

31



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**MANUAL DE GALVANOTECNIA DE LOS  
PROCESOS DE DORADO Y PLATEADO**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICA

PRESENTA:  
MARTHA ELISA RODRIGUEZ GONZALEZ

ASESOR: Q. CELESTINO SILVA ESCALONA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTÁRAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Manual de galvanotecnía de los procesos de dorado  
y plateado.

que presenta la pasante: Martha Elisa Rodríguez González  
con número de cuenta: 9101472-2 para obtener el título de :  
Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Febrero de 2002

PRESIDENTE	<u>Q.M. Cecilia González Ibarra</u>	
VOCAL	<u>Q. Celestino Silva Escalona</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q. Gloria Borjon Apan Ruiz</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Ma. Ines Nicolas Vázquez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.Q. Ma. de Jesús Cruz Onofre</u>	

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

*por darme la oportunidad de existir.*

### **A mis padres**

*Mario Rodríguez y Ma. Teresa González por enseñarme que todo en la vida se gana a base de lucha y voluntad, porque siempre tuve su apoyo y comprensión, por los sacrificios hechos y porque siempre han creído en mí.*

### **A mis hermanos**

*Fernando, Carolina, Mario y Edgar  
por tolerarme en los momentos difíciles, por el cariño que les tengo y porque confiaron que terminaría esta carrera.*

### **A mis amigos de la FES-C**

*con quien disfrute los sabores y sinsabores de estudiar la carrera de Ingeniería Química, por compartir triunfos y derrotas y quienes han soportado con humor mis absurdas ideas.*

### **A mis maestros**

*porque fueron guías en el transcurso de mi formación y quienes me ayudaron a preparar la mejor arma para enfrentar la vida: El conocimiento.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al profesor Celestino**

**por su asesoría, su apoyo incondicional y su valioso tiempo dedicado a la elaboración del presente trabajo.**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México**

**Máxima Casa de Estudios que me dió la oportunidad de formar parte de ella, de la que estoy orgullosa y de la que siempre pondré en alto su nombre.**

**A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

**por haberme abierto sus puertas y cobijarme en su seno estudiantil, por forjarme un espíritu de superación al brindarme un lugar y un espacio para concretar mi formación profesional.**

**A los que hoy no están presentes**

**por dejarme la nobleza de su alma y bondad de su corazón.**

**Y a todas aquellas personas que escapan de mi pensamiento, pero que su labor ha significado mucho en el logro de esta meta.**

**GRACIAS**

***Mientras no pierda la cabeza, nada esta acabado para un hombre.***

**Thomas Hardy**

## INDICE

	Pág.
<b>OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO II. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LIMPIEZA DE LOS OBJETOS A ELECTRODEPOSITAR</b>	<b>15</b>
II.1 Pulido.	17
II.2 Desengrase.	30
II.3 Decapado.	26
II.4 Avances recientes.	46
<b>CAPITULO III. PROCESOS DE DORADO Y PLATEADO</b>	<b>48</b>
III.1 Proceso de dorado.	50
III.2 Proceso de plateado.	63
<b>CAPITULO IV. FORMULACIONES DE LOS BAÑOS DE DORADO Y PLATEADO DE MAYOR INTERES COMERCIAL</b>	<b>72</b>
IV.1 Formulaciones de los baños de oro.	72
IV.2 Formulaciones de los baños de plata.	76
<b>CAPITULO V. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PROCESOS DE DORADO Y PLATEADO</b>	<b>79</b>
V.1 Aditivos.	79
V.2 Agitación del baño.	80
V.3 Concentración.	81

V.4	Densidad de corriente.	82
V.5	Estructura del metal base.	84
V.6	Poder de penetración.	85
V.7	Temperatura del baño.	86
<b>CAPITULO VI. ANALISIS Y CONTROL DE LOS BAÑOS</b>		
<b>ELECTROLITICOS</b>		
VI.1	Soluciones de dorado.	90
VI.2	Soluciones de plateado.	100
<b>CAPITULO VII. PRUEBA DE LOS RECUBRIMIENTOS</b>		
<b>ELECTROLITICOS</b>		
VII.1	Aspecto.	114
VII.2	Espesor.	114
VII.3	Porosidad.	120
VII.4	Pruebas de adherencia.	123
VII.5	Resistencia a la corrosión.	128
VII.6	Defectos, causas y posibles soluciones de los recubrimientos de oro y plata.	131
<b>CAPITULO VIII. EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS</b>		
<b>EN LOS PROCESOS GALVANOPLASTICOS</b>		
VIII.1	Bruñido y esmerilado.	136
VIII.2	Pulido.	137
VIII.3	Desengrase.	144
VIII.4	Decapado.	144
VIII.5	Electrodepósito.	144
VIII.6	Enjuague y secado.	159
VIII.7	Equipos auxiliares.	162
VIII.8	Ventilación.	166
VIII.9	Accesorios.	171

GLOSARIO	180
CONCLUSIONES	197
BIBLIOGRAFIA	198

## OBJETIVOS

1. OBJETIVOS

Este trabajo pretende aportar la información necesaria acerca de los aspectos más importantes de la electrodeposición de oro y plata, sobre objetos metálicos y no metálicos, con la finalidad de retardar la velocidad de corrosión sobre las superficies a tratar.

Para ello, se plantearán los principios fundamentales de la galvanotecnia, así como la descripción de los procesos de dorado y plateado.

También se mostrarán las pruebas de control que se podrán aplicar a los electrodepositos, con el propósito de determinar su efectividad en la superficie en que se apliquen, su durabilidad y apariencia y con ello su calidad.

## INTRODUCCION

En la actualidad, la corrosión es un problema para todo tipo de industria; ya que ataca partes especiales de complejas máquinas, circuitos eléctricos de calidad superior de naves espaciales, artículos ornamentales, joyería y relojería. Es causada por agentes corrosivos tales como: humedad (aire húmedo), agua, rozamiento o fricciones, altas temperaturas, etc.

En términos generales, se puede considerar que la corrosión es el deterioro y el desgaste de los objetos que se presentan en casi todas partes, dañando en diferentes grados de severidad a todas las superficies, especialmente las metálicas y evitarla es imposible, pero aplicándoles un recubrimiento electrolítico, al menos se puede lograr la inhibición del efecto corrosivo retardando su velocidad de acción.

La galvanotecnia se dedica al estudio y comprensión de los procesos de protección electrolítica, consistiendo en la formación de depósitos metálicos en superficies, obtenidos por vía electrolítica, con el propósito de protegerlas de la corrosión.

En este trabajo se plantea la revisión de dos procesos galvanotécnicos como son el dorado y el plateado, comúnmente llamados chapeado de oro y de plata, abordando en un principio los fundamentos de la galvanotecnia y posteriormente considerando los factores que intervienen en dichos procesos, los equipos y accesorios utilizados, así como el control de los baños electrolíticos; siendo de gran importancia el entendimiento de los principios de la galvanotecnia y los métodos para controlar los procesos y los productos, para su comprensión y mejor desenvolvimiento en esta área de la electroquímica por parte de las plantas industriales y talleres dedicados a la galvanotecnia.

## CAPITULO I. GENERALIDADES

La galvanotecnia es una técnica muy importante en la industria de terminado del metal. Se realiza tanto en las grandes industrias como en los pequeños talleres, pues los procesos fundamentales de la industria se adaptan perfectamente a la pequeña escala de un taller artesanal. Se considera en términos generales, como cierta técnica de protección de metales, aleaciones y cuerpos no metálicos por medio de un electrodepósito, teniendo como propósito la conservación estética de éstos y exponiendo una superficie exterior de aspecto agradable.

Por ello se divide en dos ramas importantes: la galvanostegia y la galvanoplastia. La galvanostegia consiste en recubrir un metal con otro metal, generalmente de mayor valor agregado, tanto para su presentación como para su protección; como ejemplo está el niquelado, cromado, zincado, dorado, plateado, etc. La galvanoplastia consiste en depositar una capa metálica, sobre una pieza no conductora o no metálica (no conductora de la corriente eléctrica); éstas pueden ser de plástico, cerámica, yeso, fibra de vidrio, madera, cuero, telas, cera de abeja, etc.

Una de las derivaciones de la galvanotecnia es el electroformado, en el que la capa de metal con la que se cubre el objeto, es una capa gruesa que toma la forma y duplica cada detalle del original con gran precisión. Al terminar el electroformado, se quita el objeto y queda un objeto nuevo totalmente de metal, depositado eléctricamente. De esta forma el electroformado permite crear formas originales de metal, para uso principalmente decorativo.

La galvanostegia es el proceso por el cual un metal o aleación, suspendido en

una solución líquida, es depositado electroquímicamente sobre una superficie preparada al efecto. El material en suspensión, oro o plata en este caso, pasa de la solución a la superficie del objeto que se desea recubrir y, una cantidad equivalente de metal similar es desgastada de las placas metálicas (ánodos), que se encuentran dentro del baño. En esta forma, la solución mantiene constantemente una cierta cantidad de metal en suspensión, pues la materia que se deposita en el objeto a recubrir es reintegrada a la solución por los ánodos.

En la galvanostegia, la parte más importante es la referente a la composición de los baños por los cuales se va a efectuar el recubrimiento electroquímico, conociendo las condiciones óptimas de operación. Para una mejor comprensión de la nomenclatura y conceptos empleados en la descripción de los procesos e instalaciones galvanotécnicas, expondremos brevemente algunos de los conceptos en los que se basa la galvanotecnia.

#### Potencial eléctrico.

El potencial eléctrico en un punto en el espacio se define como el trabajo que debe de realizarse contra un campo eléctrico para atraer una unidad de carga positiva eléctrica desde el infinito hasta un punto determinado. Todo cuerpo en equilibrio eléctrico posee una cierta cantidad de energía que caracteriza su potencial. El potencial puede medirse en comparación con otro cuerpo.

La unidad práctica es el volt (V). Se miden las diferencias de potencial existentes entre los cuerpos por medio de un voltímetro. Cuando se conectan dos cuerpos mediante un cable conductor, siendo diferentes los potenciales de éstos, estableciendo una corriente que va del cuerpo del potencial más elevado, denominado polo positivo, hasta el del potencial más bajo, polo negativo,

la diferencia de potencial que existe entre los dos polos se denomina fuerza electromotriz. Entre la fuerza electromotriz, la intensidad y la resistencia del conductor existe la siguiente relación:

$$E = RI \quad (\text{Ley de Ohm})$$

donde E es la diferencia del potencial eléctrico, I es la intensidad de la corriente y R la resistencia del conductor.

Intensidad de corriente.

La intensidad de corriente es el número de cargas eléctricas que atraviesan un conductor por unidad de tiempo. Se denomina I.

$$I = Q/t$$

donde Q es la carga eléctrica y t es el tiempo.

Para que circule una intensidad de corriente permanente a través de un conductor, es preciso mantener continuamente un campo magnético o una diferencia de potencial entre los extremos del mismo. En un conductor es la carga eléctrica o cantidad de electricidad que pasa por segundo.

La unidad de intensidad es el amperio (A). Por convención, el amperio representa la intensidad de corriente que deposita 1.118 mg de plata por segundo al descomponer una sal de plata.

Cantidad de electricidad.

Si una corriente de intensidad  $I$  circula por un conductor durante  $t$  segundos, la cantidad de electricidad que habrá pasado en dicho tiempo vendrá expresada por:

$$C = It$$

donde  $C$  es la cantidad de electricidad,  $I$  es la intensidad de corriente y  $t$  es el tiempo.

La unidad de carga (o cantidad de electricidad) es el culombio, que representa la cantidad de carga que pasa por segundo cuando la corriente es de 1 amperio. Con ella se depositan 1.118 mg de plata. Una corriente de 1 amper circulando durante una hora determina el paso de 3600 culombios; cantidad de electricidad denominada amperio-hora (Ah)

Watt o Vatio.

Es una cantidad de energía de un joule por segundo, o la fuerza de una corriente eléctrica de un amperio con una intensidad de un voltio.

Consumo de energía.

La energía consumida durante el paso de la corriente es igual al producto de la potencia por el tiempo, o sea, los watts multiplicados por segundo. Un joule es la energía desprendida aplicando un watt durante un segundo.

La unidad comercial es el kilowatt-hora o bien el watt-hora (que vale 3600 joules).

## Resistencia.

Los conductores que dejan pasar la corriente con mayor o menor facilidad, oponen una resistencia más o menos grande al paso de la corriente. La intensidad de corriente que circula entre dos puntos de un conductor, cuya diferencia de potencial es E, varía según la resistencia R del conductor, de acuerdo con la relación:

$$I = E/R$$

donde I es la intensidad de corriente, E es la diferencia de potencial eléctrico y R la resistencia del conductor.

Si E = 1 voltios, se mantiene una corriente de I = 1 amperio y la resistencia del conductor R es, por definición, 1 ohmio ( $\Omega$ ). El ohmio, unidad de resistencia, se halla representada por la resistencia de una columna de mercurio de sección uniforme, de 106.3 cm de longitud y de 14.4521 gr de peso, situada a la temperatura de 0 °C.

La resistividad de un conductor, depende de su resistencia (R), de su longitud (l) y de su sección transversal (s), en donde de acuerdo a la relación  $\delta = Rl/s$ ,  $\delta$  es la resistencia específica de la materia o resistividad.

La conductividad es el número inverso a la resistividad. Por tanto, cuanto mayor sea la resistividad específica, menor será la conductividad.

	Resistividad ( $\delta$ ) $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Oro	0.0222
Plata	0.016

### Sobretensión o polarización.

Es la disminución de la intensidad de corriente que tiene lugar en la superficie de los electrodos. Depende del baño, de la densidad de corriente y en particular de la naturaleza de la superficie de los electrodos. Dividiendo la intensidad ( $I$  en amperios), que pasa por la sección de un conductor entre el área de dicha sección ( $A$  en  $\text{dm}^2$ ), se obtiene la densidad de corriente ( $R$ )

$$R = I/A \quad (\text{A}/\text{dm}^2)$$

### Corriente directa (c.d.).

Es la corriente en donde el flujo de los electrones circulan siempre en el mismo sentido y se le puede obtener de una fuente química como lo es una pila.

### Corriente continua (c.c.).

Es la corriente en donde el flujo de los electrones circulan siempre en el mismo sentido. La corriente periódicamente sube y baja entre cero y un valor máximo sin variar su polaridad. Se obtiene mediante los dínamos, pilas eléctricas, fotoelementos, generadores o rectificadores de corriente, etc.

### Corriente alterna (c.a.).

Es la corriente en donde el flujo de los electrones varía periódicamente su intensidad en magnitud y sentido. En un ciclo de alternancia comienza en cero, sube a un nivel positivo máximo y, retorna a cero, y baja a un nivel negativo

máximo. El número de ciclos completos por segundo se denomina frecuencia de corriente.

### Electrólisis.

Es el proceso en el cual se descomponen compuestos con enlaces iónicos situados en una celda electrolítica, por la acción de la corriente eléctrica. En la electrólisis la energía eléctrica se convierte en energía química.

Los polos sumergidos de entrada y salida de la corriente en un baño constituyen los electrodos. El electrodo de entrada es el ánodo y el de salida es el cátodo. Los productos de la descomposición llamados iones, se sitúan sobre los electrodos, difundándose los aniones al ánodo y los cationes al cátodo. Los aniones están constituidos por un grupo de átomos llamados radicales y los cationes por un metal o por hidrógeno.

Uno de los fenómenos que influye sobre la electrólisis es la polarización. La polarización se reduce por el fenómeno de difusión, emigración de los iones de una zona a otra y, más aún por la agitación del electrolito y la elevación de la temperatura.

En la práctica, para que se produzca la electrólisis, es necesaria una fuerza electromotriz suficientemente grande para vencer la resistencia óhmica del baño, para garantizar la descarga de los iones sobre el ánodo y el cátodo, y vencer la polarización.

