temperatura y concentración del ácido, una concentración excesiva de sales de hierro en toda clase de soluciones ácidas reduce muy considerablemente la velocidad de decapado

Ácido clorhídrico (HCl)

El ácido clorhídrico comercial consiste en una solución acuosa al 30 - 35 % de ácido clorhídrico gaseoso. La volatilidad del ácido hace impracticable su empleo a elevadas temperaturas; a temperaturas superiores a 40° C, la velocidad de volatilización del ácido es realmente muy rápida. En la práctica actual, la velocidad de decapado se incrementa más con elevadas concentraciones de ácido que con una elevación de la temperatura.

Las concentraciones tienen poca influencia, y el principal método para incrementar las velocidades de decapado consiste en una elevación de la temperatura. La escasa volatilidad del ácido sulfúrico y su bajo precio hacen de él el ácido más empleado para el decapado. A veces se practica la adición de ácido clorhídrico al ácido sulfúrico. Con tales adiciones se acelera el decapado, y la mayor solubilidad del cloruro ferroso hace posible usar la solución mucho más tiempo.

2.2.1.2 Formación de lodo

Después del decapado, queda sobre la superficie del metal una capa de lodo adherente; mucho de este lodo se acumula también en la parte superior del depósito. En el decapado con ácido sulfúrico, el depósito contiene hasta un 0,6 % del hierro disuelto en el ácido; con ácido clorhídrico, la cantidad de lodo producida es menor. Este lodo contiene también una alta proporción de los metales nobles contenidos como trazas en el metal que se decapa, los cuales se precipitan sobre la superficie del acero.

El uso del ácido clorhídrico tiende, de esta manera, a dar una superficie más blanca y pulida que la producida por el ácido sulfúrico y es por ello

preferido en algunas operaciones de estañado a pesar de su elevado costo y de su acción más lenta.

Es importante el lavado cuidadoso del metal decapado para quitar estos depósitos.

2.2.1.3 Agentes humectantes en el decapado

Hay una gran cantidad de materiales capaces de provocar una considerable reducción de la tensión superficial de las soluciones acuosas, aun cuando se añadan a éstas en cantidades muy pequeñas.

Los agentes humectantes para decapado deben ser estables en medio ácido y no deben resultar excesivamente espumantes. Disminuyendo la tensión superficial del ácido de decapado se consigue una mejor penetración de éste en la capa de herrumbre, y las burbujas de hidrógeno se desprenden más fácilmente; con ello se consigue que el ácido alcance la superficie del metal de un modo más rápido y uniforme y, por otra parte, se reduce la tendencia de los barros a adherirse. Finalmente, se pierde menos ácido por arrastre, con lo que se logra una reducción en el consumo total de ácido.

2.2.1.4 Lavado después del decapado

Es esencial un lavado cuidadoso después del decapado, pues cuando se retira el metal de la solución, se adhieren al mismo considerables cantidades de sales de hierro conteniendo ácido interpuesto. Si se efectúa un lavado imperfecto, estas sales provocan la corrosión, y contaminan los depósitos con sustancias perjudiciales para los tratamientos siguientes. Las sales residuales

pueden acumularse también en los poros del metal y exudar después, perjudicando a cualquier recubrimiento que se aplique posteriormente.

El metal decapado deberá lavarse primero en una corriente de agua fría, preferentemente en chorros pulverizados a alta presión. Deberá lavarse luego en otro depósito de agua corriente; este segundo depósito se mantendrá prácticamente aislado de la llegada de residuos ácidos. El metal será después sumergido en agua muy caliente para disolver las sales residuales, permaneciendo en el depósito el tiempo suficiente para que adquiera la temperatura del agua. Esto tiene por efecto quitar de los poros del metal la mayor parte del ácido. El metal retendrá también suficiente calor para secarse espontáneamente cuando se le saque del baño, a menos que tenga muy escasa sección.

Al sacarlo del agua, el acero decapado está expuesto a oxidarse muy fácilmente; generalmente se reduce esta tendencia adicionando cal al agua caliente del lavado final. Incluso se puede obtener una mayor protección temporal adicionando cerca de un 1 % de ácido fosfórico al agua, lo que da por resultado la formación de una delgada capa de fosfato sobre la superficie del acero.

El ácido fosfórico puede usarse solo como ácido de decapado para el acero; en este caso se emplea con una concentración aproximada del 15 % y a una temperatura cercana a los 71°C, pero el elevado coste del mismo se opone a la generalización de su empleo. Tiene la ventaja de que cualquier traza de ácido que pueda quedar en el material no provocará, en general, la corrosión, dada la insolubilidad y falta de higroscopicidad de los fosfatos de los metales pesados.

2.2.1.5 Instalaciones de decapado y su funcionamiento

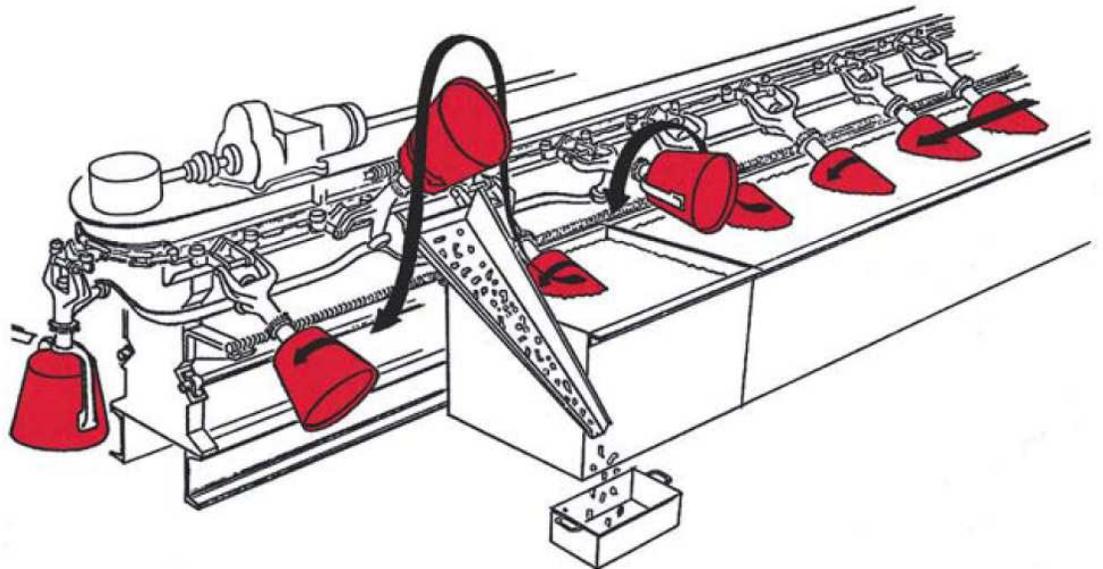
Las primeras instalaciones consistían en depósitos de madera de pino tea, unida y ajustada mediante refuerzos de metal. Los depósitos de decapado se han construido también de pizarra, piedra, o incluso hormigón cubierto con betunes o productos asfálticos. Éstos tuvieron cierto éxito, pero había siempre el inconveniente de las juntas. Las composiciones para juntas resistentes a los ácidos existentes en el mercado, raras veces son capaces de sufrir las contracciones y dilataciones de los depósitos citados y de resistir la penetración del ácido, especialmente cuando se usa ácido sulfúrico caliente.

Cuando se utiliza el ácido sulfúrico como medio de decapado, los depósitos de madera se recubren con plomo para asegurar la impermeabilidad respecto al ácido; los depósitos recubiertos de plomo no son apropiados para el ácido clorhídrico, aunque pueden ser usados con los decapantes a base de ácido fluorhídrico. El interior de los depósitos se cubre generalmente con tablas de madera aplicadas sobre el plomo para prevenir de deterioros mecánicos al recubrimiento metálico blando. Los depósitos de acero se recubren, de una manera similar, de plomo, pero, así como la perforación del recubrimiento de plomo de un depósito de madera produce escasos perjuicios al depósito propiamente dicho y puede ser reparado con facilidad cuando la filtración del ácido es patente, un depósito de acero puede ser seriamente perjudicado por una filtración de ácido a través del recubrimiento.