### Rendimiento electrolítico.

Es el peso del metal efectivamente depositado sobre el cátodo en relación al peso teórico que resulta por la aplicación de la Ley de Faraday. Este rendimiento varía excesivamente, tal como puede advertirse en la lista.

Solución	Rendimiento(%)
Oro	70 - 90
Plata	98 - 100

#### Ley de Faraday.

1. La cantidad de reacción química que ocurre en cada electrodo es proporcional a la cantidad total de electricidad que ha pasado a través de la disolución.

2. El número de equivalentes de la reacción que se efectúa en el cátodo es exactamente igual al número de equivalentes que reaccionan en el ánodo (por cada electrón que entra en la disolución del cátodo, debe salir un número igual del ánodo, para completar el circuito), siendo el equivalente químico el cociente de dividir el peso molecular (peso atómico en caso de un metal) de un cuerpo entre su valencia. Un equivalente de electricidad es aquella cantidad de carga (electrones) necesaria para liberar un equivalente de catión en el cátodo (y simultáneamente un equivalente de anión en el ánodo); se llama faradio.

Por acuerdo se tiene que 1 equivalente de electricidad (es decir, 1 mol de electrones) es igual a 96500 culombios.

$$1 \text{ eq electricidad} = 1 \text{ faradio} = 1 \text{ mol de electrones} = 96500 \text{ culombios}$$

Ya que un amperio se define como un culombio/seg se puede calcular el número total de culombios de electricidad que pasan a través de una disolución mediante la multiplicación de la corriente por el tiempo.

$$\text{culombios} = \text{amperios} \times \text{segundos.}$$

### Pilas galvánicas.

Los dispositivos que producen energía eléctrica, mediante una reacción química se denominan pilas galvánicas. Se llama pila al sistema en donde una reacción química se desarrolla espontáneamente siguiendo un mecanismo iónico, parte del cambio de energía de la reacción se puede convertir, en principio, directamente en energía eléctrica.

### Celdas electroquímicas.

Una celda electroquímica es aquella en la cual se fuerza una reacción química para que ocurra en la dirección no espontánea por medio de corriente eléctrica.

Un aspecto básico para el funcionamiento de las celdas, es la generación de reacciones iónicas que producen o consumen electrones en fases aisladas de la misma. Estas fases se conocen como electrodos y deben de ser buenos conductores eléctricos.

Durante su funcionamiento, la celda se conecta a una carga externa o una fuente de voltaje externa, y la carga eléctrica se transfiere por medio de electrones de un electrodo a otro pasando por un circuito externo. Para

completar el circuito eléctrico a través de la celda, debe existir un mecanismo adicional para la transferencia interna de la carga, éste se suministra por medio de uno o más electrólitos que realizan la transferencia de carga por medio de conducción iónica. Los electrólitos deben de ser pobres conductores eléctricos para evitar el cortocircuito de la celda.

La celda más simple consta de 3 partes: dos electrodos y uno o más electrólitos. El electrodo en donde ocurre la reacción iónica, productora de electrones, es el ánodo; el electrodo en donde ocurre la reacción que consume o absorbe electrones es el cátodo. La dirección del flujo de electrones en el circuito externo es siempre del ánodo al cátodo. (Ver figura 1).

#### Ánodo.

Es el electrodo de cualquier pila galvánica o celda electrolítica, en el cual ocurre la oxidación. Es la placa positiva dentro de la solución electrolítica, es decir, la placa que se conecta al polo positivo de la fuente generadora de corriente eléctrica, necesaria para la galvanización. Los ánodos pueden ser solubles o insolubles en el electrólito, según lo requiera el trabajo a realizar. Se utilizan ánodos insolubles cuando se desea descomponer un electrólito, separándolo en sus varios componentes. Los ánodos son insolubles cuando están formados por elementos que no son solubles en la solución, ni aún cuando ésta sea atravesada por la corriente eléctrica; pueden ser de platino o carbón.

#### Cátodo.

Es el electrodo de cualquier pila galvánica o celda electrolítica, en el cual

El ánodo es el electrodo de mayor potencial y el cátodo es el electrodo de menor potencial. En un ánodo se oxidan los metales y en un cátodo se reducen los iones metálicos.

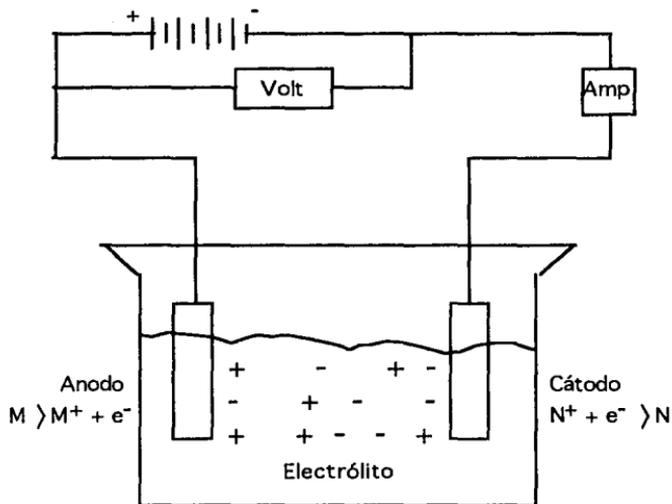


FIG. 1 Diagrama de una celda electrolítica.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

ocurre la reducción. Es el electrodo que se conecta al polo negativo de la fuente generadora. El cátodo esta formado por el objeto que se desea electrodepositar, es decir, al que se le aplicará la protección catódica.

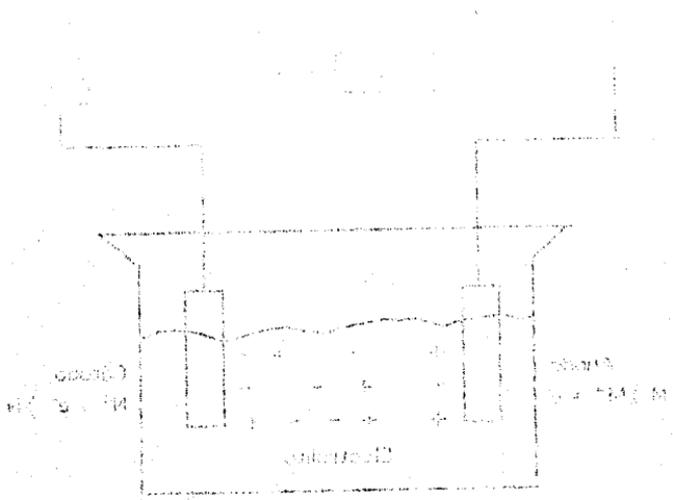


Fig. 1. Diagrama de una celda electroquímica.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS BÁSICAS  
 LABORATORIO DE ELECTROQUÍMICA  
 CARACAS, VENEZUELA

## CAPITULO II. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LIMPIEZA DE LOS OBJETOS A ELECTRODEPOSITAR

Antes de recubrir algún objeto metálico o no metálico, se debe de preparar debidamente la superficie, la cuál debe de estar física, química y mecánicamente limpia, para esto, primero los objetos se suelen armar con alambres de cobre para no tener que tocarlos con las manos hasta terminar todas las operaciones de limpieza. A veces basta tocar ligeramente con los dedos el objeto para verse en la necesidad de limpiarlo nuevamente.

Si el objeto que se trata de recubrir tiene su superficie lisa o bruñida, el depósito resultará brillante. Al contrario, si dicha superficie es rugosa o mate, la capa depositada será más bien mate. Si se deja mucho tiempo el objeto en el baño ácido, la superficie pulimentada puede resultar con un acabado mate. Las operaciones de limpieza deben realizarse seguidamente, sin interrupción alguna.

Si los materiales son no metálicos, deben de ser sometidos a la limpieza y después, es necesario hacer que las superficies sean conductoras antes de aplicar el electrodepósito.

Algunos de estos materiales pueden ser plásticos sintéticos, como los cloruros de vinilo y vinilideno, derivados de celulosa, resinas de fenol y formaldehído y fenólicos laminados que se pulen mediante los métodos que se utilizan para pulir los metales. Si el material es madera, esta se alisa por los métodos usuales de carpintería; si es cuero, tela, papel y otras sustancias porosas se limpian para quitarles aceites, ceras y grasas, y luego se les cierran los poros aplicándoles una cubierta de laca o goma laca.

Los materiales extraños que se encuentran presentes de forma más común sobre las superficies metálicas, pueden dividirse en tres grupos:

- a. La primera clase se designa a menudo como grasa o mugre, que incluye compuestos grasosos o aceitosos que han sido aplicados en los objetos para prevenir la corrosión durante su almacenamiento y que son utilizados para hacer más tersas las superficies metálicas; aún cuando algunos de éstos últimos son llamados compuestos sin grasa, contienen abrasivos, pegamentos y preservativos que se incluyen dentro de este grupo general, ya que muestran las propiedades lubricantes.
- b. La segunda clase de impurezas incluye todas las partículas extrañas que se derivan de la base metálica; los objetos están impregnados por partículas de arena o de aceite que se pudieron haber adherido en su superficie como resultado del rolado, limpieza mediante chorro o diversos métodos de pulido.
- c. La tercera clase de material contaminante consiste en aquellos compuestos metálicos como el óxido, que fueron formados o dejados sobre la superficie metálica. En casos específicos, se puede encontrar sobre la superficie metálica sustancias tales como el grafito o sulfuros.

La superficie que se desea electrodepositar, es sometida a tres diferentes métodos fundamentales de tratamiento, con el fin de obtener un efecto máximo de limpieza y acabado, tales métodos son: pulido, desengrase y decapado.

La superficie de casi todos los metales, cuando se limpian, tardan poco tiempo en cubrirse con una película de óxido al exponerse al aire, sobre todo si dicha superficie ha quedado húmeda; para evitar este inconveniente es, preciso proceder al baño galvanoplástico al terminar la limpieza.

## II.1 Pulido.

Para asegurar el mejor aspecto de un objeto a recubrir, un mejor grado de protección y buenas propiedades para la ingeniería, es necesario el pulido de la superficie del metal base a recubrir, ya que estas superficies son normalmente ásperas, teniéndose que alisar.

El pulido es el primer paso previo antes del proceso del electrodeposito. El pulido o limpieza mecánica, consiste en quitar el metal superficial dañado que resulta de operaciones mecánicas y que se compone de: fragmentos sueltos o adheridos que sobresalen, rayas, formaciones cristalinas que difieren en tamaño de la estructura cristalina de la mayor parte del metal base. Esta costra de metal dañado es mecánicamente más débil que el resto del cuerpo metálico. Las rayas agudas, las depresiones o agujeros y las inclusiones no metálicas alteran la lisura, la densidad, la continuidad y hasta la estructura cristalina y orientación de la chapa. Para evitarlo se utiliza el chorro de arena, cepillado, desbaste y pulido.

El pulido no es más que un desbaste con un abrasivo más fino. El efecto final no es solamente función de la finura del grano del abrasivo, ya que la naturaleza del disco de pulir desempeña también un papel importante en el acabado del objeto, por lo que en la práctica se prescriben discos de distintas clases para determinados trabajos en los metales.

Los métodos más comunes de pulido son:

- a. bruñido
- b. pulido con abrasivos
- c. pulido al bombo
- d. pulido electrolítico
- e. pulido químico

Independientemente del método de pulido utilizado, se debe de continuar con la preparación de la superficie, realizando el desengrase y el decapado.

a. Bruñido.

Actualmente, el bruñido se emplea poco en comparación con otros métodos de pulido; consiste en la eliminación de los pequeños resaltes de una superficie metálica, dejándola brillante; se aplica especialmente en artículos baratos y a granel. El método implica el uso de ruedas abrasivas flexibles de diversas formas.

b. Pulido con abrasivos.

Para el pulido con abrasivos se pueden considerar tres etapas: cepillado o gratado; desbastado o esmerilado y el pulimento. Estas etapas antes de la electrodeposición son importantes, ya que mientras más agradable sea la apariencia del objeto metálico, más fácilmente podrá venderse a un precio elevado, puesto que una capa metálica brillante, de buen aspecto y libre de manchas puede obtenerse sobre una base metálica también brillante.

Casi todos los depósitos galvánicos metálicos adquieren la estructura del metal base sobre el cual se depositan. Poros, grietas y arañazos, se rellenan muy raras veces. Los esfuerzos de la galvanotecnia están dirigidos a conseguir con el pulido, recubrimientos de aspecto brillante, pero como esto solo puede lograrse sobre una base también brillante, las piezas deben de ser preparadas adecuadamente. Para esta finalidad, existen en cada planta galvanotécnica dispositivos de esmerilado y pulimento.

Como abrasivos se emplean el rojo de joyeros, el óxido de cromo rojo, el trípoli y la cal de Viena. Estos abrasivos se emplean junto con grasas, por ejemplo, sebo de buey o estearina, entre otras. La naturaleza del abrasivo, lo mismo que la de la pasta de pulir, dependen del metal a pulimentar, puesto que es importante la dureza del abrasivo para el efecto final; aunque se emplean cada vez menos las pastas de pulir, porque el proceso se alarga con las frecuentes aplicaciones de la pasta. Por ello, se emplean productos abrasivos líquidos con aceites o emulsiones, que se mantienen líquidos a temperatura ambiente. Con éstos, puede ser posible ahorrar un 25 % de tiempo.

\* Cepillado o gratado. Esta etapa se emplea cuando los objetos tienen partes salientes y entrantes, se utilizan gratas o cepillos formados por alambres de metal de 0.05 - 0.4 mm de espesor, también pueden usarse los que están hechos de fibras sintéticas, lana, etc. Para la eliminación de óxido, orín, etc., se utilizan gratas en forma de discos, que giran a una velocidad periférica de 25 a 35 m/seg. Se emplean cepillos rotativos con cerdas de alambre de acero o latón y también de plástico. Como lubricante se emplea agua o aceite, junto con polvo de esmeril de cualquier granulación. El lubricante se deja gotear lentamente durante el trabajo. No se produce ningún arranque de material, sino más bien, un alisado por afluencia del material superficial. Este tipo de trabajo se emplea también mucho cuando han de alisarse depósitos que se han hecho rugosos por una duración larga del galvanizado.

\* Esmerilado o desbastado. Tiene por objeto alisar las superficies ásperas de las piezas prensadas, forjadas o fundidas, etc. Para esta operación se utilizan discos sólidos, llamados muelas, formados por granos de abrasivos de distintos tamaños y dureza, mezclados con un aglutinante. Al realizar el desbastado no se puede evitar las huellas que en el metal dejan los granos de la muela, cuya magnitud depende del tamaño de los granos empleados.

\* Pulimento. Tiene como fin hacer que las huellas, por esmerilado, desaparezcan antes de aplicar el recubrimiento electrolítico; se consigue mediante un previo pulido y finalmente por el abrillantado. El desgaste del material por el pulimento, propiamente dicho, es muy pequeño. Esta circunstancia se debe considerar en aquellos casos en los que se exige la exactitud en las dimensiones de los objetos. Cuando se tratan gran número de piezas de acero, es muy económico el pulido automático. Las piezas pequeñas en cantidades grandes, se pulen en un tambor con bolas de acero. Para dar el último brillo, se frota los objetos con trapos suaves, eliminándose así las estrías del pulido. Un brillo sobresaliente no se alcanza nunca por vía mecánica, se consigue sólo con el pulido electrolítico.

Otros métodos de pulido mecánico son el pulido a mano y pulido por medio de arena.

Pulido a mano. Cuando no se dispone de una pulidora y solo se necesita pulir artículos planos y pequeños, éstos se pueden pulir a mano utilizando un trozo de madera recubierto de cuero o manta, en forma similar a un asentador para navajas de afeitar.