Frecuentemente, se construyen los nuevos tipos de tanques de decapado con ladrillos resistentes a los ácidos, impermeables al líquido y unidos mediante un cemento especial. Tales ladrillos y composiciones se emplean también para los suelos de las salas de decapado y para las instalaciones de drenaje.

Un posterior perfeccionamiento consiste en el empleo de tanques de decapado de materiales no metálicos, contruidos con varias clases de materiales fibrosos laminados e impregnados de resinas sintéticas, generalmente termoplásticas, del tipo fenol-formaldehído. Éstas son inatacables por los ácidos de decapado (excepto por los ácidos fuertemente oxidantes) y pueden soportar las temperaturas empleadas en los procesos de decapado. Estos materiales se emplean también con éxito en la construcción de los cestos de decapado y bastidores para transportar los objetos que deben ser decapados.

Figura 10. Proceso de decapado en barriles tipo retorno automático



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 476

2.2.1.6 Recubrimientos de protección

Una importante mejora de las instalaciones de decapado ha sido la introducción de los recubrimientos de caucho y de ebonita. Éstos se aplican generalmente al acero, depositándolos homogéneamente sobre el metal; dichos depósitos son de una gran resistencia y tenacidad. Se emplean varios cementos, tales como derivados sulfonados del caucho obtenidos amasando, con los molinos de rodillos propios de la industria del caucho, ácido sulfúrico y goma.

En el recubrimiento de tanques, otro perfeccionamiento importante ha sido el empleo, en vez de goma, de plásticos apropiados (como el Vinilite, un vinílico-polímero), en forma de hojas. Estos plásticos tienen sobre el caucho la ventaja de no ser alterados por los ácidos oxidantes en la mayor parte de las condiciones habituales a estas operaciones.

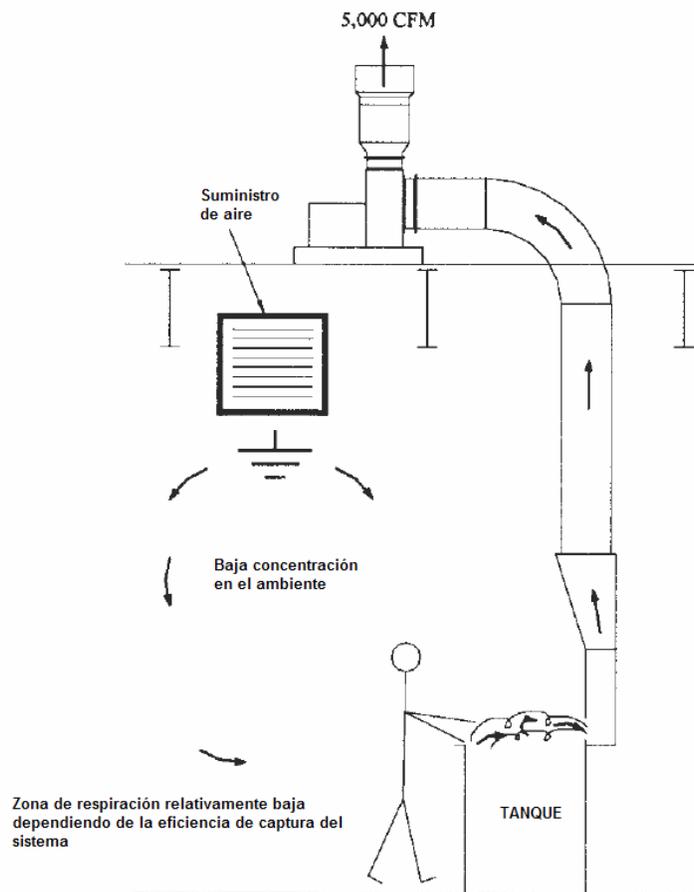
2.2.1.7 Sistemas de aspiración

Es esencial poder disponer de un sistema realmente efectivo para la eliminación de los humos de los tanques. Las modernas instalaciones, como la mostrada en la figura 11, usan una aspiración cruzada (es decir tangencial) a través de un estrecho conducto situado a un lado del tanque, o, si éste es ancho, los hay en ambos lados. El conducto puede construirse de madera recubierta de plomo, de acero recubierto de caucho, etcétera. Para efectos demostrativos, la capacidad de extracción del sistema ilustrado en la figura 11 es de 5,000 cfm.

Se han usado también conductos de asbesto, pero tienen la desventaja de ser quebradizos. Los aspiradores deben tener una potencia adecuada y

aspas de plástico laminadas o de acero protegido por un recubrimiento resistente a los ácidos, que puede ser de resina o de caucho. Los conductos de humos se construyen con preferencia de acero recubierto de caucho; este tipo de construcción da gran flexibilidad al conjunto y facilita la instalación de un sistema de extracción de humos que asegure un trabajo libre de perturbaciones durante un muy largo período de tiempo.

Figura 11. Sistema de aspiración de vapores



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 592

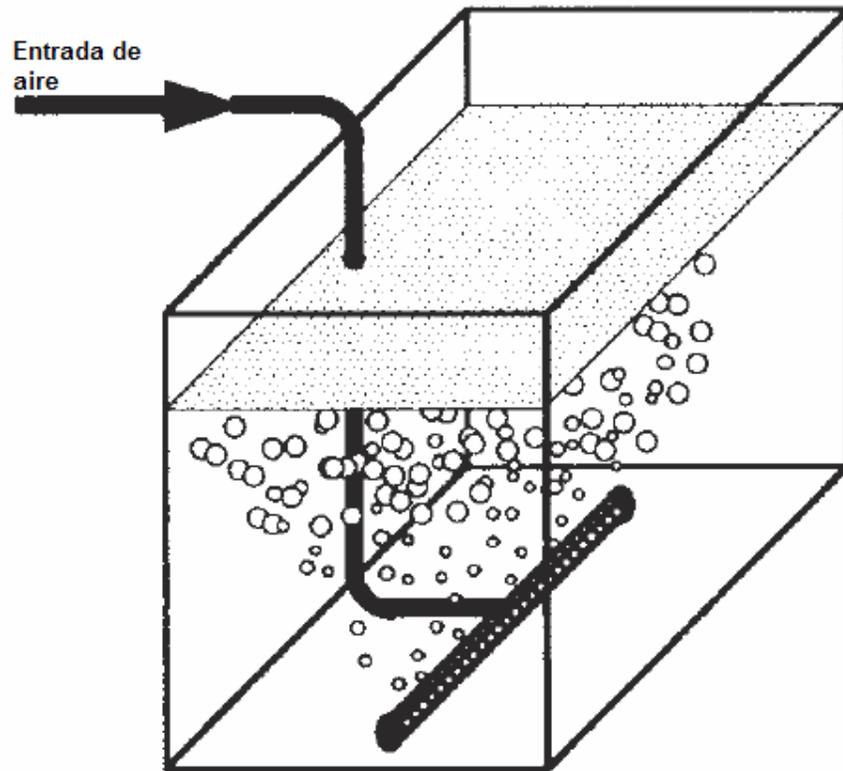
2.2.1.8 Agitación de la solución

Es conveniente disponer de alguna forma de agitación del baño de decapado, puesto que ello ayuda a eliminar el hidrógeno de la superficie del metal y favorece que nuevas cantidades de ácido alcancen constantemente dicha superficie.

Las soluciones frías de ácido clorhídrico son propensas a estratificarse, a menos que se recurra a alguna forma de agitación: ésta es recomendable, incluso tratándose de soluciones calientes. Una de las razones del mejor comportamiento práctico de las soluciones de ácido sulfúrico caliente, comparadas con las de ácido clorhídrico a baja temperatura, se relaciona probablemente con el mejor grado de circulación del ácido como resultado del calentamiento.

El movimiento de la solución puede obtenerse por un método mecánico apropiado, balanceando los cestos de decapado en una dirección vertical, mediante el empleo de roscas o paletas movidas eléctricamente en la solución, o por aire comprimido (ver figura 12). El primer método es el más corrientemente usado, pero muchas de las instalaciones pequeñas trabajan sin estos mecanismos.

Figura 12. Agitación por medio de inyección de aire



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 565

2.2.2 Desengrase

De la eficacia de los procesos de desengrase depende la adherencia del depósito metálico. La eliminación de todo rastro de grasa es vital si los artículos están destinados a recibir un depósito electrolítico.

La eliminación defectuosa de la grasa superficial del artículo a procesar, conduce a la formación de ampollas y/o depósitos poco adherentes que se desprenden o pelan. El proceso de desengrase previo consiste en quitar la

grasa y aceite, ya sea del estampado, trefilado, embutido o pulido de la superficie de la pieza. Se puede realizar de diferentes métodos. Manualmente, se puede realizar mediante el cepillado con cal viva dolomítica. También se puede usar un cepillo de bronce y cepillar mojando la pieza en una solución jabonosa. Se suelen utilizar solventes para realizar la limpieza previa, pero resultan tóxicos y volátiles.

Los métodos mencionados actúan de tres maneras diferentes: emulsión, peptización y saponificación.

1) Por emulsión se entiende la formación de una mezcla de líquidos que no se separan en capas al reposar. La leche es el ejemplo más corriente de una emulsión. En el caso del desengrase de metales, la emulsión se compone de pequeños glóbulos de aceite en suspensión en la solución empleada.

2) Peptización es el término dado a la reducción de partículas sólidas de suciedad en una forma finamente dividida, con lo cual se eliminan fácilmente. Esto significa que cada molécula de tierra de pulir, grasa, restos de aceite de maquinado, etcétera, queda mojada y completamente rodeada de una capa de solución.

3) Saponificación es el nombre científico para la formación de jabón, que resulta de la acción química del álcali con grasas y aceites animales y vegetales. Los jabones así formados son solubles en agua, por lo cual, el artículo queda perfectamente limpio con un buen enjuague en agua.

Son los disolventes clorados los que desde hace treinta años vienen conquistando el mercado. El tetracloruro de carbono, el cloroformo y el pentacloroetano son excesivamente tóxicos para su uso generalizado. En

ciertos casos se utilizan como potenciadores de otros disolventes menos activos.

2.2.2.1 Desengrasado por disolventes

El desengrase más simple es el que usa disolventes. Los films de grasa que han sido adsorbidos se disuelven, pero hay otras sustancias que no pueden ser eliminadas por ellos, e incluso con las grasas tienen una limitación cuantitativa.

Los disolventes actúan por reacciones moleculares y para juzgar de las ventajas e inconvenientes han de considerarse unos principios básicos de su actuación:

1. Con el uso se incrementa la contaminación del disolvente que ha de ser regenerado por destilación.
2. Al retirar las piezas metálicas queda sobre su superficie una película de disolvente y una fracción de grasa disuelta que no evapora con el disolvente.

Cuando se trata de procesar piezas por cantidad, la opción elegida es el desengrase por inmersión en una solución alcalina caliente compuesta por 50 a 100 gr/L de soda cáustica (NaOH) a una temperatura de 60°C.

En el proceso de desengrase por emulsión, es de uso convencional utilizar hidrocarburos o productos derivados clorados disueltos en agua.

2.2.2.2 Desengrasado en caliente

Por lo general, el desengrase en caliente es el método más difundido y común de los normalmente utilizados, especialmente en la primera eliminación de gruesas capas de aceite mineral.

En ciertos casos se adoptan métodos adicionales de acuerdo con el metal de base del que se trate.

Todavía se practica, proveniente de la más vieja escuela de plateros, el uso de la potasa cáustica (KOH) como desengrasante general. Sus propiedades deterativas son excelentes, pero debe emplearse con habilidad y cautela, ya que para algunos materiales puede resultar muy agresiva.

El estaño, el plomo, el metal inglés y el peltre tienden a disolverse en la solución de potasa, y el latón es manchado por ella si se deja en contacto demasiado tiempo.

También es muy frecuente trabajar las soluciones desengrasantes con temperatura y con electricidad, aumentando de esta forma considerablemente su eficiencia. Debe tenerse en cuenta que cada metal debe trabajarse con distinta concentración y en distintas condiciones, ya que los procesos que funcionan bien para ciertos metales, no lo hacen con otros.

Para la preparación de las soluciones de desengrase, deben usarse siempre aguas blandas (desmineralizadas), ya que las aguas duras poseen hexametáfosfato de sodio, cuya sal incorporada a las formulas detalladas hará que el comportamiento cambie desfavorablemente.

La solución desengrasante se puede usar caliente o fría, según el caso, en un tanque de hierro soldado, que deberá tener algún tipo de recubrimiento interno de ebonita, el cual no deberá ser atacado por los productos químicos de la formulación elegida. El calentamiento puede realizarse mediante baño María, con calentadores de inmersión eléctricos, con serpentinas de vapor o bien con intercambiadores de calor.

Los artículos se cuelgan en la barra catódica o anódica, según el tipo de tratamiento. Con una tensión de 6 voltios a una temperatura de 82 a 93°C, se obtendrá una densidad de corriente catódica de 2 a 5 A/dm²

En estas condiciones se produce un burbujeo de la pieza en forma continua.

Normalmente, para realizar un correcto desengrase, son necesarios 2 a 3 minutos de inmersión. Para evitar problemas con las soluciones desengrasantes, se recomienda retirar la materia grasa en suspensión, ya que de no hacerlo, puede volver a adherirse a nivel superficial sobre las piezas al retirarlas del mismo.

2.2.2.3 Desengrasado electrolítico

Resulta más conveniente que los artículos de latón, cobre y alpaca, después del desengrasante caliente usual sean tratados en un baño de desengrase electrolítico en frío.

Se emplea una tensión de 4 a 12 voltios y una densidad de corriente, según la formulación elegida, de 1 a 43 A/dm². Los artículos quedarán desengrasados con un proceso de 2 a 3 minutos de duración. Luego del

desengrase, se enjuagan bien en agua corriente, limpia y fría, agitando enérgicamente. Debe tenerse especial cuidado con piezas huecas, ya que suelen llenarse de líquido, habiendo transporte de solución y pudiendo causar ello la contaminación de los baños subsiguientes.