Pulido por medio de arena. Para eliminar los recubrimientos de óxido duros y gruesos de una superficie metálica se necesita, con frecuencia, un tratamiento violento. El método más sencillo es el chorro de arena. El principio del método es proyectar un chorro de arena de cuarzo, de cortes agudos, o de granalla de acero, mediante una corriente de aire comprimido, y a través de una tobera resistente, sobre la superficie del metal. El consumo de aire debe ser de al menos  $2 \text{ m}^3/\text{min}$  y la presión de 2 a 4 atm. El volumen de aire necesario en una instalación depende de la magnitud de las toberas, longitud de las conducciones, presión del aire y otras variables. Modernamente se emplean toberas de

metales duros con revestimiento de carburo de wolframio, las cuales sólo presentan un ensanchamiento apreciable después de 500 hrs de trabajo. La arena de río es el material más barato empleable, pero solo puede usarse una sola vez porque se desmenuza a polvo. Hoy en día se prefiere la granalla de acero, que después de tamizada, se puede volver a emplear. También en lugar de arena se pueden emplear bolitas de acero de aproximadamente 1 mm de diámetro; deben mantenerse completamente libres de óxido, para lo cual es conveniente engrasarlas ligeramente; tienen la ventaja de eliminar las desigualdades de la superficie. El polvo que se forma es muy peligroso para la salud, por lo que debe de emplearse una mascarilla que evite que el polvo llegue a la boca y la nariz, o se debe de trabajar con un equipo totalmente cerrado.

#### c. Pulido al bombo.

El pulido al bombo es un método barato para el afinado de los objetos metálicos que requieren la eliminación de rebabas, rugosidades, etc. Los componentes maquinados y los objetos roscados exteriormente, son apropiados para el pulido al bombo. La operación se efectúa en dos etapas; en la primera, los objetos son restregados para eliminar rugosidades, protuberancias o el herrín; y en la segunda, se lleva a cabo el pulido final o bruñido al bombo.

Los bombos utilizados para el pulido de hierro o acero no deben de utilizarse para el tratamiento de metales blandos, por ejemplo, cobre, latón, bronce, etc., así se evitan los daños que puedan causar a éstos cualquier partícula de metal duro que quede abandonada en el bombo.

En forma general, el bombo para pulir consiste en un tambor colocado en posición horizontal, construido de acero o hierro fundido, chapa de cobre y

forrado de madera, goma o plástico; las piezas se limpian o pulen por medio de las revoluciones del tambor. Estas revoluciones deben de calcularse (10 a 20 rev/min), de manera que las piezas no caigan, sino que rueden y resbalen sobre las otras; con lo que las superficies metálicas son frotadas, esmeriladas o pulidas, por vía mecánica, dentro del tambor, según el estado de las superficies y la materia mezclada (arena, aserrín, residuos de cuero, etc). En algunos casos se ha preferido los tambores forrados de madera dura o caucho.

Con el pulido en tambor, no se obtiene un brillo tan bonito como con el disco de tela. Los metales blandos son más fáciles de pulimentar en tambor que los duros. Muy aceptado ha sido el pulido en tambor de pequeños objetos electrodepositados de cobre, latón, níquel o cadmio; en este proceso, el efecto que se tiene sobre la superficie, es el de disminuir la porosidad del depósito.

Pulido final (bruñido al bombo). Después del desbastado, si se quiere el máximo grado de pulido, los objetos se quitan del tambor y se desengrasan colocándolos dentro de un bombo de afinar. Si ha ocurrido algún empañamiento o deslustre de la superficie, puede ser necesario decapar ligeramente durante unos minutos en ácido sulfúrico al 5 % o, si se trata de una aleación de cobre, lavarlos con una solución de cianuro.

Frotado, limpieza y pulido en bombo. Es un proceso relativamente sencillo que exige poca mano de obra para realizar los trabajos necesarios de frotado, limpieza y pulido. Este procedimiento se utilizaba solamente para el frotado de pequeñas piezas fundidas, pero en el transcurso del tiempo se ha empleado cada vez más, de tal manera, que actualmente no solo se puede llevar a cabo el frotado en tambor, sino también el esmerilado, pulido y limpieza. Este sistema es de aplicación, ante todo para pequeñas piezas de hierro, hierro colado, acero, aluminio, cobre y latón, estampados, forjados, etc., que sean de

paredes demasiado delgadas, tengan cantos vivos o esquinas que pueden maltratarse durante la operación.

d. Pulido electrolítico.

Este método se desarrollo primeramente para fines metalográficos y ha alcanzado una importancia cada vez mayor en la práctica de la preparación de los metales para la galvanotecnia; ha alcanzado cierto interés a causa de la reducción de tiempo y de mano de obra, y también por el hecho de que en algunos casos, es posible obtener un mayor grado de afinado del que podría obtenerse por medios mecánicos.

Las superficies pulidas electrolíticamente suelen estar libres de tensiones y esfuerzos, esta técnica ofrece la posibilidad de tener una gran variedad de acabados de las superficies. Desde el brillante hasta el satinado o acabado mate.

El método tiene dos importantes ventajas; primera, la obtención de un brillo perfecto sin alterar la estructura cristalina de la superficie y; segunda, el ahorro de tiempo. En la práctica se hace necesario preparar mecánicamente las piezas, y solo se da electrolíticamente el último brillo. Los métodos mecánico y electrolítico no se excluyen, sino que se complementan. Donde uno falla el otro actúa. Las inclusiones o los defectos superficiales rugosos no se pueden eliminar por este método ya que los hace resaltar.

Se puede clasificar los procesos de trabajo y los baños usuales en los siguientes tres grupos:

- a. Trabajos con densidades de corriente baja, de 1 a 15 A/dm<sup>2</sup>. Pertenecen a este grupo mezclas de soluciones acuosas de ácido fosfórico con alcohol o glicerina que se emplean en el pulido del cobre, latón, cadmio, zinc, acero inoxidable, magnesio y cobalto; mezclas de ácido acético y perclórico utilizadas para aluminio, hierro, acero, plomo y estaño; baños alcalinos con sosa cáustica o cianuros potásico o sódico para pulir wolframio, cadmio, zinc y plata. La tensión necesaria para estos baños oscila entre 5 a 40 V.
- b. Baños principalmente empleados en la industria a base de ácidos fosfórico, sulfúrico, crómico y cítrico. Las densidades de corriente necesarias oscilan entre 15 a 150 A/dm<sup>2</sup>. El valor óptimo es función de la composición, temperatura y naturaleza del metal a pulir. La tensión es de 15 a 25 V y llega muchas veces a 60 V.
- c. Baños que sólo se emplean en el laboratorio, con los que se trata de pulir solamente superficies pequeñas y en tiempo de pocos segundos. Consisten en pequeñas concentraciones de ácido perclórico en alcoholes metílico o etílico con adición ocasional de glicerina. Trabajan con densidades de corriente que alcanzan de 200 a 400 A/dm<sup>2</sup> y a veces hasta de 3000 A/dm<sup>2</sup>. Estos líquidos son malos conductores, por lo que necesitan tensiones de 110 a 220 V.

Mecanismo del pulido. La acción que se lleva a cabo en el baño del pulido electrolítico ocurre como resultado de las condiciones de la elevada polarización que impera en el ánodo. Durante el tratamiento se produce una película que puede ser líquida o gaseosa; en el primer caso, es una capa de solución que contiene una elevada concentración de sales del material del ánodo, si esta película ofrece una elevada resistencia al paso de la corriente y la superficie tiene zonas elevadas y zonas profundas, es evidente, que la sección o espesor de ésta película será mayor en las depresiones, y de esta manera, la densidad de corriente se disolverá rápidamente, tendiendo a igualarse toda la

superficie del metal.

Los metales son tratados con elevadas densidades de corriente, en electrólitos fuertemente ácidos y casi sin agua, en los cuales, los metales son poco solubles. En el pulido electrolítico no se obtiene un brillo de espejo, pero ha sido muy aceptado por la gran reflexión de luz que con él se logra.

El pulido electrolítico exige una reducida y sencilla mano de obra; pero tiene la desventaja del gasto de una solución electrolítica y de una elevada intensidad de corriente.

Para objetos grandes el pulido electrolítico no resulta económico por utilizar intensidades de corriente, en muchas ocasiones de  $100 \text{ A/dm}^2$ , por lo cual, el uso de este procedimiento queda limitado al tratamiento de piezas pequeñas.

Pulido electrolítico en superficies de:

**Aceros al carbón.** Generalmente para obtener resultados satisfactorios, los aceros al carbón deben de estar libres de defectos locales o picaduras, ya que éstos tienden a aumentar en profundidad y a acentuarse con los métodos de pulido electrolítico. El electrólito de ácido sulfúrico y fosfórico es aplicable, se trabaja normalmente con densidades de corriente de 10 a  $54 \text{ A/dm}^2$  y a temperaturas tan altas como  $88 \text{ }^\circ\text{C}$ . Es conveniente un pequeño movimiento de los objetos dentro del baño.

**Cobre y latón.** En el pulido electrolítico de estos materiales se ha empleado como electrólito una solución de ácido pirofosfórico al 53 %. La densidad de corriente es de 8 a  $10 \text{ A/dm}^2$  con un potencial de 1.6 a 2 volts. La temperatura empleada es de 15 a  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

e. Pulido químico.

Una derivación del pulido electrolítico es el procedimiento del pulido químico. Aquí no se aplica corriente eléctrica; los artículos son sumergidos en ácidos.

Las temperaturas empleadas varían desde la ambiental, hasta tan altas como 93 °C, para una acción más rápida.

En el pulido químico se debe de ajustar exactamente la composición de la solución y las condiciones de trabajo. Una mezcla de ácidos nítrico, fosfórico y acético es apropiada para la plata nueva, níquel, metal monel, latón, cobre, plata y aluminio.

En todos los tratamientos de superficies metálicas que se requiera de la aplicación de recubrimientos metálicos o no metálicos, orgánicos e inorgánicos, la limpieza a fondo de las piezas es el requisito esencial para la obtención de una buena adherencia, larga duración, uniformidad y una apariencia sin manchas.

En ninguna otra clase de proceso, como en la galvanotecnia, el tratamiento de las superficies, requiere de cumplir con tantas exigencias en cuanto a la limpieza de los objetos

Equipo para el pulido.

El principal aparato que se utiliza para preparar las superficies metálicas ya sea para el desbastado, cepillado o pulido, es la pulidora; éste es un aparato que deberá moverse a considerables velocidades. Las pulidoras deben de encontrarse fijas, por medio de burlones, sobre bancos a fin de evitar las

vibraciones; pueden girar desde 1400 rev/min. Para pulir acero u otro metal, deberá girar a 2500 rev/min aproximadamente. Los discos usados en estas pulidoras difieren en tamaño y material según la naturaleza del trabajo que se desea efectuar.

Las máquinas pulidoras deben de llevar una marcha uniforme aún a las más altas velocidades, por cuya razón, estas máquinas son de un tipo de construcción estabilizada y sin vibraciones. El eje del motor constituye el husillo donde se introducen los discos o muelas, los cuales se sujetan por medio de bridas.

#### Materiales para pulir.

Los materiales utilizados en las pulidoras son: ruedas de esmeril para vaciado o afilado de superficies muy rugosas, esmeril para sacar marcas de limas o herramientas raspadoras en hierro o acero y esmeril fino para obtener un mejor acabado del cobre y sus aleaciones. El esmeril empleado en las ruedas pulidoras depende de la clase de trabajo a efectuar. Las ruedas recubiertas con esmeril trabajan el hierro y el acero con gran rapidez; la fricción genera calor que favorece el pulimento, esta acción es intensificada por la presión.

Discos compuestos con azafrán y trípoli, mezclados con un poco de colcátar, forman la mejor combinación para cobre, bronce o latón; después se emplean ruedas especiales de manta, para el pulido fino, a fin de conseguir el acabado deseado.

Para el esmerilado de acero, hierro o acero inoxidable, se emplean en general, discos agresivos de grano grueso, y para el abrillantado y avivado se emplean

discos blandos. Para el esmerilado de latón, bronce y cobre se emplean discos abrasivos de grano fino; para el pulido, discos semiduros y para el abrillantado se recomiendan discos blandos.

Los discos de madera recubiertos con piel se emplean en el desbaste. La piel de morsa y discos enteros de piel de oveja se emplean para latón y aceros de cuchillería. Los discos de lona sirven para piezas de fundición, latón y piezas forjadas. El hilo y la lona se emplean principalmente para el desbaste previo y fino.

#### Discos para pulimento

1. Cosido en espiral.....Tan eficaces como lo enteros.
2. Cosido concéntrico.....Resultados semejantes a los de 1.
3. Cosido cuadrado.....Para desbaste áspero.
4. Cosido y en trozos.....Discos baratos.
5. Paño.....Para latón, aceros especiales, aluminio, bronce, aceros ordinarios, piezas de fundición.
6. Lona blanda.....Aluminio, latón.
7. Piel de morza.....Cuchillos, plata, aceros con carbono alto.
8. Piel de oveja, fieltros de lana.....Pulimento fino de piezas planas, cuchillos, etc.
9. Cosido compacto.....Como en 1.

Ruedas pulidoras. Se emplean ruedas de piel o manta, éstas están hechas de cuero sólido de toro. Los tamaños varían de 7.5 a 45 cm de diámetro y de 16 a 50 mm de espesor.

## Construcción de las muelas de pulimento.

Mientras que para el esmerilado se utilizan muelas rígidas y aglomeradas; para el pulido previo y el acabado se emplean discos de madera guarnecidos de cuero, llamados poleas y discos de fieltro, recubiertos de cola y una capa de abrasivo, así como cepillos circulares; para el pulido de alto brillo se utilizan discos de milano, muselina, lona, manta y otros similares sujetos solamente por el centro o discos flexibles con costuras separadas.

Los discos de muselina o lona, manta, fieltro y cuero para el pulimento pueden fabricarse de diversas clases, formas y grados de dureza que se adaptan perfectamente a la forma y calidad de los objetos a trabajar. Los discos de tela de algodón son muy extendidos en su uso, pueden fabricarse de distintas durezas. Los más duros están formados por varios discos de lona encolados entre si, y los más blandos, por discos de muselina cosidos unos a otros. Los discos de pulimento más valiosos, usados frecuentemente, están hechos de trozos de muselina unidos por pegamento. Los discos de algodón ofrecen, por su reducido costo, un material que se emplea mucho para todos los trabajos de pulimento suave.

## Mezclas para pulir.

Para el abrillantado y el colorido, el abrasivo no es encolado sobre el disco de tela o paño, sino que se impregna en él, en forma de pasta o líquido. Para el abrillantado se utiliza muchas veces trípoli, un silicato de aluminio natural, de estructura fibrosa, sin cortes vivos ni esquinas o cretas.

Los abrasivos se mezclan con ceras, ácido esteárico (actúa formando

jabones metálicos), aceites, sebos, vaselina, parafina, petróleo, ceresina, etc., obtenidos la mayor parte de ellos por fusión y utilizados en forma de bloques.

Una composición grasienta deja la superficie velada después del pulido. Las grasas deben de ser eliminadas fácilmente en el desengrasado. Esta condición debe tomarse en cuenta en la fabricación de pastas o compuestos grasos.

Abrillantado de metales.

Después del pulimento de las superficies metálicas se presenta aún un rayado fino, producido por el abrasivo, que debe eliminarse si se quiere lograr un brillo espectacular. Este pulido se denomina de acabado, aclarado o colorido. Para su realización se emplean discos de muselina de diversos espesores y grados de rigidez, cosidos y de efecto duro o suelto, sujetos solo en su parte central.

En general los discos utilizados para el abrillantado son más suaves y baratos que los de pulimentación. Cuanto más próximas estén las costuras, tanto mas macizo es el disco.

A diferencia del pulido, en el que el empleo del pulimentador va pegado al disco, para el abrillantado el pulimentador se aplica sobre él y durante la marcha se agrega una mezcla rica en grasa.

## II.2 Desengrase.

Todas las piezas que vienen del taller o que se han desbastado y pulido están

engrasadas, de tal manera que el agua no las moja. En este estado no se pueden chapear, debido a que el recubrimiento no se fijaría o sería discontinuo. Por ello, el desengrasado es importante.

Este proceso consiste en la eliminación de aceites, grasas y suciedad superficial que queda de las operaciones de pulimento y refino, y polvo de la atmósfera. Se lleva a cabo el desengrasado con disolventes orgánicos, por ejemplo, petróleo, bencina o hidrocarburos clorados, que en lo posible tengan un punto de inflamación superior a los 37.8 °C. Se exige que estos disolventes tengan una gran capacidad de disolución (grado de saturación), alta velocidad de disolución (factor de tiempo), penetración, neutralización de las huellas de los dedos y la mayor protección posible de la superficie contra la formación de óxido. Esta operación tiene como fin, preparar una superficie uniforme que pueda ser atacada por las soluciones decapantes.

Se debe de distinguir entre un desengrasado tosco y un desengrasado fino. En muchos casos basta con el primero, pero no cuando ha de trabajarse con soluciones acuosas, pues en éstas se deben sumergir las piezas completamente para que se mojen perfectamente. Para el desengrasado tosco se emplean disolventes orgánicos capaces de disolver tanto grasas orgánicas como inorgánicas. Por razones de seguridad se emplean disolventes que tengan un punto de inflamación superior a los 37.8 °C. Se usa comúnmente el petróleo, el tricloroetileno o el percloroetileno; los dos últimos tienen la desventaja de que son narcóticos, aunque su efecto desaparece rápidamente al aire libre; debido a esto, es preferible trabajar con los hidrocarburos clorados en equipos cerrados. En instalaciones grandes es conveniente realizar el desengrasado con los disolventes vaporizados, porque gracias al pequeño calor latente de los hidrocarburos clorados, se condensan en gran cantidad sobre los metales. Aún mediante esta forma de desengrasado, las piezas no resultan suficientemente

mojables como para poderlas electrodepositar.

Cuando se trata de quitar componentes oleaginosos o grasosos de suciedad superficial mediante la sola inmersión en disolventes calientes o por medio de vapor, es posible que queden los sólidos que están firmemente adheridos a la superficie, cuyo desalojamiento ha necesitar de acción mecánica. Como resultado, los desengrasadores están provistos de medios de estregamiento. También se usan emulsiones como desengrasantes.

#### Desengrase químico.

El desengrase químico es un proceso que se lleva a cabo por ebullición. Las soluciones son fuertemente alcalinas. Las grasas o aceites se desdoblan en ácidos grasos y glicerina que son ambos solubles en agua. Un baño moderno de desengrasado es esencialmente complejo. Se ha reconocido que en proceso de desengrase se produce una multiplicidad de procesos. La solución de limpieza ha de reunir muchas condiciones, pues su valor depende del poder humectante, de la tensión superficial, del poder emulgente, del poder dispersante, de la tensión en la superficie límite, etc. Una solución moderna de desengrasado contiene sales alcalinas, como carbonato de sodio, sosa cáustica, vidrio soluble y fosfato trisódico; agentes humectantes y detergentes, como los sulfonatos de los alcoholes grasos; y agentes ablandadores, como polifósforos, por ejemplo, el calgon. Son principalmente importantes las adiciones que modifican la tención superficial de la solución (sustancias orgánicas tensoactivas). La parte hidrófoba de estas combinaciones consiste en cadenas largas de hidrocarburos, afines a la parte oleosa de la solución; la parte hidrófila hace posible la disolución en agua. A estos agentes pertenecen los jabones, los sulfonatos de los alcoholes grasos, los mersolatos, y los productos de condensación de los

cloruros de los ácidos grasos con productos de desdoblamiento de la albúmina. Todos estos productos son materias primas que se emplean mucho en la industria textil.

#### Desengrase electrolítico.

El uso del desengrase electrolítico alcalino es actualmente una práctica común en los procesos de la galvanotecnia. Fundamentalmente consiste en poner los artículos en una solución alcalina, empleando baños de sales sódicas y amoniacales poco costosas (cloruros, sulfatos), y hacerlos actuar como electrodo en un circuito eléctrico de corriente continua. Los objetos actúan como cátodo y se les aplica una diferencia de potencial de 6 a 12 voltios, las densidades de corriente catódica varían entre 3 a 10 A/dm<sup>2</sup>. Un considerable volumen de hidrógeno se libera en la superficie de los objetos a limpiar, y ésta producción de gas limpia eficazmente la superficie metálica gracias a su acción mecánica de restregado, que acelera el trabajo de la solución alcalina. Es muy conveniente para piezas sencillas que permiten una buena distribución de corriente.

El tanque puede actuar de ánodo, pero es preferible emplear ánodos separados, pues es más fácil controlar la densidad de corriente. El níquel es un metal ideal para usarlo como ánodo, ya que no es recubierto ni atacado por las soluciones utilizadas.

Las partículas depositadas son muy finas y pueden ser eliminadas durante las operaciones que le siguen al desengrase, tal como la inmersión rápida en una solución de cianuro o sumergiendo los objetos en ácido clorhídrico o sulfúrico diluido.

Cuando los metales sensibles han de ser desengrasados por inmersión en una solución orgánica, antes de cubrirlos con una capa de níquel brillante, el desengrase electrolítico alcalino deberá ser siempre anódico.

Condiciones de trabajo. Los desengrases electrolíticos se emplean generalmente en caliente, y los tanques deben de disponer de un rebosadero apropiado para permitir que sea fácilmente separada la grasa que se acumula en la superficie.

Limpieza electrolítica. El mejor sistema de trabajo consiste en desengrasar los objetos previamente en el cátodo, durante 1 minuto; después se cambia el sentido de la corriente cada 10 o 20 segundos durante el proceso de limpieza.

Los agentes humectantes no se emplean en los desengrases electrolíticos. Si se pretende incluirlos, deben de seleccionarse cuidadosamente y emplearse con cautela dadas sus propiedades espumantes. La producción de espuma puede llegar a ser molesta, incluso con las formulas de desengrase ordinario, a causa del gran desprendimiento de gases en el cátodo. Esta espuma de grasa conviene eliminarla a menudo, puesto que puede ensuciar las piezas al extraerlas del baño. Para reducir la producción de espuma se han incluido en las soluciones, materiales polares insolubles (como el alcohol octílico o hexílico), en forma de emulsión, pero su uso presenta desventajas, puesto que son volátiles y se evaporan cuando se emplean en soluciones calientes.

Desengrase-cobrado. En este tipo de baño se obtiene el desengrase y además una ligera aplicación de cobre. La gran ventaja de este baño consiste en que el desengrase queda perfectamente terminado y uniforme pero para que se realice se necesita de 10 a 15 A/dm<sup>2</sup>. Se debe de tener cuidado de no prolongar el desengrase-cobrado si se quiere que los recubrimientos posteriores se adhieran convenientemente.

## Sustancias químicas utilizadas en el desengrase.

Existen tres clases de sustancias utilizadas en el desengrase y limpieza de los metales:

- a. disolventes orgánicos
  - b. emulsiones detergentes, que consisten en soluciones acuosas de distintos productos, generalmente alcalinos, en mezcla con otras de distinta naturaleza.
  - c. productos de limpieza alcalinos emulsionados.
- a. Disolventes orgánicos.

La eliminación de grasa se puede realizar mediante un lavado con algún disolvente orgánico como benceno, nafta, tetracloruro de carbono, tricloroetileno, parafina, petróleo, etc.

El procedimiento de lavar los objetos en el baño de un disolvente líquido frío tiene varias desventajas, la principal es que queda sobre el objeto una película de disolvente que contiene algo de aceite disuelto y por consiguiente cuando aquel se evapora queda algo de grasa sobre la superficie que ha sido lavada.

Además la acción del disolvente usado en frío es relativamente lenta si no hay agitación, necesitándose el empleo de un gran equipo. Es preciso mucho movimiento y la manipulación de los objetos a lavar, por esta razón, el lavado en frío es muy costoso.

Es posible que con la sola inmersión de un detergente acuoso no se logren quitar todas las partículas sólidas de suciedad superficial. Se produce un efecto

más eficiente descargando gas en la superficie del metal; esto sucede si actúa como cátodo o ánodo el objeto a electrodepositar. El mayor volumen de hidrógeno generado en el cátodo, gas que tiene más penetrabilidad que el oxígeno, produce un mejor efecto de estregamiento que el oxígeno que se genera en el ánodo; pero el ánodo tiene menos probabilidades de contaminar la superficie del metal a galvanodepositar con algunos componentes de la solución; de ahí que algunas veces se prefiera la limpieza anódica. Además, los metales férricos y algunos otros que no lo son, absorben hidrógeno y se vuelven quebradizos, o bien se vuelve quebradizo el enchapado que se aplica subsecuentemente porque se destruye su adhesividad a causa de la efusión del hidrógeno que sale del metal base.

Los detergentes acuosos son soluciones de compuestos sódicos: carbonato, silicato, fosfato e hidróxido. Para efectuar la limpieza eficiente y total, es necesario que las soluciones produzcan: humectación superficial; saponificación de grasas; emulsificación de aceites, grasas y ceras, y dispersión y suspensión de partículas sólidas para impedir que se vuelvan a asentar en la superficie del metal. De las sales inorgánicas, los silicatos tienen mayor número de las propiedades requeridas, pero es posible que contribuyan a formar dibujos superficiales en subsiguientes operaciones de inmersión en ácido. Los fosfatos son buenos detergentes, más cuando se les añade agentes orgánicos con actividad de superficie (agentes humectantes), como sulfatos o sulfonatos alifáticos de cadena larga (o compuestos aromáticos que contienen tales cadenas).

El disolvente ideal para la limpieza del metal debería de cumplir con los siguientes requisitos: a) ser barato y fácil de adquirir, b) no ser flamable, c) ser un disolvente efectivo para todo los tipos de aceites, grasas, ceras y alquitranes, d) poseer baja toxicidad, e) poseer escasa viscosidad y tensión

superficial, para facilitar la penetración en los depósitos de grasa, f) ser fácilmente separable del material extraído, con un elevado porcentaje de recuperación, g) no ser corrosivo para los metales, incluso a elevadas temperaturas. Es difícil hallar un solo producto con todas estas cualidades, pero tendrá que procurarse la utilización de un disolvente que posea la mayor cantidad de beneficios.

Los disolventes son aplicados por inmersión o haciendo condensar sobre las piezas los vapores de los mismos. Siendo los más empleados el tricloroetileno o el percloroetileno.

En la tabla 1 se pueden ver algunas de las soluciones limpiadoras que se pueden utilizar en la limpieza de las superficies metálicas, ferrosas y no ferrosas.

#### b. Emulsiones detergentes.

Los productos de limpieza emulgentes tienen un amplio campo de aplicación debido a su bajo costo de utilización y alta eficacia. Estos agentes producen una superficie físicamente limpia, apta para los procesos de electrodeposición, pintura y procesos similares.

La eficiencia de un detergente como agente emulsionante viene determinada por su capacidad para provocar la espontánea dispersión del aceite en forma de pequeñísimas gotitas, unidas a la propiedad estabilizadora de la emulsión, evitando que éstas se reunan de nuevo. Los agentes emulsionantes se caracterizan por su tendencia a concentrarse en la superficie de separación agua-aceite.

### Soluciones limpiadoras

#### Para limpiar metales férreos

Carbonato de sodio.....	3 %
Fosfato de sodio, $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .....	1.5 %
Hidróxido de sodio.....	0.75 %
Colofonia (o agente humectante adecuado) .....	0.075 %
Temperatura.....	93 °C o más.
Densidad de corriente	
(1 ó 2 minutos en el cátodo).....	4.30 - 6.45 A/dm <sup>2</sup>
(15 a 30 segundos en el ánodo).....	4.30 - 5.40 A/dm <sup>2</sup>

#### Para limpiar metales no férreos

##### Piezas de zinc

Carbonato de sodio.....	1.5 %
Fosfato de sodio.....	0.75 %
Hidróxido de sodio.....	0.375 %
Tratamiento catódico a 6 volts.....	1 ó 2 minutos
Tratamiento anódico a 6 volts.....	15 a 30 segundos
Temperatura.....	93 °C

##### Piezas de aluminio

Carbonato de sodio .....	1.5 %
Fosfato de sodio.....	0.75 %
Temperatura.....	93 °C
Tiempo de inmersión.....	1 ó 2 minutos

##### Piezas de cobre y latón

Metasilicato de sodio, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ .....	1.5 %
Fosfato de sodio.....	1.5 %
Tratamiento catódico a 6 volts.....	1 minuto
Tratamiento anódico a 6 volts .....	15 segundos
Temperatura.....	93 °C o más

Tabla 1. soluciones limpiadoras para las superficies metálicas.

Los agentes emulsionantes son también casi siempre agentes humectantes, y es difícil distinguir claramente entre estos dos fenómenos.

c. Emulsionantes alcalinos.

Consiste en la inmersión de las piezas en recipientes de acero que contienen soluciones alcalinas tales como hidróxido de fosfato, de sodio o potasio con agentes humectantes. La solución normalmente se calienta a 80 o a 100 °C. Se recurre a serpentines por los cuales circula vapor (con o sin introducción de vapor en el líquido). Los recipientes deben de ser soldados con soldadura autógena. Grandes instalaciones usan un túnel donde la solución alcalina es rociada sobre las piezas.

Las piezas de latón, cobre o bronce, después de pasar por este procedimiento, pueden quedar manchadas; estas manchas se eliminan mojando las piezas con una solución de cianuro sódico al 10 %.

Prueba de la eficiencia de desengrase.

Un medio sencillo de comprobar la eficiencia de la deterción es ver si el agua, al escurrir por la superficie después del enjuague subsiguiente a la operación deterativa, forma gotitas o estrías que no se escurren con facilidad. Cuando la superficie está bien limpia, el agua corre formando una película ininterrumpida. En el metal desengrasado, fácilmente se ven las impurezas grasosas, cuando se ha utilizado algún detergente alcalino deficiente. El operario debe siempre vigilar las irregularidades del agua al escurrir sobre las piezas en cualquier periodo de las operaciones de preparación y enchapado, pues cuando se

presentan es necesaria una nueva deterción. Quizá haya interrupciones tardías del escurrimiento del agua al enjuagar las piezas después del baño ácido, en la limpieza química, en cuyo caso es necesario repetir la deterción.

Otro método puede ser el empleo de la medida de intensidad de fluorescencia por irradiación con luz ultravioleta. La intensidad de fluorescencia es proporcional a la cantidad de grasa y aceite contenido en la superficie del objeto. Aunque se tiene que considerar que este método por el momento no es práctico, ya que no es costeable y se necesitaría capacitar al personal.

Es muy importante el enjuague minucioso de las piezas después de cada una de las operaciones de limpieza. El agua con que se enjuagen las piezas, debe ser muy limpia y no ha de quedar ácida ni alcalina por acumulación de la solución que se está expulsando. Según los caracteres, de forma y de arrastre de los artículos que se enjuagen, se efectúa esta operación por inmersión en tanques de agua corriente o por aspersion, o por ambos procedimientos.

### 11.3 Decapado.

En el decapado se eliminan los óxidos u otros compuestos formados en la superficie del metal base. Los compuestos de metales extraños se consideran como suciedad física. Se lleva a cabo el decapado con ácidos, ya eliminada la grasa por inmersión de los objetos en baños alcalinos calientes con adiciones de agentes humectantes.

Recientemente se han introducido los métodos de pulverización por presión (menos ataque al metal, menos consumo de ácidos y menor absorción de hidrógeno por el metal).

## Decapado químico.

Cuando las piezas no se desbastan o pulen, es recomendable un decapado antes del galvanizado, para eliminar los óxidos que existen sobre el metal. Para evitar un ataque fuerte al metal base por el agente de decapado, es necesario añadir al baño sustancias orgánicas, denominadas inhibidores. Es necesario que las piezas estén lo mejor posible desengrasadas. Los agentes de decapado son generalmente soluciones ácidas, que han de tener una composición adecuada para el fin a que se destinen; en la mayoría de los casos, se prefieren baños de decapado brillante, porque con el brillo obtenido en el decapado, se puede obtener un recubrimiento brillante durante la electrodeposición. Los decapados brillantes no deben confundirse con el pulido químico. En el pulido químico se logra un efecto igualador análogo al pulido electrolítico.