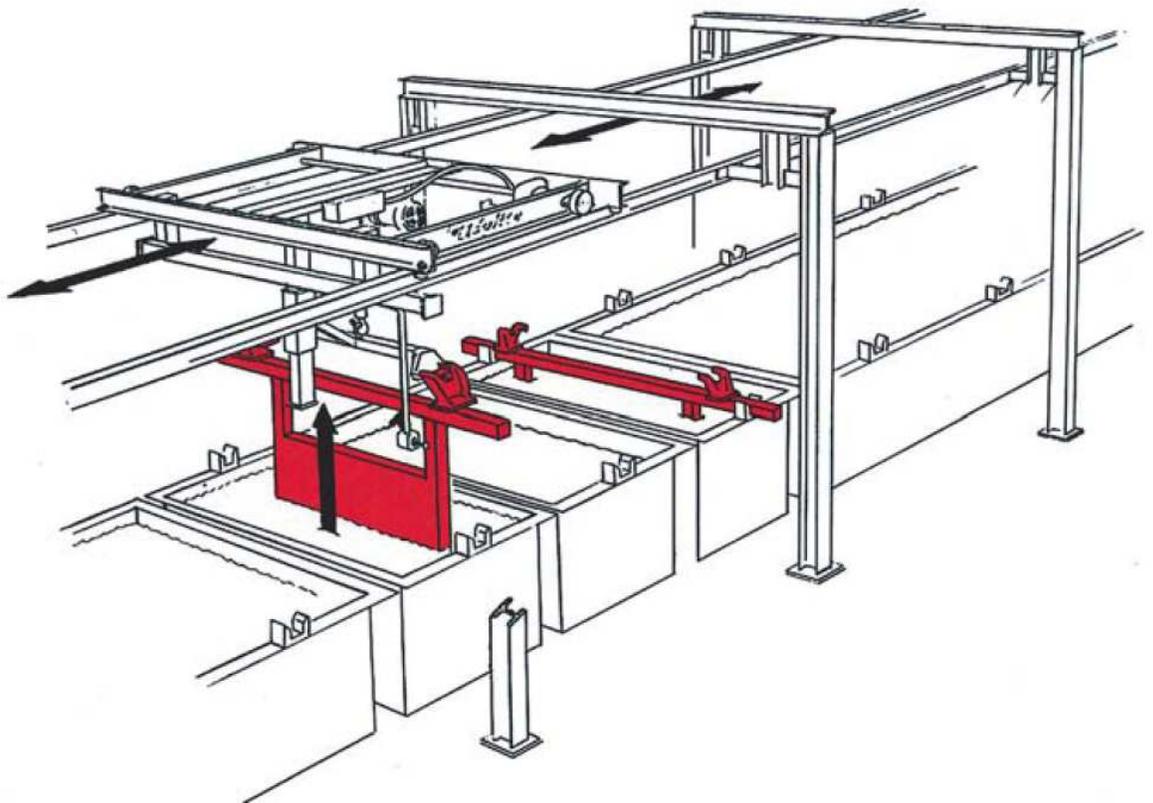
Después de realizado el enjuague, se sumergen en agua ácida, la cual se prepara diluyendo ácido sulfúrico al 10%, se enjuaga otra vez en agua corriente, y entonces, la pieza quedará preparada para continuar el proceso. La inmersión en ácido sulfúrico diluido, tiene la finalidad de evitar transporte de residuos alcalinos a otros baños, y es imprescindible su realización para obtener un neutralizado perfecto. Esta operación, además, actúa como proceso superficial de activación, especialmente cuando debe depositarse algún metal sobre una base de níquel o niquelada, aunque posee las mismas propiedades sobre la gran mayoría de los metales de base.

Si los artículos deben recibir algún tratamiento en un baño cianurado o de pH superior a 7 (cobre al cianuro, latón, cadmio alcalino, etcétera), entonces, es muy aconsejable una inmersión en alguna solución alcalina (tales como cianuro, hidróxido, carbonato, etcétera) inmediatamente después del enjuague en agua y antes de sumergirlos en el baño galvánico. La función de este enjuague alcalino previo es eliminar restos posibles del enjuague ácido anterior. Se debe ser cuidadoso de no transportar restos de ácido a los baños alcalinos, ya que estos se estropearán irreversiblemente, debido a la formación de sales como sulfocianuros.

Los artículos a desengrasar se cuelgan de la barra catódica o anódica, según el tipo de tratamiento especificado (ver figura 13).

Debe tenerse en cuenta si el proceso es anódico o catódico, ya que de aplicar la polaridad inadecuada, la pieza se estropeará irreversiblemente.

Figura 13. Instalación para un proceso de desengrase en línea recta



Fuente: Metal Finishing, guidebook and directory 08/09, p. 474

2.3 Tratamientos posteriores a la electrodeposición de metales

2.3.1 Pulido

Cuando se requiere un buen acabado, es necesario pulir los artículos mediante un abrasivo apropiado. Los discos de pulir o las muelas deben montarse en un

torno apropiado. El torno moderno para pulido a mano tiene generalmente dos muelas, que son movidas por un solo motor; por lo general, se acopla el motor directamente al eje, el cual suele tener un soporte extra en un cojinete colocado al final de la cubierta. La muela pulidora propiamente dicha se une al eje, ya sea por medio de un plato mordaza que pasa sobre su extremo roscado, o, mejor, mediante un final de eje cónico roscado sobre el que se fija directamente la muela. Este último dispositivo es muy rápido en su empleo y no necesita una posterior fijación, puesto que la velocidad de rotación del eje tiende a sujetar la muela sobre él. El cambio de muela se efectúa muy rápidamente.

Actualmente, una gran parte del trabajo de pulido de metales se efectúa en máquinas automáticas, proyectadas a menudo para el pulido de la producción en masa de determinados artículos, tales como parachoques de automóvil, tapacubos, tubos, chapas de metal, etcétera.

Los discos para pulir se construyen de diversos materiales, tales como tejido, fieltro, cuero, etcétera. Los discos de tejido se construyen con piezas de lona, percal o indiana, etcétera, amordazadas y cosidas juntas. El arte de pulir los metales exige el empleo cuidadoso de una apropiada técnica de pulido cruzado, por medio del cual cualquiera de los arañazos dejados por los medios de pulido grosero se eliminan a cada nuevo paso.

La inmediata operación se efectúa con un tipo de discos sin cabeza formada, sobre las cuales se aplica el abrasivo pulidor sosteniendo una barra de una composición de pulir apropiada contra el disco mientras gira éste rápidamente. Finalmente, para conseguir el más alto grado de pulido, se realiza una operación de acabado empleando discos blandos con composiciones finas, tales como rojo de pulir, cal, etcétera.

Los siguientes tipos de discos de pulir se encuentran entre los mejores que se emplean en la industria:

- a) **Discos comprimidos:** Estos discos se construyen con piezas de lona, cuero, fieltro, etcétera, montados en la periferia de una rueda, que puede ser de acero o de madera. Son sumamente duraderos y conservan su consistencia y forma original durante largos períodos de tiempo.
- b) **Discos de fieltro:** Estos discos se emplean con los abrasivos de grano más fino, y son extremadamente flexibles. Se emplean cuando se requiere un alto grado de pulido. Sostienen bien el abrasivo y pueden hacerse de formas especiales para tratar piezas de formas intrincadas.
- c) **Discos recubiertos:** Estos discos consisten en una parte central de madera alrededor de la cual se coloca una capa de piel o de fieltro. La madera suministra una base sólida que hace a este tipo de discos especialmente apropiados para pulir artículos planos. Las pieles gruesas, como son las pieles de morsa, cuero de la piel del cuello de toro y otros tipos especialmente seleccionados y curtidos son los que, a causa de su flexibilidad, se prefieren para tales ruedas.
- d) **Discos para abrillantar:** Los discos para abrillantar no utilizan cabezas pegadas; la composición abrasiva se les aplica estando el disco en rotación y apretando ésta contra ellos en forma de barra. Los discos para abrillantar se construyen de un cierto número de

discos de algodón, cuero, etcétera, mantenidos juntos para dar un disco de pulir más sólido.

Los discos de trozos cosidos se elaboran con retales de material, en lugar de hacerlos de discos completos de tela. Son considerablemente más baratos que los discos completos de pulir.

3. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

El módulo de práctica del proceso de galvanoplastia fue creado con fines demostrativos y didácticos, con el propósito fundamental de que los estudiantes del curso de Metalurgia y Metalografía lleven a la práctica los conceptos sobre protección de metales por medio de la electrodeposición de otros metales.

Consta de elementos y equipo que reproduce, a escala menor, los procesos industriales de cromado, niquelado, zincado y cobreado que podemos observar en las plantas industriales que se dedican en lleno a estos procesos.