En el decapado químico se desprenden vapores muy venenosos, por lo que no se debe de trabajar en locales cerrados y sin aspiración con baños que contengan ácido nítrico. Los gases nitrosos formados son un veneno de la respiración y la sangre. Los que contienen ácido fluorhídrico causan grandes lesiones de piel y sobre todo de ojos, por lo que en tales trabajos deben siempre emplearse gafas protectoras y guantes de goma.

Además de las soluciones acuosas también se ha probado para el decapado, los baños de sales fundidas, aunque en general es necesario un decapado posterior en ácido, porque con las sales fundidas solamente se afloja la cascarilla de óxido.

**Decapado ácido.** El baño ácido es una operación importante, sobre todo cuando las piezas tienen que chapearse en soluciones ácidas. Esta operación tiene dos finalidades: quitar cualquier película de empañamiento formada durante el pulido

o después de él; y neutralizar la película alcalina que haya quedado a pesar del enjuague, en el desengrasado, con el fin de evitar que se produzca un efecto desfavorable en el pH del baño de enchapado. Después del baño ácido y el consiguiente enjuague, quizá convenga la neutralización mediante la inmersión de la pieza en una solución diluida de cianuro, para prevenir la corrosión cuando hay tendencia a ella en un ciclo prolongado de transferencia.

**Decapado alcalino.** Muchas operaciones de galvanostegia se efectúan en solución alcalina, de manera que es conveniente añadir un baño neutralizador alcalino después de la serie de inmersión en ácido y enjuague. Antes de poner las piezas en un baño electrolítico de cianuro, se pasan por una solución diluida de cianuro de sodio o de potasio (1.75 a 1.50 %). En este respecto se recomienda los baños neutralizadores cuando las piezas pasan por enjuagues de solución alcalina a solución ácida de chapeado, o viceversa. Esta neutralización es importante, dado que conserva la limpieza efectuada en las operaciones anteriores.

#### **Decapado electrolítico.**

En la práctica, se distingue el decapado anódico del catódico. En ambos casos, se afloja la cascarilla de óxido. La ventaja principal del decapado electrolítico es que requiere mucho menos tiempo que el químico y que a pesar del fuerte desprendimiento de hidrógeno que se produce en el cátodo, la fragilización que causa es mucho menor que en el químico. Para evitar en todo lo posible la fragilización del metal base, debe recurrirse al decapado anódico.

En este proceso el metal actúa como ánodo o cátodo en una solución de ácido o de una sal neutra. El decapado anódico es el preferible, pues se evita el peligro

de que el material absorba hidrógeno. El herrín se elimina principalmente como resultado de la acción mecánica del gas puesto en libertad (durante la electrólisis), en la superficie del metal. Generalmente se usa como electrólito ácido sulfúrico diluido, teniendo una densidad de corriente de 2 a 10 A/dm<sup>2</sup>. Las dificultades de aplicar la corriente y la duda de saber si los resultados justifican el empleo de un equipo relativamente complicado y costoso, han limitado la aplicación general del sistema.

Decapado por chorro de abrasivo.

Es un método apropiado para la eliminación de herrín por medio de la proyección de partículas abrasivas a gran velocidad sobre las superficies metálicas.

El empleo de abrasivos es especialmente útil para la eliminación de los herrines silíceos producidos al soldar o fundir en arena; estos son muy resistentes a los ácidos, el decapado a chorro es un método apropiado para proceder contra los herrines de este tipo. No obstante, debe tenerse cuidado en el caso de eliminar el herrín en las operaciones de laminado; se evitará introducir partículas de abrasivo en la superficie del metal, pues podrían actuar como centros de corrosión cuando se aplicasen los recubrimientos de acabado.

Entre uno de los abrasivos más comunes que se utilizo primeramente fue la arena por barata y abundante, pero tiene el inconveniente de que el polvo producido es perjudicial para la salud. En los últimos años, se observa una tendencia cada vez mayor hacia el empleo de granilla o perdigones de acero endurecido. Estos abrasivos tienen sus ventajas: reducción de la formación de

polvo, vida más larga del abrasivo, mayor uniformidad en el decapado, mayor eficiencia para un mismo consumo de energía.

Decapado por medio de lodos abrasivos. Un perfeccionamiento reciente es el chorreado con vapor o proceso de decapado mediante lodos abrasivos. En este método, el abrasivo utilizado es la alúmina sintética, en partículas de tamaño apropiado y suspensión acuosa formando un lodo, se conduce por gravedad a una tobera mediante la cual, y con ayuda de una corriente de vapor o de aire, es proyectada sobre las piezas a decapar. Con este procedimiento, adquiere el metal una superficie limpia y mate muy apta para las operaciones siguientes de pulido, recubrimiento, etc.

Decapado de los metales ferrosos.

La mayor cantidad de material decapado corresponde al hierro y al acero, y este proceso constituye una de las más importantes operaciones industriales. Así todos los procesos galvanotécnicos de acero deben de ser decapados antes de su electrodeposición.

Acidos usados. La eliminación del herrín de los metales ferrosos se lleva a cabo a efecto, decapando en una solución de ácido sulfúrico o clorhídrico. La remoción del herrín se produce como resultado de la eliminación química de la capa de herrín y el desprendimiento del gas originado al reaccionar el ácido con el metal base.

Acido sulfúrico. El mejor ácido 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 esta próxima al 25 %,después la velocidad de decapado disminuye rápidamente. Se emplea una solución de 5 a 10 % de ácido sulfúrico a 60 - 80 °C, pero a medida que el ácido se convierte en sulfato ferroso, periódicamente se ha de añadir más para que permanezca constante el contenido de ácido en el tanque. Cuando la concentración de sulfato ferroso se ha elevado, se debe de vaciar el tanque y desechar la solución.

Acido clorhídrico. El ácido comercial consiste en una solución acuosa al 30 - 35 % de ácido clorhídrico gaseoso. La volatidad del ácido hace impracticable su empleo a elevadas temperaturas. La velocidad de decapado se incrementa con la elevación de la concentración del ácido. A veces se práctica la adición del ácido clorhídrico al ácido sulfúrico. Con tales condiciones se acelera el decapado y la mayor solubilidad del cloruro ferroso hace posible usar la solución más tiempo. Después del decapado, queda sobre la superficie del metal una capa de abundante lodo. Mucho de este lodo se acumula también en la superficie de la solución. En el decapado con ácido sulfúrico, el lodo contiene hasta un 0.6 % de hierro disuelto en el ácido; con el 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.

Es importante el lavado cuidadoso del metal decapado para quitar estos depósitos. Este lavado debe ser a consciencia para eliminar todas las trazas de sulfatos. A este lavado le sigue, a veces, una inmersión en soluciones diluidas de ácido fosfórico o dicromato sódico para formar películas de inhibidores anticorrosivos de fosfato o cromato de hierro en la superficie del metal.

Decapado de los metales no ferrosos.

Los principales metales no ferrosos que presentan algunos problemas reales de desincrustación en la práctica industrial, son las aleaciones de cobre, bronce y latón donde su limpieza se prefiere con el decapado químico o bien el electroquímico. El cobre y sus aleaciones, como el latón y el bronce, se decapan corrientemente en ácido sulfúrico caliente al 10 %, bajo condiciones similares a las usadas en el decapado de los metales ferrosos, aunque es obvio que los metales ferrosos y los no ferrosos no deben de tratarse en el mismo baño. El óxido se elimina en gran parte por disolución química, este tipo de decapado se aplica principalmente en el desoxidado de las aleaciones en conexión con el laminado o el prensado.

#### II.4 Avances recientes.

Modernamente se recomiendan para la limpieza los llamados procesos en dos fases. Mediante la trietanolamina se preparan emulsiones solubles en agua de petróleo, ácido oleico, etc. Estas emulsiones pueden diluirse hasta relaciones 1:8 a 1:90 con agua y pueden emplearse muy bien para la limpieza. Para intensificar el efecto de desengrasado se prescribe el empleo de ultrasonidos. La solución debe de desengrasar completamente, aún las piezas de perfiles muy complicados, cuando éstas pasan por la zona activada con los ultrasonidos.

#### Ultrasonido.

Este método es costoso, no contamina y es rápido. Se emplea para limpiar piezas pequeñas y básicamente consiste en emplear, vibraciones ultrasónicas (más de 30 000 herz), en el interior del líquido lavador. Aparatos adecuados permiten la producción del ultrasonido para la limpieza de pequeñas piezas

mecánicas de precisión. El procedimiento da óptimos resultados, ya que como se efectúa en frío, permite notables ahorros de energía y de líquido ya que este no sufre evaporación.

#### Luz Ultravioleta.

Un serio obstáculo en la investigación exhaustiva acerca de la limpieza de los metales, es la dificultad para definir cuando esta limpia una superficie. Los criterios más comúnmente aplicados son: primero, la ausencia de ruptura en la película de agua, o sea, la humectación completa cuando se enjuaga con agua; segundo, en el que cualquier grumo pueda limpiarse por simple fricción; y tercero, la producción de depósitos adherentes y continuos. Pero ninguna de estas pruebas proporciona una evidencia cuantitativa del grado de limpieza en la superficie. Por lo que han sido propuestas varias pruebas para medir la eficiencia de los procedimientos de limpieza, aplicando inicialmente un aceite adecuado y después exponiendo la superficie limpia a la luz ultravioleta, lo que ocasiona la fluorescencia de cualquier aceite residual. Esta prueba puede ser útil para comparar los períodos de tiempo requeridos por diferentes materiales o procedimientos que puedan quitar prácticamente todo el aceite.

La aplicación de métodos tales como la difracción de rayos X o la difracción de electrones, así como la observación mediante el microscopio electrónico, pueden utilizarse para la limpieza de superficies metálicas; el único inconveniente de estos métodos es que no son económicos ni prácticos.

### CAPITULO III. PROCESOS DE DORADO Y PLATEADO

El principio básico de los procesos galvanotécnicos consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución (baño electrolítico), estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie utilizando corriente eléctrica. Existen en la galvanotecnia procesos en los cuales el metal se deposita sin fuente externa de corriente eléctrica. En ambos procesos de recubrimientos, la capa depositada forma cristales metálicos. En función del tipo de estructura cristalina se derivan las diferentes propiedades del recubrimiento con más campos de aplicación.

El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce casi exclusivamente por su inmersión en un baño. Para ello se introducen las piezas en las celdas donde se encuentra el electrólito, se les aplica la corriente, se recubren y se secan. Al extraer las piezas del baño arrastra una cantidad del electrólito sobre su superficie. Esa película superficial arrastrada se elimina en un proceso de lavado posterior para que no interfiera en las siguientes operaciones y presente las condiciones de acabado exigidas.

La electrodeposición de metales en diversos objetos es muy utilizada debido a que proporciona una o más de las ventajas siguientes:

- a. Depósitos más uniformes son producidos en partes complejas, sin el aumento excesivo en proyecciones u orillas.
- b. Los depósitos son a menudo menos porosos.
- c. Los depósitos se producen directamente sobre no conductores.
- d. Los depósitos mejoran las propiedades químicas, mecánicas o magnéticas.

Un proceso de recubrimiento electrolítico está compuesto por numerosas

operaciones que, en función de las exigencias de calidad y el campo de aplicación seleccionado, pueden agruparse del siguiente modo:

- a. Pulido. Con el pulido se trata de eliminar asperezas o defectos de las superficies. Incluye procesos como el cepillado, bruñido y rectificado. Después es necesario someter las piezas a un proceso de lavado, para eliminar la grasa y el abrasivo utilizado, así como polvo metálico.
- b. Desengrase. En la fabricación de piezas se emplean grasas, taladrinas, aceites y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. A menudo también se engrasan las piezas como protección anticorrosiva temporal. El desengrase puede efectuarse de dos formas: con disolventes orgánicos o con soluciones acuosas alcalinas con poder emulsificador.
- c. Decapado. El contacto entre atmósfera y piezas metálicas provoca la formación de capas de óxido; el objeto del decapado es su eliminación. El baño de decapado contendrá diversos tipos de metal en solución en función del tipo de material base y del grado de mantenimiento y desmetalizado de los contactos de bombos y bastidores.
- d. Neutralizado. El proceso de activado, también llamado neutralizado o decapado suave, se utiliza para eliminar esa pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. Esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva y por lo tanto mala conductora. Las soluciones empleadas son, por lo general, ácidos muy diluidos. Los activados permiten asimismo eliminar velos y manchas generados por compuestos orgánicos y/o inorgánicos.
- e. Desmetalización. La operación de desmetalizado va dirigida a eliminar los recubrimientos de piezas rechazadas o de los contactos de los bastidores sin producir daños en el metal base. Los primeros tienen una composición similar a un electrólito y los segundos suelen contener complejantes fuertes que pueden generar problemas en los tratamientos de aguas residuales.

Los electrodepuestos más útiles que se han producido son de níquel, cobalto, paladio, platino, cobre, oro, plata, y una variedad de aleaciones que implican uno o más de estos metales.

### III.1.1 Proceso de dorado.

Antiguamente la mayoría de los recubrimientos de oro se usaban con fines decorativos, como por ejemplo, en la fabricación de bisutería. Hoy se encuentran mucho más aplicaciones; se emplean extensamente en ciertos tipos de contactos eléctricos, especialmente en los electrodos de los transmisores telefónicos; en la fabricación de instrumentos de radar y de otros aparatos electrónicos que utilizan frecuencias muy elevadas, tales como las guías de onda; son utilizados para proteger componentes de vehículos espaciales. La aleación 49.5 % de oro, 40.5 % de paladio y 10 % de hierro presenta gran resistividad, utilizándose para la fabricación de resistencias potenciométricas.

La resistencia del oro frente al ataque químico y el empañado determina que sus recubrimientos sean muy útiles en ambientes muy corrosivos, mientras estén exentos de poros.

El espesor de un electrodeposito de oro suele ser de 0.0000254 -0.000254 mm, pero en casos especiales se dan enchapados más gruesos. Estos recubrimientos son de grano fino y de estructura densa. Es posible depositar capas de oro sobre el bronce con espesores de 0.0025 mm en donde no se muestran indicios de corrosión o de picadura. Por regla general las superficies de contactos eléctricos se recomiendan depósitos de 0.0125 mm de espesor. Los recubrimientos de oro utilizados para fines decorativos tienen espesores de 0.25 a 0.95 micras. Rara vez se hacen depósitos que lleguen a una centésima

de milímetro de espesor.

Los metales que se doran por electrólisis son el acero, latón, cobre, plata alemana, metal blanco a base de plomo, zinc o estaño y aleaciones de aluminio.

Los materiales no metálicos que se recubren con oro son resinas sintéticas, madera, papel, tela, vidrio, porcelana, materiales de cerámica, cuero, huevos y hojas secas u otras formas de vegetales para usos especiales.

El oro es un metal amarillo y se caracteriza por su brillo inempañable. Sólo lo atacan los halógenos, el cianuro, el mercurio y el agua regia. No se oxida en el aire ni en el oxígeno a ninguna temperatura.

Algunas de sus propiedades características son:

Densidad 19.33 Kg/dm<sup>3</sup> a 15 °C

Pto. de fusión 1063 °C a 1 atm.