Objetivos:

Al finalizar cada una de las siguientes prácticas el estudiante será capaz de:

- Identificar los diferentes equipos, instrumentos, materiales y soluciones utilizadas en el proceso elegido.
- Establecer las diferencias físicas de un objeto antes y después de haber sido protegido por un metal electrodepositado.
- Distinguir los posibles errores que podrían reducir la calidad de un objeto que ha sido protegido por el proceso de galvanoplastia.
- Comprobar las condiciones físicas, químicas y eléctricas que rigen los procesos de galvanoplastia.

3.1 Práctica 1: cobreado electrolítico

El cobreado es un proceso electrolítico que se emplea como recubrimiento final y también como etapa intermedia del niquelado. Se aplica sobre todo tipo de piezas metálicas, para dar apariencia de cobre, y sus terminaciones pueden ser cobre brillante, satinado o envejecido.

Sólo dos son los tipos de solución que se utilizan en gran escala para cobrear piezas: las soluciones de cianuro y las soluciones ácidas. El primer tipo consiste esencialmente en una solución de cianuro cuproso en un cianuro de metal alcalino, con o sin varios agentes de adición. Las soluciones de cianuro tienen un excelente poder de penetración; no obstante, en general, son inapropiadas para la obtención de depósitos de un espesor apreciable, pero tienen la ventaja de poder ser aplicadas directamente a los metales ferrosos. Las soluciones ácidas consisten en una solución de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, y se utilizan principalmente para recubrir aquellos metales que no son atacados químicamente por la solución, y especialmente cuando se requiere un espesor apreciable; es este tipo de soluciones en las que se enfocará esta práctica, utilizando el método UBAC (*Udylite Bright Acid Cooper*).

3.1.1 Solución electrolítica

El cobreado ácido se efectúa a partir de una solución que consiste fundamentalmente en sulfato de cobre (CuSO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este tipo de soluciones tiene un bajo costo de preparación.

El depósito de cobre logrado con este tipo de soluciones suele ser de color mate, y si se precisa una superficie brillante, requiere un considerable trabajo de *afino*.

Es preciso limpiar mucho más cuidadosamente el metal de base antes de proceder al cobreado en baño ácido de lo que precisan las soluciones de cianuro, pues, a diferencia de estas últimas, la solución de sulfato no posee propiedades detergentes.

La presencia del ácido sulfúrico es esencial, pues evita la formación de precipitados de sales básicas de cobre y también aumenta la ionización y, por consiguiente, aumenta la conductibilidad de la solución, reduce la posibilidad de que los electrodos se polaricen y ahorra el consumo de fuerza. Reduciendo la concentración de iones cobre de la solución, el ácido tiene también el efecto de producir depósitos lisos de pequeño tamaño de grano.

3.1.2 Ánodos

Para realizar esta práctica se emplea un ánodo de cobre que, para efectos de estudio en laboratorio, será una sección de alambre, lámina o tubo de cobre que se va disolviendo conforme se va depositando en el cátodo. Es indispensable que los ánodos posean una determinada concentración de fósforo para poder obtener resultados óptimos.

3.1.3 Temperatura

Las soluciones de cobre trabajan usualmente a temperatura ambiente, aunque a veces se utilizan temperaturas hasta de 50 °C. La elevación de la temperatura da lugar a la obtención de un depósito de cobre más blando.

3.1.4 Rendimiento y densidad de corriente

Los rendimientos anódicos y catódicos llegan al ciento por ciento en la mayoría de los casos.

Comúnmente, se utilizan densidades de corriente de 2 a 6,5 amperios por dm^2 y la agitación con aire aumenta la densidad de corriente que pueda utilizarse.

3.1.5 Defectos en el cobreado

Los contaminantes más comunes en los baños al sulfato de cobre provienen de la descomposición de los abrillantadores (orgánicos), o por impurezas metálicas (sales con impurezas, cubas metálicas con recubrimiento defectuoso, etcétera). En ambos casos, las características del depósito se ven alteradas. En el caso de las impurezas orgánicas, se debe tratar con carbón activado. En casos de contaminaciones severas, se debe tratar con agua oxigenada (H_2O_2), o con permanganato de potasio (KMnO_4). Una vez descompuestos los contaminantes orgánicos, se debe tratar finalmente con carbón activado.

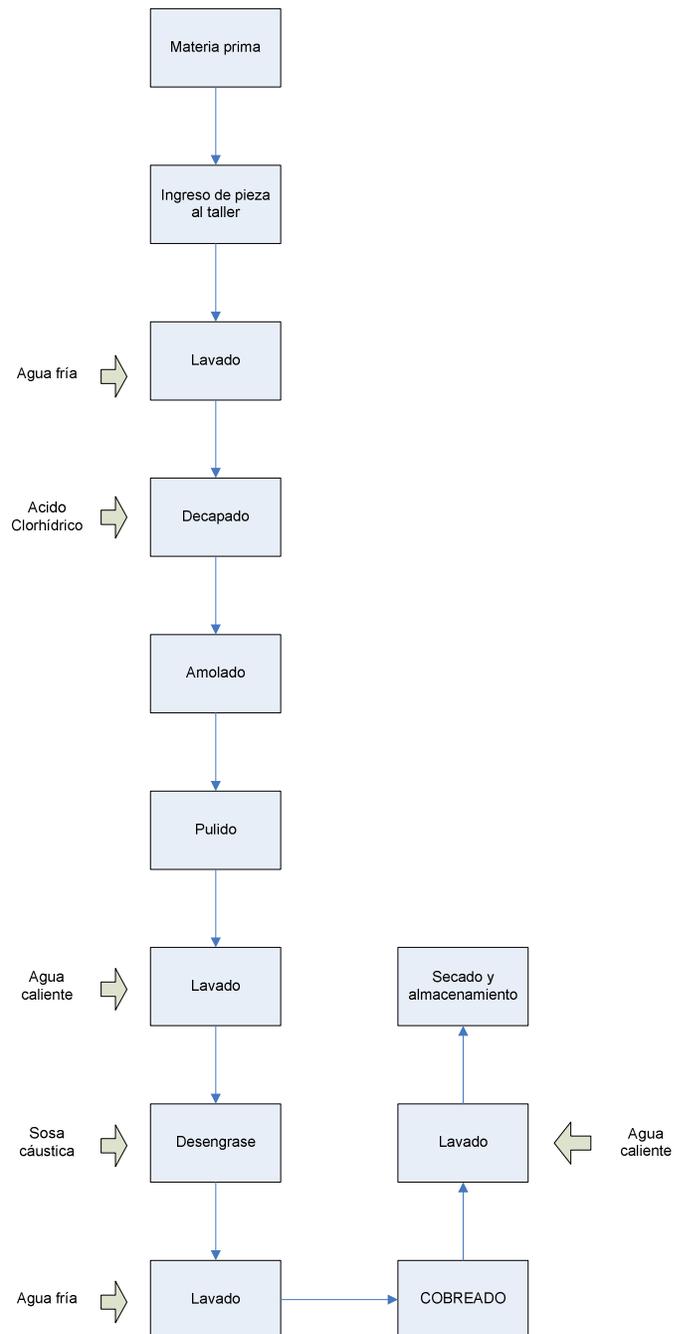
Tabla I. Condiciones para el cobreado en baño ácido tipo UBAC

Componentes y condiciones	Datos
Espesor de película	0.025 mm
Depósito previo	ninguno
pH	10.2 a 10.5
Ánodo	Cobre fosforoso
Área del ánodo	3 veces más
Separación entre ánodo y cátodo	2 a 3 cm
Temperatura de trabajo	24 a 32 °C
Densidad de corriente	3 a 7 A/dm ²
Agitación recomendada	moderada por medio mecánico
Tiempo de inmersión	de 30 segundos a 2 minutos

Tabla II. Composición de la solución electrolítica para el cobreado

Solución electrolítica	Concentraciones
Sulfato de cobre (CuSO ₄)	200 a 226 g/lit
Ácido sulfúrico al 98% (H ₂ SO ₄)	45 a 60 g/lit

Figura 14. Diagrama de flujo para el proceso de cobreado



3.2 Práctica 2: niquelado electrolítico

Los niquelados decorativos se logran de un electrolito conteniendo agentes de adición orgánicos de diversos tipos. Los depósitos obtenidos resultan protectores, lisos, de alta nivelación y con un brillo especular (como de espejo).

Las aplicaciones en ingeniería, utilizan electrolitos que depositan níquel puro, y las características habitualmente necesarias para este tipo de aplicaciones son:

- Alta resistencia a la corrosión
- Resistencia a la abrasión
- Soldabilidad
- Propiedades magnéticas

Este proceso se lleva a cabo mediante una corriente continua aplicada a los electrodos, lo cual disocia en iones las sales contenidas en la solución, produciéndose un depósito de níquel metálico sobre el cátodo, y disolución de níquel sobre el ánodo.

3.2.1 Solución electrolítica

Es necesario tener presentes en la solución ciertos agentes reductores y compuestos químicos para favorecer la disolución de los ánodos y para hacer la solución más conductora, lo cual dependerá básicamente del contenido de sales disueltas, de manera que puedan circular altas corrientes por el electrolito con diferencias de potencial (voltajes) relativamente bajas.

Además, es esencial que todos los productos químicos empleados sean puros, porque la presencia de pequeñas trazas de impurezas en determinadas soluciones, incrementará la posibilidad de defectos y problemas aparentemente inexplicables.

El sulfato de níquel (NiSO_4) es la fuente de iones más importante en una formulación de este tipo, y su concentración limita la densidad de corriente del baño. En general, aumentando la cantidad de sulfato, se incrementará la densidad de corriente, y debido a ello, se obtendrán mayores velocidades de depósito.

El cloruro de níquel (NiCl), incrementa la corrosión anódica (disolución del ánodo para formar iones níquel) y la conductividad del electrolito. Al incrementar la conducción de la solución, se puede reducir el voltaje para lograr la misma densidad de corriente.

El ácido bórico (H_3BO_3) ayuda a producir depósitos más blancos, lisos y dúctiles.

Para un correcto funcionamiento, se recomienda aplicar agitación catódica, de la solución, o bien ambas simultáneamente.

Para obtener uniformidad en los depósitos, es necesario adicionar agentes humectantes aniónicos o también llamados *antipicaduras*. Las picaduras son producidas por las burbujas de hidrógeno que quedan adheridas superficialmente al cátodo durante la deposición. Un agente humectante muy utilizado es el lauril sulfato sódico (SLS).

Las variables a controlar en un baño de níquel son: la temperatura, el pH y la agitación. Generalmente al incrementar la temperatura, dentro del rango de trabajo, permite incrementar las densidades de corriente de operación, con menor voltaje entre electrodos. Esto resulta en una menor dureza del depósito y una mayor ductilidad.

La baja del pH, también permite incrementar la densidad de corriente, pero baja la eficiencia catódica.

Si el pH es bajo se pueden añadir 1 ó 2 cm³ de ácido sulfúrico; por el contrario, si el pH es alto, se debe añadir carbonato de níquel (NiCO₃).

3.2.2 Ánodos

En los baños de niquelado se emplea un ánodo de níquel que se va disolviendo conforme se va depositando níquel en el cátodo. Por esto la concentración de sales en el baño en teoría no debe variar y esos baños pueden estar mucho tiempo en activo sin necesidad de añadirles sales.

Si en vez de emplear un ánodo de níquel se emplea un ánodo que no se disuelva en el baño (platino, plomo, etcétera) las sales de níquel se convertirán por efecto de la electrólisis paulatinamente en sus ácidos libres, sulfúrico y clorhídrico, con lo que se producirán dos fenómenos: una disminución del pH (aumento de la acidez) y una disminución de la concentración de sales; esto llevará a la progresiva pérdida de eficiencia del baño. Por esto los baños con ánodo inactivo no pueden aprovechar todo el níquel que llevan en disolución y cuando han consumido aproximadamente el 50% del níquel en sales disueltas se tornan ineficientes y sus depósitos no son buenos.

3.2.3 Temperatura

La temperatura óptima de trabajo está entre 45 y 65 °C, pero se puede trabajar bien a la temperatura ambiente.

3.2.4 Rendimiento y densidad de corriente

El rendimiento catódico real oscila entre 93 y 98 %, mientras que el anódico es del 100 %. Esta pequeña diferencia, hace que la solución tienda a incrementar su concentración de iones níquel y a subir su pH lentamente en la medida en que la misma es utilizada.

Es común utilizar densidades de corriente de 2.5 a 10 amperios por dm^2 ; los voltajes que se necesitan usualmente son de 4 a 6 voltios.

3.2.5 Defectos en el niquelado

El defecto que más resalta a la vista en una pieza que ha sido niquelada es el *pitting*, defecto causado por la creación de pequeñas burbujas a lo largo y ancho de toda la superficie niquelada cuando la solución electrolítica no ha sido agitada de forma constante y correcta. La mejor forma de evitar este problema es instalar un conveniente sistema de agitación de la solución, bien sea mediante un método mecánico o bien por un batidor eléctrico.

Tabla III. Condiciones para el niquelado mate en baño tipo Watts

Componentes y condiciones	Datos
Espesor de película	6 a 7 micras
Depósito previo	ninguno
pH	1.5 a 4.5
Ánodo	Níquel
Área del ánodo	3 veces más
Separación entre ánodo y cátodo	2 a 3 cm
Temperatura de trabajo	45 a 65°C
Densidad de corriente	8 a 20 A/dm ²
Agitación recomendada	moderada
Tiempo de inmersión	depende del tamaño de la pieza

Tabla IV. Composición de la solución electrolítica para el niquelado mate

Solución electrolítica	Concentraciones
Sulfato de níquel (NiSO ₄)	225 a 375 g/lit
Cloruro de níquel (NiCl)	30 a 60 g/lit
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	30 a 40 g/lit
Lauril sulfato sódico	0.5 g/lit (como humectante)

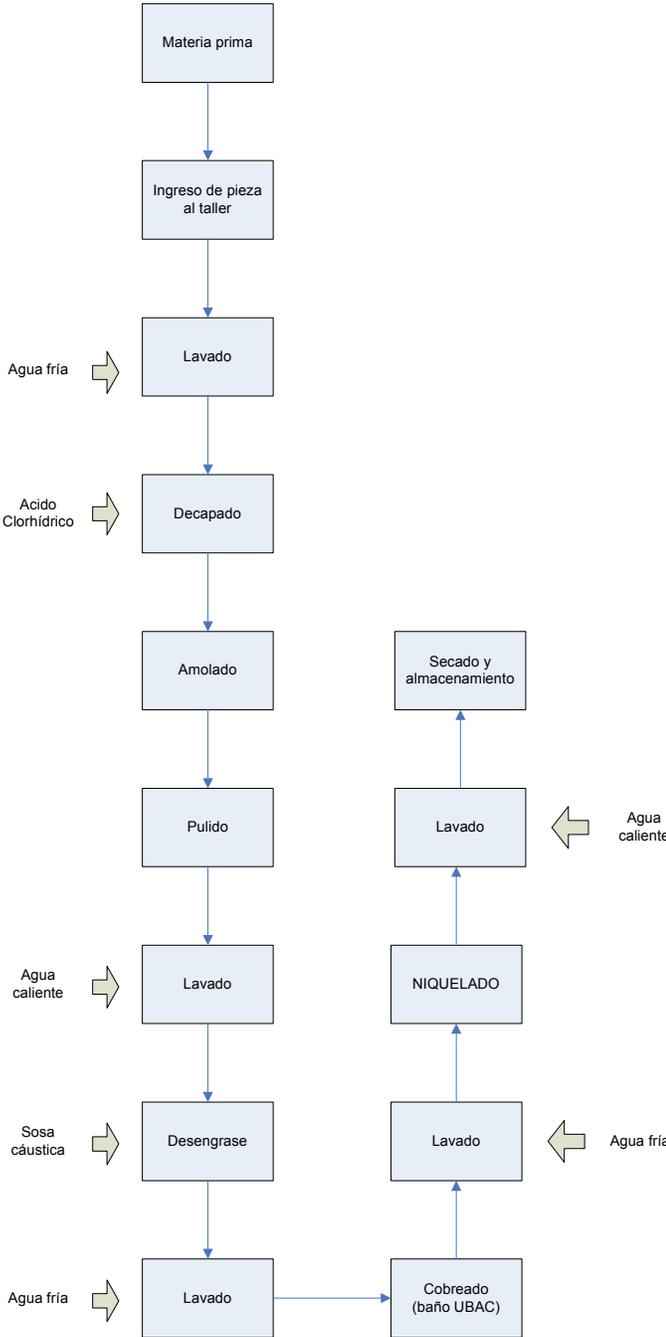
Tabla V. Condiciones para el niquelado brillante