Calor específico 0.0312 cal./(gr °C)

Coefficiente de dilatación 14.2 X 10<sup>-6</sup>

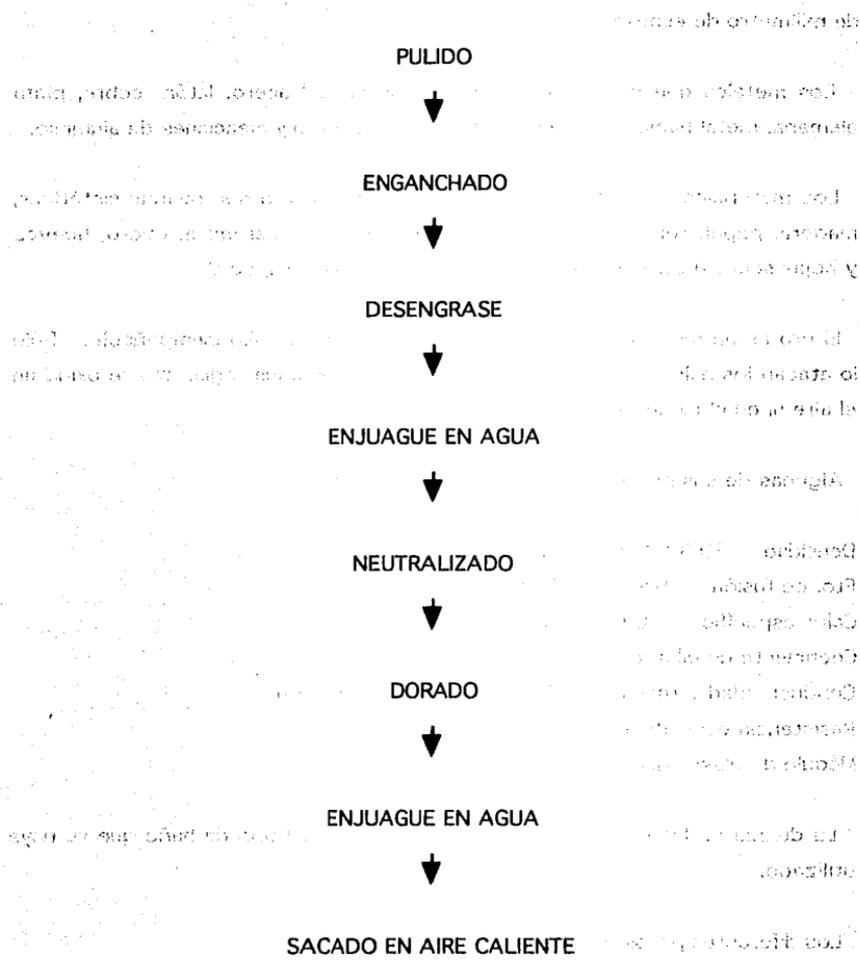
Conductividad térmica 0.71 cal/(seg)(cm<sup>2</sup> )(°C/cm)

Resistencia específica 0.004

Módulo de elasticidad a la tracción 2250 kg/cm<sup>2</sup>

La dureza de los recubrimientos de oro depende del tipo de baño que se haya utilizado.

Los diferentes pasos del proceso de dorado son:



## Descripción del proceso.

### 1. Preparación de las piezas.

Como los electrodepósitos con oro son muy delgados, los objetos que van a ser chapeados deben de estar completamente limpios y sin poros, es decir, deben de colocarse en soportes y estar pulidos, desengrasados y decapados.

Se acostumbra recubrir electrolíticamente los objetos con cobre, níquel o plata antes de dorarlos, sean o no metálicos, para obtener una superficie conductora y un buen acabado. Si el material no metálico no es susceptible a ser recubierto por este método, para darle conductancia superficial se le puede aplicar con brocha o por aspersion una capa de goma o laca con una suspensión de polvo de bronce o grafito.

A continuación se mencionan algunos procesos de limpieza química previa a la deposición para algunos metales:

**Cobre y sus aleaciones:** Se calienta hasta ebullición en un recipiente de hierro con tapa una solución de 1/2 Kg de potasa cáustica en 4 litros de agua; se cepillan los objetos hasta quitar todos los cuerpos adheridos, se rodean con alambre y se suspenden en la lejía caliente. Al sacar los objetos de esta solución se procede al lavado y decapado si se desea.

**Hierro y fundición:** Se sumergen las piezas en una solución alcalina caliente; se lavan con agua y se introducen en un agua acidulada; después de una hora, se frotran con arena y un cepillo de fibra. Seguidamente se lavan y neutralizan las piezas.

**Zinc, estaño y plomo:** El zinc se limpia teniéndolo unos momentos en lejía caliente de potasa, se lavan y se depositan en agua acidulada; después de unos minutos se lava con suficiente agua caliente y si es preciso se frotra con piedra

pómez y un cepillo duro mojado en una solución de cianuro. El estaño y el plomo, y las aleaciones de estos metales se frotran con un cepillo y potasa caliente, se lavan enseguida con agua y se acepillan, o se frotran con un pedazo de madera blanda y se lavan y neutralizan.

## 2. Enjuague con agua.

El enjuague debe llevarse a cabo con agua limpia después del decapado; en esta etapa el gasto de agua es cuantioso si se desea un buen acabado. El lavado se realiza por inmersión o por rociado.

## 3. Neutralizado.

Como los últimos residuos de ácido son difíciles de eliminar solamente con agua, aumenta considerablemente el peligro de oxidación, por tanto, se debe de añadir al agua algún álcali después de decapar las piezas, para neutralizar los restos de ácido.

Los baños de neutralizado más usados contienen 3 partes de sosa y 1 de bórax, cantidades con las que el contenido alcalino activo, valorado con fenoftaleína y ácido, corresponden al 0.25 - 1.3 % (temp. 65 °C). En algunos casos se sugiere después de neutralizar con sosa y bórax, sumergir las piezas en otro baño de bórax con 0.08 % de álcali activo al 75 % o bien en un baño de cianuro sódico al 0.15 % a 50 °C.

Seguidamente acostumbra frostrarlos con un trapo para remover la grasa o polvo que pudiera estar presente y se introducen en una celda que contenga una solución electrolítica de oro.

#### 4. Dorado.

A causa del alto precio del oro, es raro dorar grandes objetos; y como los baños no tardan en gastarse y deben renovarse con nuevas cantidades de líquido, se emplean celdas electrolíticas lo más pequeñas posibles. Estos recipientes se calientan a baño maría o con vapor. En la figura 2 se muestra un esquema de la celda en la que lleva a cabo la deposición del oro en el objeto deseado.

Además de la celda electrolítica, se debe tener un voltímetro, amperímetro y una fuente de poder, para controlar las condiciones de operación.

Las soluciones electrolíticas o baños para los recubrimientos de oro, están constituidas esencialmente por el cianuro doble de oro y potasio, que trabajan con densidades de corriente bajas. Los baños de dorado trabajan a temperaturas comprendidas entre 15 y 80 °C y con densidades de corriente de 0.1 a 0.5 A/dm<sup>2</sup>. En estas soluciones se encuentra el oro en estado monovalente, por lo que el equivalente de descomposición es muy alto (7.357 g/Ah).

La concentración del baño puede mantenerse constante con adiciones sucesivas de cloruro de oro con la proporción correspondiente de agua y de las demás sales; pero es preferible gastar el baño del todo y preparar uno nuevo.

Se ponen ánodos de oro puro (24 quilates) para reponer el oro extraído del baño, que se deposita; pero la mayoría de las veces se alternan con ánodos insolubles de acero inoxidable o de carbón para mantener constante la concentración de oro.

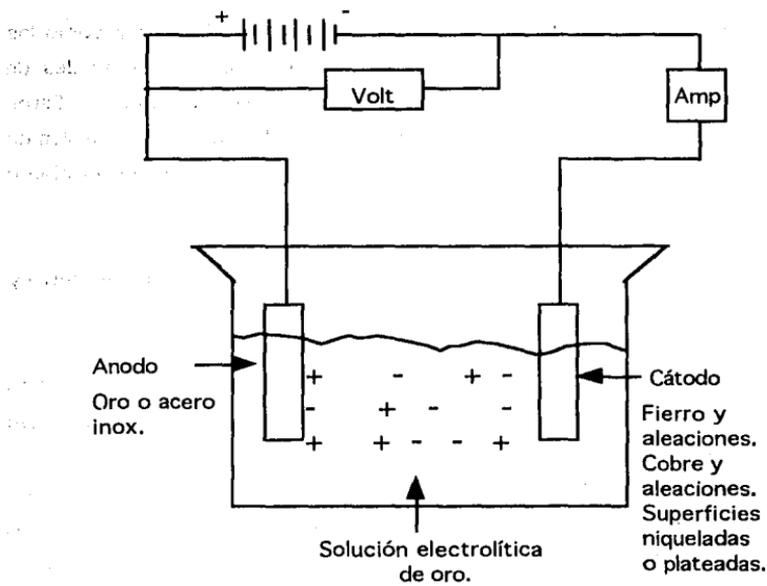


Fig. 2 Diagrama de la celda electrolítica utilizada para el chapeado de oro.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.,  
 FESC UNAM

Los objetos quedan dorados de muy diversa manera si se mueven o no durante la operación. De aquí resulta que el color del dorado puede regularse por el movimiento del objeto en el baño.

Existen algunos abrillantadores comerciales para el baño de oro, entre éstos esta el ferrocianato de sodio, que se puede agregar en la celda.

#### 5. Lavado final y secado.

Después del dorado, debe efectuarse un minucioso lavado de las piezas. El lavado se realiza por inmersión o por rociado. Después de pasar las piezas por cada etapa, se lavan y se dejan gotear durante algunos segundos antes de introducirlos al siguiente paso o etapa. El lavado consigue que los baños de las siguientes etapas se ensucien menos, además acelera y disminuye el tipo de operación.

Se deben observar los objetos sacados de las soluciones calientes o concentradas, pues no pueden dejarse gotear demasiado tiempo sin el peligro de la formación de manchas cuando se sequen. Este peligro puede evitarse rociando con agua las piezas durante el tiempo de goteado.

El lavado por inmersión exige una gran cantidad de agua, ya que solo así se pueden obtener buenos resultados, por lo tanto, es necesario proveer estos baños con una entrada continua de agua con rebose. El lavado se favorece con el movimiento del agua por agitación, inyección de aire, movimiento de las piezas, etc. El movimiento del baño debe de arrojar las impurezas de las piezas por el rebose.

En el lavado por rociado se debe tener menos impurezas, debido a la

eliminación de los residuos de las limpiezas anteriores. El rociado debe de bañar uniformemente todas las superficies de las piezas; el ángulo en que se dirigen los chorros de agua son esenciales, particularmente si en las superficies a lavar existen cavidades o relieves en general.

Se ha obtenido mucho éxito en la combinación del lavado por inmersión y rociado, donde las piezas al ser sacadas del baño por inmersión, son rociadas con agua pura.

Después del lavado, se dejan secar los objetos a temperatura ambiente o en una cámara de aire caliente y finalmente se desenganchan.

También se pueden secar las piezas introduciéndolas en un recipiente con aserrín caliente.

## 6. Desmetalización.

Esta operación se utiliza para recuperar el oro del recubrimiento de las piezas rechazadas o defectuosas sin dañar el metal base. Una manera sencilla de llevar a cabo esta etapa es la de colocar las piezas como ánodos en el baño electrolítico, y pasar la corriente eléctrica hasta que se descubra totalmente el metal base.

### III.1.2 Innovaciones de los procesos de dorado.

#### Dorado parcial.

Cuando se trata de dorar determinadas partes de un objeto, se resguardan las

demás con barniz. El objeto a recubrir parcialmente, no debe introducirse en el baño (ni frío ni caliente) hasta que se haya secado y endurecido el barniz.

#### Renovación del dorado mate.

Para renovar recubrimientos de oro mate (lo cual en general es imposible, porque el oro mate es muy débil), es mejor encobrarlos antes de dorarlos. Una vez depositado el cobre, se limpia y se pule muy bien el objeto, y se pasa al baño de dorar. De este modo se ahorra mucho tiempo de trabajo, adquiriendo además el objeto un aspecto nuevo sin el menor defecto.

#### Dorado en color.

Pueden obtenerse diversos tonos de rojo y verde en el dorado de los objetos de arte, del modo siguiente: si se quiere obtener dorado rojo, de diferentes tonos, se sumerge una placa de cobre puro en un baño de oro algo concentrado (al 5 ó 6 %), que se conecta con la batería de modo que el oro se deposite sobre el objeto que se trate. La corriente eléctrica hace que se disuelva el cobre de la placa, y a la vez que el oro se deposite sobre el objeto, formándose una aleación cobre-oro de color dependiente de las cantidades de cobre y oro que contenga. Una vez conseguido el tono de color deseado, se saca la placa de cobre y se sustituye por otra compuesta por aleación oro-cobre, obtenida también por electrólisis, y se vuelve a dorar el objeto en este baño. En algunas fábricas importantes de artículos de oro se colorean de este modo los objetos de oro puro, para darles un aspecto más agradable. Para producir un dorado verde, se emplea una placa de plata en vez de la de cobre, resultando una aleación oro-plata, del color buscado, y se dora nuevamente el objeto con

esta placa. Es difícil dar una capa de oro viejo a la plata, sobre todo cuando las partes más salientes han de aparecer verdes. En este caso resulta más ventajoso encobrar primero ligeramente la plata, quitando el cobre de los puntos más salientes con piedra pómez, y sumergiendo después el objeto en la solución anterior. Si las partes de relieve quedan demasiado mates, se abrillantan un poco frotándolas con un cepillo fino de pelo de latón. De este modo resulta un color castaño en las partes bajas y verde en las elevadas. Este procedimiento requiere bastante práctica, y para producir un dorado muy fino, conviene dar a los objetos una mano de barniz incoloro.

#### Incrustaciones con oro.

Se bruñe primero muy bien el objeto, y las partes que se trata de dorar se cubren con una mezcla de blanco de España y agua de goma, que se aplica, en estado pastoso, con una pluma o pincel. Las partes no cubiertas de este modo, se pintan con barniz de asfalto, compuesto de una solución de asfalto en bencina a la que se agrega aguarrás para que sea menos volátil. Se pone después el objeto en agua, para que desaparezca el blanco de España, y se pasa el baño de dorar, en el que el oro se deposita sobre las partes descubiertas del objeto. Cuando la capa de oro es bastante gruesa, se saca el objeto, se lava y después ya seco se mete en una vasija llena de benzol, a que se disuelva el asfalto, quedando marcado el dibujo en oro sobre el metal del que esté hecho el objeto. También puede hacerse esta clase de dorados, llamados incrustaciones, cubriendo todo el objeto con barniz de asfalto, y haciendo el dibujo con un punzón, que sólo quite el barniz, sin rayar el metal. Sobre estas partes así descubiertas se deposita el oro electrolíticamente, y después se quita la capa de barniz.

### Dorado del acero bruñido.

Se mezcla una solución casi neutra de cloruro de oro con éter sulfúrico y se agita bien. El éter toma al oro, y la solución así formada flota sobre el resto del líquido. Si esta solución se aplica con el pincel de pelo de camello sobre acero o hierro bruñido, el éter se evapora, y el oro, que se adhiere ligeramente, queda reducido al estado metálico sobre la superficie y puede bruñirse o pulirse. El acero queda recubierto de oro con gran rapidez, aún empleando una corriente eléctrica muy débil.

### Dorado del hierro y acero.

Los objetos de hierro y acero bruñido deben de encobrirse primero. Después se deberán sumergir en la solución para dorar. Este dorado puede bruñirse.

### Dorado del latón.

Sobre el latón puede depositarse el oro con gran economía empleando soluciones diluidas. El depósito resulta muy fino, quedando firmemente. En el dorado de objetos de bisutería (broches, dijes, etc.) primero se sumergen los objetos un momento en una mezcla compuesta de partes iguales de ácidos sulfúricos y nítrico, con un poco de sal común; en seguida se depositan en agua fría. Se lavan con agua y se introducen en el baño de dorar, donde al cabo de poco tiempo se doran. Se lavan después en agua caliente, y se secan por último en aserrín caliente. Los objetos suspendidos con un gancho o dentro de una cuchara de porcelana agujerada deben moverse continuamente en el baño.