Componentes y condiciones	Datos
Espesor de película	6 a 7 micras
Depósito previo	ninguno
pH	1.5 a 4.5
Ánodo	Níquel
Área del ánodo	
Separación entre ánodo y cátodo	
Temperatura de trabajo	45 a 65°C
Densidad de corriente	2.5 a 10 A/dm ²
Agitación recomendada	moderada
Tiempo de inmersión	depende del tamaño de la pieza

Tabla VI. Composición de la solución electrolítica para el niquelado brillante

Solución electrolítica	Concentraciones
Sulfato de níquel (NiSO ₄)	225 a 375 g/lit
Cloruro de níquel (NiCl)	30 a 60 g/lit
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	30 a 40 g/lit
Lauril sulfato sódico	0.5 g/lit (como humectante)
Sacarina	1.5 g/lit (como abrillantador)

Figura 15. Diagrama de flujo para el proceso de niquelado



3.3 Práctica 3: cromado electrolítico

En la práctica corriente de los acabados metálicos, el cromo se aplica generalmente en forma de depósito sumamente delgado (aproximadamente de 0,000025 a 0,00005 cm. de espesor) para comunicar resistencia al deslustre a un depósito electrolítico subyacente (generalmente de níquel), que sirve de principal protección al metal de base al que se aplica.

Prácticamente, todo el cromado actual se efectúa, mediante una solución de ácido crómico (CrO_3) que contiene una pequeña pero bien determinada proporción de sulfato (ácido sulfúrico generalmente).

3.3.1 Solución electrolítica

El ácido crómico es un ácido fuerte y se suministra para dedicarlo al cromado, en forma de escamas rojo oscuras; debe estar absolutamente libre de un exceso de ácido sulfúrico o sulfato a causa del peligroso efecto de la concentración de estos catalizadores ácidos sobre la manera de trabajar de la solución.

El ácido crómico se descompone por la corriente eléctrica en cromo metálico que se deposita en el cátodo y oxígeno que se desprende en el ánodo. El ácido crómico (en realidad es un anhídrido soluble en agua) contiene aproximadamente un 50% en cromo metálico, esto significa que para que un litro de baño pierda solo un 10 % de concentración tienen que haberse depositado 15 gramos de cromo, lo cual equivale a recubrir una superficie de aproximadamente dos metros cuadrados con una capa de cromo de 1 micra, más que suficiente para efectos decorativos.

3.3.2 Ánodos

Los ánodos se fabrican en plomo o, mejor aún, en una aleación de plomo - antimonio. También se pueden realizar en grafito. Es conveniente aunque no imprescindible que el ánodo tenga al menos diez veces más superficie que la de la pieza a recubrir. Para el recubrimiento en cromo duro, cuanto mas cerca este el ánodo del cátodo mas uniforme es la distribución del cromo. En ese caso se recomienda que ambos estén separados entre 2 y 3 cm. Un ánodo que este trabajando bien debe tener un color grisáceo de oxido de plomo. Si el ánodo tiene un color amarillento es que se ha formado una capa de cromato de plomo ($PbCrO_4$) debido a que hay poca densidad de corriente.

3.3.3 Temperatura

Debido a la extrema dureza de los depósitos de cromo y de la natural dificultad de pulirlos, es mejor, si es posible, producir los recubrimientos brillantes directamente a partir de la solución. En general los límites de las condiciones del recubrimiento brillante son función de la temperatura y de la densidad de corriente; se necesitan temperaturas más altas cuanto mayores son las densidades de corriente.

Los depósitos brillantes no pueden obtenerse fácilmente a temperaturas por debajo de unos 27 °C o a densidades de corriente menores de 4,3 amperios por dm^2 .

3.3.4 Rendimiento y densidad de corriente

La eficacia catódica o rendimiento de una solución de cromado, aun bajo las mejores condiciones, es muy baja. Es más alta cuando el baño trabaja en

frío, y pueden obtenerse entonces rendimientos del 35 al 40 %. No obstante, los depósitos obtenidos en estas condiciones son de aspecto garrapiñado y duros. Dentro de los límites del recubrimiento brillante, esto es, a temperaturas de unos 38 a 43° C, el rendimiento es mucho más bajo y no excede usualmente del 10 al 15 %.

En la práctica, se utilizan más comúnmente densidades de corriente de 11 a 21 amperios por dm^2 ; los voltajes que se necesitan usualmente son de 5 a 7 voltios con las soluciones de baja densidad, ó 4 a 6 voltios con las soluciones más conductoras de mayor densidad.

Para la electrólisis del cromo es conveniente emplear corriente continua filtrada. No es conveniente emplear corriente rectificada de media onda sin filtrar ya que en los momentos en que la tensión es nula el ácido crómico ataca al cromo pasivándolo. Al pasivarse aumenta la resistencia eléctrica del cromo y se disminuye la adherencia de las capas subsiguientes. De igual manera no se deben dejar las piezas a cromar inmersas en el electrolito sin corriente y cuando se sumerjan por primera vez deberán llevar la corriente conectada.

3.3.5 Defectos en el cromado

Entre los defectos más corrientes en el cromado están los que consisten en:

- a) Depósitos estriados: Éstos se ponen de manifiesto en forma de rayas blancas o lechosas sobre la superficie recubierta y generalmente son el resultado de efectuar el recubrimiento a densidades de corriente demasiado bajas.

- b) Depósitos mates: Para eliminar este defecto debe aumentarse la temperatura del baño.
- c) Depósitos delgados o descoloridos: Pueden ser debidos a una excesiva temperatura del baño que disminuye la velocidad de formación del depósito. La proporción del sulfato puede ser también causa de decoloración; una relación baja da un depósito amarillento.
- d) Depósitos quemados: Los depósitos quemados son el resultado de una densidad de corriente excesiva, y pueden corregirse reduciendo ésta o mediante el uso de pantallas en los bordes o aristas.
- e) Superficies no recubiertas: Éstas son generalmente el resultado del desprendimiento de gas que evita la formación del depósito en ciertas zonas. Este defecto puede corregirse prestando cuidadosa atención a la forma de colocar los objetos en los bastidores con relación a los agujeros y cavidades de los mismos.