### Dorado de la plata alemana.

La plata alemana tiene la propiedad de reducir el oro de la solución de cianuro (sobre todo si la solución es concentrada), sin necesidad de corriente eléctrica; por esta razón, para dorar esta aleación sin electricidad, hay que emplear la solución tan diluida, que aquélla no haga por sí sola depositar el oro en la superficie; de no hacerlo así, el oro se deposita con tanta rapidez, que se desprenderá al bruñir o acepillar el dorado. Por otra parte, la superficie expuesta del ánodo debe ser pequeña.

Plomo, metal Britannia, etc. Cuando hay que dorar los objetos hechos de plomo, estaño, metal inglés, hierro o acero, lo mejor es aplicarles primero una capa de cobre en un baño alcalino, o enlataarlos por electrólisis, después de lo cual se pueden dorar perfectamente.

### Dorado de la seda.

Primero se hace que el tejido sea conductor impregnándolo con una solución de nitrato de plata y reduciendo ésta con glucosa y álcali diluido, o mejor aún con sal reductora de Raschig.

En vez del nitrato de plata, puede emplearse una solución de acetato de plomo o de cobre. Se trata la seda, así impregnada, con una solución de un sulfuro alcalino (el sódico o el amónico, por ejemplo) o con ácido sulfhídrico, resultando así una capa conductora de un sulfuro metálico, sobre la cual se deposita electrolíticamente el oro, como si se tratara de dorar un metal.

### III.2.1 Proceso de plateado.

La electrodeposición industrial de plata data del año de 1840 con el descubrimiento de John Wright; que para obtener un recubrimiento denso, uniforme y adherente de plata había que emplear una solución de cianuro de ese metal. Hoy las soluciones de cianuro se siguen empleando casi exclusivamente en la galvanotecnia. Estas soluciones tienen muchas ventajas, tales como rendimientos anódicos y catódicos elevados y buenas características de galvanizado, en un intervalo muy amplio de composiciones de la solución, temperaturas y densidades de corriente.

La industria joyera consume cantidades considerables de plata para el plateado galvánico. Industrialmente los recubrimientos electrolíticos de plata se utilizan, a causa de su resistencia a la corrosión, en recipientes y tubos; y por su elevada conductividad eléctrica y calórica, en contactos eléctricos. La gran reflectividad de la plata, junto con la gran facilidad con la que se puede aplicar en la electrólisis, hace que este metal sea muy utilizado en los reflectores y en la joyería.

El espesor aplicado a piezas huecas, planas y cuchillería se regula en la industria joyera conforme a patrones de calidad y generalmente es de 0.00254 - 0.03175 mm. Los cojinetes requieren 0.1016 - 0.635 mm, pero pueden llegar hasta 1.524 mm en casos especiales.

La plata es el más blanco de todos los metales y tiene la más alta reflectividad óptica. Posee así mismo la más alta conductividad térmica. Resiste los ácidos acético y fosfórico, siempre que no lleven sulfuros, o hidróxido sódico y potásico y la mayor parte de los compuestos orgánicos. Se disuelve con facilidad en el ácido nítrico y con ayuda del calor, en el ácido

sulfúrico concentrado; la plata es disuelta por los cianuros alcalinos en presencia de aire. Es inalterable al aire libre, pero reacciona fácilmente a los halógenos, con el azufre y con el ozono.

Algunas de sus propiedades características son:

Densidad 10.50 Kg/dm<sup>3</sup> a 15 °C

Punto de fusión 960.5 °C a 1 atm.

Calor específico 0.0559 cal/(gr/°C) a 0 °C

Conductividad térmica 0.999 cal/(seg)(cm<sup>2</sup>)(°C/cm) a 0°C

Coefficiente de dilatación 1.910X10<sup>-5</sup>

Resistencia específica 0.004098

Módulo de elasticidad a la tracción 2770 kg/cm<sup>2</sup>

La plata que se deposita electrolíticamente en superficies de apoyo tiene resistencia a la tracción de 2 770 kg/cm<sup>2</sup>, pero se reemplandece hasta dureza de Vickers de 45 y tiene resistencia a la tracción de 1620 - 1750 Kg/cm<sup>2</sup> después de recocido a temperatura de 260 - 530 °C por una hora. El tratamiento térmico aumenta la elongación desde 12 -14 % hasta 59 - 69 % en 1 plg.

Los diferentes pasos del proceso de plateado son:

PULIDO



ENGANCHADO



DESENGRASE



ENJUAGUE EN AGUA



NEUTRALIZADO



PLATEADO



ENJUAGUE EN AGUA



SACADO EN AIRE CALIENTE

Se desengrasa el objeto con un  
solvente apropiado, dándole un  
polvo fino de carbón activo.

Se neutraliza con agua  
de lluvia.

Se desengrasa y se pulimenta  
con un paño fino.

Se limpia el objeto con  
una esponja de acero  
y se pulimenta con un  
paño fino.

Se limpia con un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

Se limpia con un paño  
fino y se pulimenta con  
un paño fino.

## Descripción del proceso.

### 1. Preparación de las piezas.

Antes de meter el objeto en el baño de plata conviene que tenga un primer baño de níquel, cobre o latón. El objeto debe de estar perfectamente desoxidado y pulido, con la superficie igual de tersa que la del objeto ya plateado. Los objetos se cuelgan en ganchos y se procura no tocarlos con los dedos.

## 2. Enjuague con agua.

Los objetos de cobre, latón o plata alemana que se trate de galvanizar, se limpian primero poniéndolos varios minutos en potasa cáustica concentrada o hirviendo, después se pasan por ácido nítrico diluido y por último se lavan con agua.

El enjuague debe llevarse a cabo con agua limpia después del decapado, en esta etapa el gasto de agua resulta cuantioso si se desea un buen acabado.

## 3. Neutralizado.

El neutralizado se realiza de la misma manera que se describe en el proceso de dorado.

## 4. Plateado.

Primeramente se sumergen los objetos por un momento en una solución acuosa de nitrato mercurioso y se vuelven a lavar. De este modo queda el metal cubierto con una película de mercurio para asegurar la adherencia perfecta de la plata.

Para platear se utilizan los baños alcalinos o cianurados. Los baños ácidos, por su rendimiento de corriente del 100 %, se emplean para medidas exactas de cantidad de electricidad en donde la plata se deposita en forma de cristales grandes, por lo que no se puede evitar completamente el crecimiento tosco del recubrimiento.

El baño electrolítico se prepara disolviendo cianuro de plata con cianuro de

potasio o de sodio para formar un cianuro doble. La sal potásica tiene características superiores, pues tiene mayor conductividad y una escala más amplia de chapeado en función de la densidad de corriente.

Los baños para platear no se deben de utilizar recién preparados ya que su efectividad es mínima y al principio, el depósito es granulado y de tono azulado o amarillento. Por ello se acostumbra mezclar una porción de un baño ya usado con otra de uno recién preparado. También hay quien, en vez de emplear baños usados, agregan un poco de amoníaco al nuevo.

Se da primero una o más capas de recubrimiento plateado con soluciones diluidas, según la naturaleza del metal base, para obtener una buena adhesividad del plateado final.

Los ánodos que pueden ser de plata pura (99 %) o pueden ser ánodos de acero inoxidable. La relación de área entre los ánodos y el cátodo debe de ser 1:1. Cuando se usan los ánodos de acero inoxidable la fuente de los iones de plata es el electrólito mismo, el cual se gasta con el tiempo y debe de ser renovado agregando más sales de plata.

En buenas condiciones de funcionamiento, los ánodos presentan la superficie gris mientras pasa la corriente, quedando blancos al cortar el circuito.

En la figura 3 se muestra un esquema de la celda en la que lleva a cabo la deposición de la plata en el objeto deseado.

Para efectuar el enchapado decorativo, en lugar de la agitación por medio de la barra catódica, se hace girar o circular el cátodo rápidamente. Con agitación rápida y temperatura de 35 °C se puede aumentar la densidad de corriente hasta 27 A/dm<sup>2</sup>.

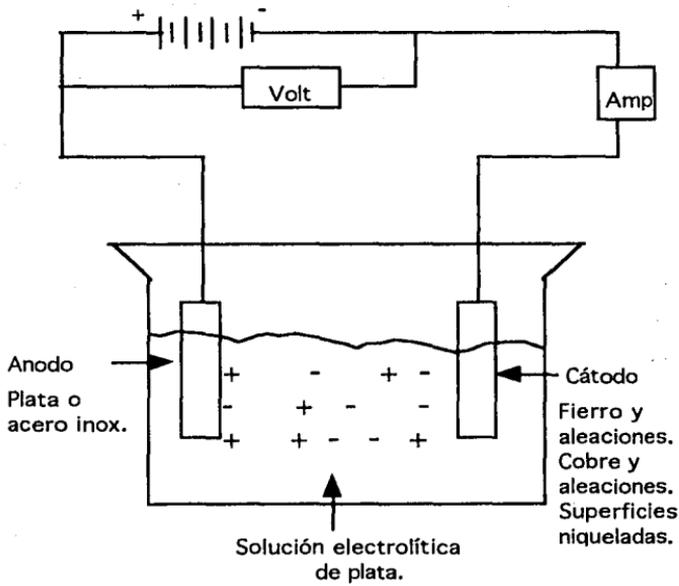


Fig. 3 Diagrama de la celda electrolítica utilizada para el chapeado de plata.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

Después de efectuar el enchapado por unos cuantos minutos a 1.62 - 2.70 A/dm<sup>2</sup>, se traslada las piezas a otro baño de plateado, que se utiliza directamente para platear otros metales como el níquel, cobre, plomo, zinc y sus aleaciones; el cobre y sus aleaciones y el acero se niquelan antes de recubrirlos con plata.

Los depósitos de plata obtenidos a partir de las soluciones de cianuro tienen un aspecto lechoso o escarchado y es preciso bruñirlos para proporcionarles una superficie brillante. Se puede agregar pequeñas proporciones de disulfuro de carbono, como agente abrillantador. Se ha comprobado que para obtener un depósito brillante la adición de un gramo de tiosulfato de sodio y 10 cm<sup>3</sup> de amónico por litro de solución de chapeado es más eficaz que la de disulfuro de carbono.

La plata tiene gran capacidad de depósito, de modo que aunque el objeto sea intrincado, la plata encuentra el camino para depositarse y cubrir perfectamente toda la superficie.

Cuando se trata de cubiertos, generalmente la capa de plata es gruesa para que resista el uso continuo y el pulimento frecuente. Como la plata es cara, la mayoría de los artesanos e industriales usan otros metales para construir el objeto base y luego ponen una capa delgada de plata, como toque final.

##### 5. Lavado final y secado.

Cuando los objetos han adquirido una capa de plata adherida, se sacan del baño, se cepillan bien y se limpian con alcohol, y se introducen otra vez al baño de deposición, de donde se sacan y pasan otra vez a la solución mercurial y finalmente al baño electrolítico nuevamente.

Después debe efectuarse un minucioso lavado de las piezas, primeramente por inmersión en agua y después por rociado. Esta operación se realiza de la misma forma que en el proceso de dorado. Después se dejan secar los objetos a temperatura ambiente o en una cámara de aire caliente y finalmente se desenganchan.

#### 5. Desmetalización.

Esta operación se utiliza para recuperar la plata del recubrimiento de las piezas rechazadas o defectuosas sin dañar el metal base. Una manera sencilla de llevar a cabo esta etapa es la de introducir las piezas en el baño electrolítico de plata, de modo que éstas actúen como ánodos, pasando la corriente hasta que se vea el metal base.

### III.2.2. Innovaciones de los procesos de plateado.

#### Plateado del aluminio.

Se lava primero el objeto con una solución diluida de un álcali (sosa o potasa), o con una solución débil de ácido clorhídrico y se enjuaga con agua. Los ánodos son placas de plata y el baño se compone de 2 partes de nitrato de plata, 4 partes de cianuro potásico, 4 partes de fosfato sódico y 100 partes de agua destilada.

#### Chapeado de plata de metal Britannia.

Se sumerge el objeto en una solución caliente saturada de carbonato potásico;

y con ánodo de plata se emplea una corriente eléctrica intensa. La solución de carbonato potásico disuelve la superficie del metal Britannia, facilitando así a la plata una firme adherencia sobre el mismo.

#### Plateado del zinc.

Se disuelven 10 partes de nitrato de plata en agua, y se agrega ácido clorhídrico para precipitar la plata en forma de cloruro, que se lava varias veces con agua clara; se disuelven 70 partes de sal amoníaco en agua, se agregan 40 partes de sosa cáustica cristalizada, 40 partes de cianuro potásico puro y 15 partes de sal común. Se mezcla todo y se agrega agua destilada en cantidad suficiente para componer un total de 1000 partes. Esta solución sirve como baño para platear objetos con aluminio como metal base.

## CAPITULO IV. FORMULACIONES DE LOS BAÑOS DE DORADO Y PLATEADO DE MAYOR INTERES COMERCIAL

### IV.1 Formulaciones de los baños de oro.

Debido al alto costo del oro, se deben considerar los siguientes puntos para poder seleccionar apropiadamente un baño electrolítico:

- a. Costo del baño. Depende del volumen necesario para cierto método de electrodeposición y concentración del oro.
- b. Velocidad de electrodeposición. Determina el tamaño del equipo y del baño, y el costo para una producción deseada.
- c. Costo de las pérdidas. Depende de la concentración oro usada, el tipo del proceso que debe incluir la recuperación probable del oro arrastrado.
- d. Costo del control y la conservación. Algunos baños son de alta velocidad y otros de alta de eficiencia y requieren de constantes asistencias y análisis.
- e. Costo de duración del baño. La alta velocidad de los baños, especialmente los de pureza alta, la recuperación se debe llevar a cabo para mantener periódicamente dicha pureza.
- f. Costo monetario (Interés) para mantener los baños.
- g. Costo inicial del equipo.
- h. Costo de operación del equipo (si opera o no opera), por hora o por día.

Los baños de chapeado de oro se pueden clasificar en tres tipos: baños alcalinos, ácidos y neutros.

Históricamente los baños de cianuro de oro son los más utilizados para obtener recubrimientos dorados; éstos están compuestos esencialmente por el cianuro doble de oro y potasio, el oro existe como ion  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ .

Los baños de dorado trabajan a temperaturas comprendidas entre 15 y 80 °C y con densidades de corriente de 0.1 a 0.5 A/dm<sup>2</sup>.

Los baños alcalinos están constituidos por electrólitos de cianuro de oro potásico; son cianuros alcalinos buferados que operan en un rango de pH de 8.5 a 13. Estos a su vez se pueden dividir como baños de dorado mate y dorado brillante. Los baños ácidos están compuestos por electrólitos de cianuro de oro potásico; son soluciones ácidas con un rango de operación de pH de entre 3 y 6. Estos baños son conocidos como baños de alta velocidad. Los baños neutros operan en un rango de pH de 6 a 8.5.

Si hay un exceso de cianuro, el dorado se efectúa con gran lentitud o de modo incompleto, o los objetos pierden el oro después de dorarlos; en este caso se agrega un poco más de cianuro de oro o se aumenta la intensidad de corriente.

Para tener una capa gruesa de depósito de oro, el objeto se saca del baño, se pule y se vuelve a meter para otro depósito rápido, así se hace más de una vez.

Las siguientes formulaciones representan los principales baños de mayor interés comercial que se utilizan en los depósitos de oro. Las concentraciones exactas y las condiciones de operación pueden requerir de modificaciones para aplicaciones específicas, pero los valores que se dan pueden servir de guía.

Baños alcalinos.

Estos baños contienen generalmente cianuro en exceso con una concentración de 8.3 a 19.5 g/l, operan en un rango de pH de 10 a 13 y tiene una eficiencia aproximada del 100 %.