Tabla VII. Condiciones para el cromado decorativo

Componentes y condiciones	Datos
Espesor de película	0.001 mm (aprox.)
Depósito previo	Níquel
pH	2.0 - 4.0
Ánodo	Plomo o aleación Pb - Sb
Área del ánodo	10 veces más
Separación entre ánodo y cátodo	2 a 3 cm
Temperatura de trabajo	36.5 a 45 °C
Densidad de corriente	6 a 12 A/dm ²
Agitación recomendada	moderada por aire
Tiempo de inmersión	depende del tamaño de la pieza

Tabla VIII. Composición de la solución electrolítica para el cromado decorativo

Solución electrolítica	Concentraciones
Ácido crómico (CrO ₃)	200 a 300 g/lit
Ácido sulfúrico al 98% (H ₂ SO ₄)	1 a 3 g/lit

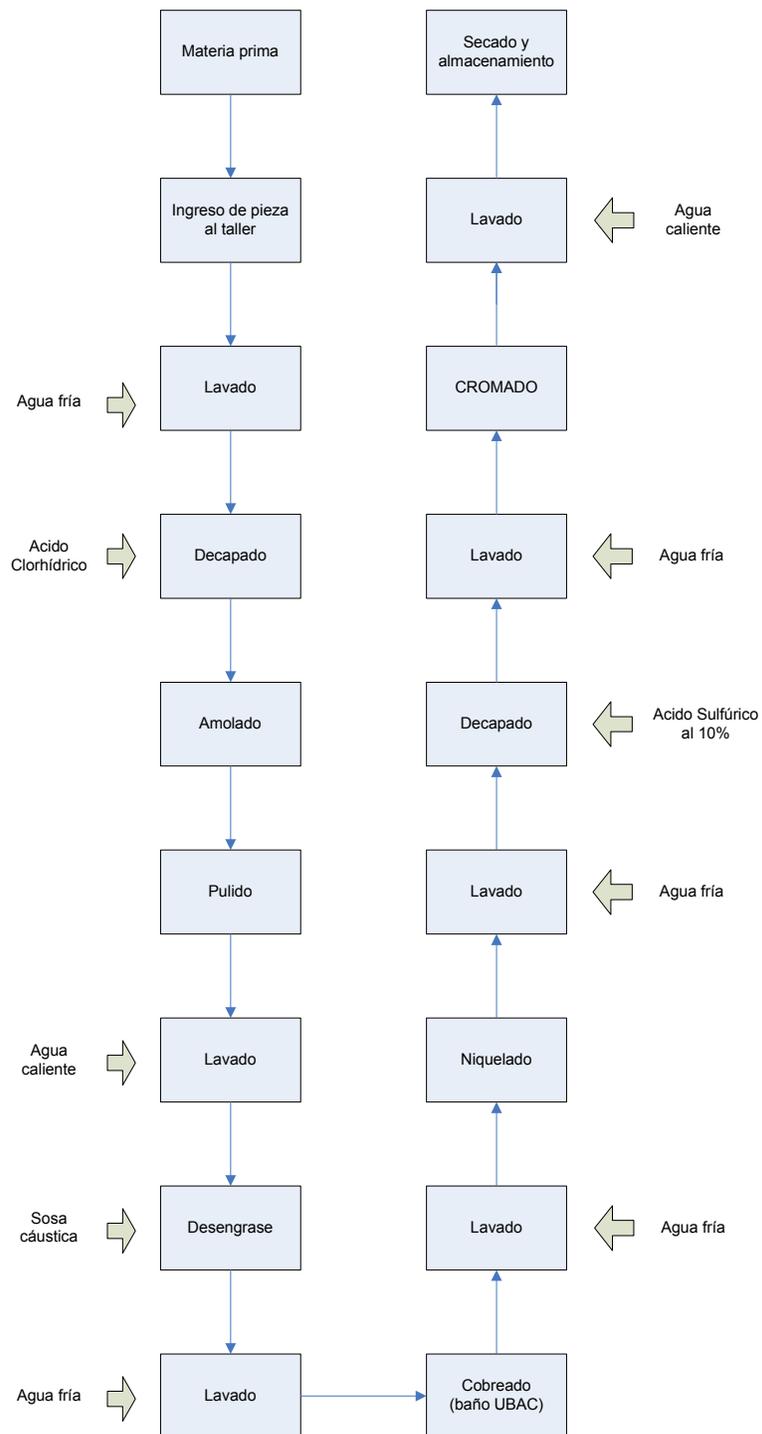
Tabla IX. Condiciones para el cromado duro

Componentes y condiciones	Datos
Espesor de película	0.254 mm (aprox.)
Depósito previo	Níquel
pH	< 1
Ánodo	Plomo o aleación Pb - Sb
Área del ánodo	10 veces más
Separación entre ánodo y cátodo	2 a 3 cm
Temperatura de trabajo	46 a 65 °C
Densidad de corriente	15 a 50 A/dm ²
Agitación recomendada	moderada
Tiempo de inmersión	depende del tamaño de la pieza

Tabla X. Composición de la solución electrolítica para el cromado duro

Solución electrolítica	Concentraciones
Ácido crómico (CrO ₃)	250 a 400 g/l
Ácido sulfúrico al 98% (H ₂ SO ₄)	1 a 2 g/l

Figura 16. Diagrama de flujo para el proceso de cromado



CONCLUSIONES

1. Se ha logrado compilar en este trabajo de graduación toda la información didáctica necesaria para que el lector conozca más en detalle el proceso de galvanoplastia.
2. En Guatemala, son pocas las empresas cuyo negocio es la industria galvanoplástica, y las pocas que existen brindan muy poca o ninguna información acerca de sus conocimientos sobre el tema.
3. La electrodeposición de metales no es aplicable únicamente a la protección de piezas industriales, sino también a la preservación de piezas con alto valor sentimental, desde un destapador de botellas que se desee niquelar, hasta piezas de un vehículo que se deseen cromar y conservar como elementos de exhibición.
4. La introducción de la práctica de galvanoplastia dentro del laboratorio del curso de Metalurgia y Metalografía brindará al estudiante el complemento práctico para esta guía teórica, con lo que sus conocimientos se verán ampliados y puestos en práctica.
5. Existen muchas variables dentro de los procesos mencionados, por lo tanto, existen también muchos posibles resultados al trasladar la teoría a la práctica, debiendo entonces ser pacientes para obtener los mejores resultados.

RECOMENDACIONES

1. Para todo proceso que involucre la utilización de soluciones químicas, es necesario disponer de un adecuado sistema de tratamiento de desechos y evitar así dañar el medioambiente.
2. Cada pieza que va a ser trabajada deberá pasar por un proceso de decapado y desengrase, siendo necesario para ello la utilización de soluciones ácidas que, si no se manejan con el debido cuidado, pueden ser altamente peligrosas para el ser humano; será entonces estrictamente obligatoria la utilización del equipo de seguridad industrial citado en esta guía.
3. Debido a la escasa bibliografía en español sobre galvanoplastia, es necesario recalcar la importancia del aprendizaje de un segundo idioma, bien sea inglés, alemán o italiano, por citar algunos, y no solo por este caso en particular, sino porque día con día, los ingenieros nos desenvolvemos en ambientes globalizados que exigen un alto nivel académico y cultural.
4. Es recomendable que la Escuela de Ingeniería Mecánica adopte ciertas tendencias tecnológicas, ya aplicadas en universidades privadas, que inciten al estudiante a la investigación científica y desarrollo de nuevos procesos industriales que traerán, como consecuencia, mejores oportunidades de desarrollo para Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avner, Sydney H. **Introducción a la metalurgia física.** Segunda edición. Editorial McGraw Hill / Interamericana de México, México 1988, 695 pp.
2. Gabe, Dina Rufinova. **Fundamentos del tratamiento y protección de superficies metálicas.** Primera edición española. Editorial Alambra, España 1975, 205 pp.
3. Verhoeven, John D. **Fundamentos de metalurgia física.** Primera edición. Editorial Limusa, México 1987, 593 pp.
4. **Metal Finishing Magazine**, 76th Guidebook and Directory Issue 08/09, Elsevier Inc., 772 pp.
5. Página web: <http://www.getri.es/librogalv.htm> (mayo 2009)
6. Página web: <http://falvalgano.blogspot.com/> (mayo 2009)