<b>Baño de dorado mate</b>		Obtención de un baño mate
Cianuro de oro potásico	14 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 14 g/l.
Dipotasio de fosfato	33 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 33 g/l.
Cianuro de potasio	22 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 22 g/l.
pH	12	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 12.
Temperatura	140 °F	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 140 °F.
Anodos	acero inoxidable	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a acero inoxidable.
Anodo/cátodo	1:1	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 1:1.
Agitación	moderada-vigorosa	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a moderada-vigorosa.
Densidad de corriente (rack)	0.4 A/dm <sup>2</sup>	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 0.4 A/dm <sup>2</sup> .
Densidad de corriente (barril)	0.2 A/dm <sup>2</sup>	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 0.2 A/dm <sup>2</sup> .
Eficiencia de densidad	93 %	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 93 %.

<b>Baño de dorado brillante</b>		Obtención de un baño brillante
Cianuro de oro potásico	14 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 14 g/l.
Cianuro de plata potásico	0.45 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 0.45 g/l.
Cianuro de potasio	80 g/l	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 80 g/l.
pH	12	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 12.
Temperatura	70 °F	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 70 °F.
Anodos	acero inoxidable	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a acero inoxidable.
Anodo/cátodo	1:1 a 1: 5	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 1:1 a 1: 5.
Agitación	ninguna-moderada	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a ninguna-moderada.
Densidad de corriente (rack)	0.4 A/dm <sup>2</sup>	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 0.4 A/dm <sup>2</sup> .
Densidad de corriente (barril)	0.25 A/dm <sup>2</sup>	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 0.25 A/dm <sup>2</sup> .
Eficiencia de densidad	93 %	Se prepara un baño de cianuro de oro con un contenido de cianuro de 100 g/l y se reduce a 93 %.

### Baño ácido.

Este tipo de baño es el único en donde la densidad de corriente es alta, por lo que solo se utiliza en casos en donde el espesor del recubrimiento exige dimensiones exactas.

### Baño de alta velocidad

Cianuro de oro potásico	122 g/l
Fosfato monopotásico o citrato de potasio	90 g/l
pH	4.5 - 5.5
Temperatura	140 °F
Anodos	platino revestido
Agitación	ninguna
Densidad de corriente	25.0 A/dm <sup>2</sup>
Eficiencia de densidad	97 %

### Baño neutro.

Los baños neutros cianurados son utilizados principalmente por la industria de semiconductores.

### Baño de dorado para rack o barril

Cianuro de oro potásico	14 g/l
Fosfato monopotásico o citrato de potasio	70 g/l

pH	6 - 8	efecto de pH
Temperatura	160 °F	
Anodos	platino revestido	efecto de anodo
Agitación	ninguna	efecto de agitación
Densidad de corriente	0.2	efecto de densidad
Eficiencia de densidad	90 %	

#### IV.2 Formulaciones de los baños de plata.

La electrodeposición de plata por medio de electrolitos de cianuro ha cambiado poco desde 1840. La primera innovación de mayor interés en la tecnología del chapado de plata ocurrió a mitad de la década de los 1970's, con las nuevas demandas impuestas por la industria de la electrónica.

El componente principal para depositar un recubrimiento electrolítico de plata en una base metálica es el cianuro doble de plata y potasio,  $KAg(CN)_2$ , que es la única sal de plata que existe en cantidades significativas en un baño de plata. Algunos baños de plata fueron hechos con cianuro de sodio, pero son aceptados los que contienen sales de potasio debido a que su conductividad es más alta, la solubilidad del carbonato resultante de potasio es más alta, y los depósitos son más finos.

Los baños para platear no se deben de utilizar recién preparados ya que disminuye su efectividad y el depósito resulta granuloso y de tono azulado o amarillento. Por ello se acostumbra mezclar una porción de un baño ya usado con otra de uno recién preparado (baño de plata previo). La mayoría de las veces, en vez de emplear baños usados, agregan un poco de amoníaco al nuevo.

Se da primero una o más capas de recubrimiento de plata en soluciones diluidas, según la naturaleza del metal base, para obtener una buena adhesividad del plateado final.

Si se va a someter el objeto a otro baño de electrodeposición no habrá la necesidad de secarlo, pero si no es así, se recomienda lavarlo y secarlo con aire caliente.

Las siguientes formulaciones representan los principales baños de mayor interés comercial que se utilizan en los electrodepositos de plata. Las concentraciones exactas y condiciones de operación pueden requerir de ciertas modificaciones para aplicaciones específicas, pero los valores mostrados pueden servir de guía.

#### Baño de plata previo.

Cianuro de plata potásico	5-4 g/l
Cianuro de potasio	12-120 g/l
Carbonato de potasio	15 g/l
Anodos	acero inoxidable
Temperatura	20-30 °C
Densidad de corriente	0.1-4.0 A/dm <sup>2</sup>

#### Baño de plata final.

Cianuro de Plata	36 g/l
(Plata, Ag)	29 g/l

Cianuro de Potasio,	60 g/l	100 g/l
(Cianuro de potasio libre, KCN)	42 g/l	100 g/l
Carbonato de potasio	45 g/l	100 g/l
Disulfito de carbono	0.001 g/l	
Anodos	acero inoxidable	
Densidad de corriente	0.5-1.5 A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	27 °C	

#### Baño de plata concentrado.

Cianuro de Plata	41 g/l	100 g/l
(Plata, Ag)	33 g/l	100 g/l
Cianuro de potasio	60 g/l	100 g/l
(Cianuro de potasio libre, KCN)	40 g/l	100 g/l
Carbonato de Potasio	60 g/l	100 g/l
Hidróxido de potasio	11 g/l	
Anodos	acero inoxidable	
Densidad de corriente		
(con rápida circulación)	11 A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	45 °C	

Ag 02  
Ag 03

## CAPITULO V. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PROCESOS DE DORADO Y PLATEADO

La naturaleza de los depósitos galvánicos depende de la estructura física del metal empleado. Esta estructura determina forma de deposición del metal, la apariencia y las propiedades físicas finales del depósito.

Dichas características pueden modificarse con el control de ciertos factores de importancia, tales como los aditivos, agitación del baño, concentración, densidad de corriente, estructura del metal base, poder de penetración y temperatura.

### V.1 Aditivos.

Se nombran así a los compuestos orgánicos o inorgánicos que producen efectos notables en la naturaleza del metal depositado.

Casi todos los aditivos son sustancias coloidales o reductoras. Se puede decir que para obtener los mejores resultados, cada nuevo baño galvánico se beneficia de la acción de pequeñas cantidades de estas sustancias.

La acción mas común de los aditivos es la de facilitar la deposición de finisimos cristales exentos de ramificaciones o puntos brillantes (agentes abrillantadores).

Entre los coloides que se absorben en el cátodo se encuentran:

- Gelatina de huesos.
- Lignina sulfonada.
- Sulfatos alquil-arilicos.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Entre los reductores se encuentran:

- Glucósidos.
- Fenoles.

## V.2 Agitación del baño.

La agitación del baño es importante cuando se trabajan con densidades de corrientes altas. Se tiene que elegir un procedimiento de agitación que no pueda influir desfavorablemente en el carácter del baño. Así, por ejemplo, no se debe agitar con aire comprimido un baño cianurado debido a que el oxígeno o el anhídrido carbónico introducidos estropearían pronto el baño. Por otra parte es importante también la naturaleza y manera de agitación del baño.

En instalaciones grandes, se ha comprobado que lo mejor es una circulación continua de aire en un tiempo de 1 a 4 hrs.

La agitación impide el empobrecimiento en iones metálicos de la zona catódica, además de la adherencia de burbujas sobre el cátodo, provocando picaduras en su superficie. Pero la agitación permite también la suspensión de las impurezas del baño, las cuales hacen que el recubrimiento resulte rugoso o tenga apariencia de picado. Por ello es necesario filtrar las soluciones.

Otro efecto de la agitación es la de eliminar de la superficie catódica las burbujas pero no siempre es conveniente, porque el sedimento estaría en suspensión y pudiera producir depósitos manchados o con irregulares (rugosidad); en los baños de cianuro se favorece la formación de cristales finos.

### V.3 Concentración.

De modo general, el aumento de la concentración de las sales de solución, que constituyen el electrólito, permite elevar la densidad de la corriente, especialmente si se combina con una elevación de la temperatura y con la agitación. Por otra parte, el aumento de la concentración hasta cierto límite incrementa la conductibilidad de los baños.

#### Concentración de los iones metálicos.

Bajas concentraciones catódicas originan depósitos de grano más finos, es decir, dan una superficie más fina y brillante.

Los medios para reducir la concentración de cationes son :

- a. El empleo de una disolución diluida. Este medio presenta el inconveniente del empobrecimiento de los iones en el cátodo con graves consecuencias para el aspecto final del depósito.
- b. El uso de sales complejas. De este tipo son los iones de CN utilizados, que facilitan los iones metálicos necesarios cuando el electrólito se empobrece en los alrededores del cátodo.

Se obtienen así las mejores condiciones para un depósito más fino: baja concentración de los iones metálicos y ausencia del fenómeno de empobrecimiento.

En general, concentraciones elevadas de iones metálicos conducen a elevar la densidad del baño. Se puede moderar el empobrecimiento de iones en el cátodo aumentando la concentración de los iones del metal base a depositar.

## Concentraciones de iones de hidrógeno.

En general el pH (concentración de hidrógeno), influye en la finura del depósito. Para cada baño se requiere determinar y mantener el pH óptimo a fin de obtener los mejores resultados. El pH es de gran importancia para todos los baños, pero especialmente para los baños ácidos.

En la práctica la medida del pH se puede efectuar con métodos tales como:

- Colorímetro. Indicadores que cambian de color en función del pH.
- Potenciómetro. Se mide la f.e.m. que aparece entre la solución electrolítica y un electrodo de referencia, este valor determina el pH de la solución.

El mantenimiento del pH se consigue mediante sustancias tampón o reguladoras (amortiguadoras), en donde se introducen iones ácidos débiles que neutralizan los iones alcalinos ( $\text{OH}^-$ ) que eventualmente pueden formarse.

A continuación muestran los valores extremos del pH:

	Conc. de $\text{H}^+$	pH	
Sol. normal de ácido fuerte.	1	0	acidez máxima
Sol. neutral.	$10^7$	7	neutralidad
Sol. normal de base fuerte.	$10^{-14}$	14	alcalinidad máxima

## V.4. Densidad de corriente.

La densidad de corriente se mide en  $\text{A}/\text{dm}^2$ . Se obtiene el valor de la corriente en un amperímetro colocado en serie con el baño si se conoce la

superficie del cátodo, siendo un factor fundamental para el desarrollo del baño.

El orden de magnitud de las densidades de corriente empleadas varían desde 0.2 a 10 a/dm<sup>2</sup>, según el tipo de baño y condiciones.

Para obtener depósitos de los metales valiosos es necesario emplear las densidades de corriente prescritas para cada tipo de baño. En la mayoría de los casos existe un intervalo de densidades de corriente dentro del cual se puede trabajar.

En los baños modernos se tiende a trabajar con densidades de corriente lo más altas posibles, con el fin de que los tiempos de trabajo sean más cortos. Para ello deben tomarse medidas necesarias que permitan el uso de altas densidades, entre éstas se encuentran la agitación del baño que puede hacerse por medios mecánicos o por el empleo de ultrasonidos, una elevada concentración del metal en el baño y una temperatura alta del baño que incrementa esencialmente la movilidad iónica.

Al aumentar la densidad de corriente se produce la disminución del tamaño del grano del depósito. Una nueva posibilidad para el trabajo de densidades de corriente elevadas lo ofrece el nuevo proceso PRC (periodic reverse current). En este método se emplea una inversión periódica y muy breve de la corriente continua. Las relaciones de las polarizaciones anódica y catódica del cátodo se regulan mediante normas establecidas empíricamente. Las relaciones de tiempo de polarización catódica a polarización anódica empleadas normalmente oscilan entre 5:1 y 15:5 (5 seg cátodo y 1 seg ánodo). La mayor ventaja de esta forma de trabajo es que durante los tiempos de polarización anódica se produce un efecto semejante al del pulido electrolítico; las puntas y aristas del cátodo se aplanan, por lo que se obtienen superficies más lisas. Como una

parte del material se redissuelve, los rendimientos son solo del 60 al 70 %.

Las ventajas del método son las siguientes:

- a. Cuanto mayor sean los períodos de tratamiento anódico, es mayor el efecto alisador.
- b. Cuanto mayor sea la densidad de corriente es mejor el efecto alisador.
- c. Para un lugar determinado del objeto, en donde el efecto alisador es más grande, es más grueso el electrodepósito. El espesor óptimo es de 0.025 a 0.050 mm.
- d. La agitación del baño mejora el efecto alisador.
- e. La composición del baño no es crítica para el efecto alisador.
- f. Son perjudiciales las impurezas metálicas y orgánicas en el efecto alisador.

Densidades excesivas producen depósitos quemados o mates. De hecho hay un empobrecimiento de iones en el cátodo porque se descargan más iones de los que llegan. En general, un exceso de burbujas de hidrógeno en el cátodo indica una densidad de corriente demasiado elevada (con excepción de los baños de bajo rendimiento).

Normalmente, aumenta la densidad de corriente si se aumenta la temperatura del baño o se recurre a una renovación de los iones por medio de una circulación forzada del electrólito (agitación del baño).

#### V.5 Estructura del metal base.

Tiene gran importancia la naturaleza de la superficie sobre la que va a tener lugar la deposición. En general, el depósito tiene la tendencia a reproducir la estructura cristalina del metal que sirve de base. Por ello es que la superficie

del metal base debe de ser tratada antes de aplicar el electrodepósito, ya que éste tendrá el mismo aspecto superficial (lisura o rugosidad).

La adherencia esta estrictamente relacionada con las condiciones superficiales del cátodo. De aquí, se deriva la enorme importancia de los tratamientos preliminares.

#### V.6 Poder de penetración.

Se llama poder de penetración a la facultad que posee un electrólito para repartir con regularidad la capa metálica depositada sobre un objeto de forma compleja, sobre las partes convexas (en relieve) de ese objeto y sus aristas, las cuales reciben siempre más densidad de corriente que las partes cóncavas.

El poder de penetración depende de:

- a. Polarización del cátodo (salto de potencial sobre el cátodo). Aumenta con la densidad de corriente y con la naturaleza de los aditivos. Esta polarización contribuye a la uniformidad del depósito, pero si es excesiva se produce un gasto excesivo de energía eléctrica y de tiempo, disminuyendo el rendimiento. Además los depósitos obtenidos son de baja calidad de estructura y su aspecto es pulverulento (quemado).
- b. Conductibilidad del baño.
- c. Temperatura. Aumentándola disminuye el poder de penetración.

También influyen sobre este poder de penetración, las condiciones de pH, de agitación y de una manera muy notable, algunos agentes aditivos.

Para entender lo que es el poder de penetración, considerese una pieza de

forma irregular introducida en un baño galvánico (ver figura 4); la parte saliente de la superficie está más cerca al ánodo que el resto de la pieza, por lo tanto, el camino que ha de recorrer la corriente eléctrica es más corto que para el resto de la pieza, esto quiere decir que la resistencia es menor a lo largo de este camino, pasando por él una mayor cantidad de electricidad. Por otra parte la corriente eléctrica tiene una tendencia natural a concentrarse en los bordes y aristas, ya que ésta procede de varias direcciones, por lo que el recubrimiento metálico se distribuirá de una forma irregular.

Así pues, según la ley de Ohm, las cantidades de metal depositadas en las superficies A y C por unidad de superficie, serán inversamente proporcionales a las distancias del ánodo y sobre la superficie B se depositará una cantidad ínfima de metal o no habrá depósito alguno. Esta distribución de corriente se denomina distribución primaria.

La distribución primaria de corriente para formas sencillas de electrodos, es decir planos paralelos, cilindros, esferas, se calcula simplemente por la ley de Ohm y por unidad de superficie; la unidad primaria de corriente esta dada por:

$$\text{distribución primaria por unidad de superficie} = \frac{\text{distancia del cátodo más alejada del ánodo}}{\text{distancia del cátodo más próxima al ánodo}}$$

#### V.7 Temperatura del baño.

En general se aumentan las dimensiones de los cristales depositados con el aumento de la temperatura del baño.

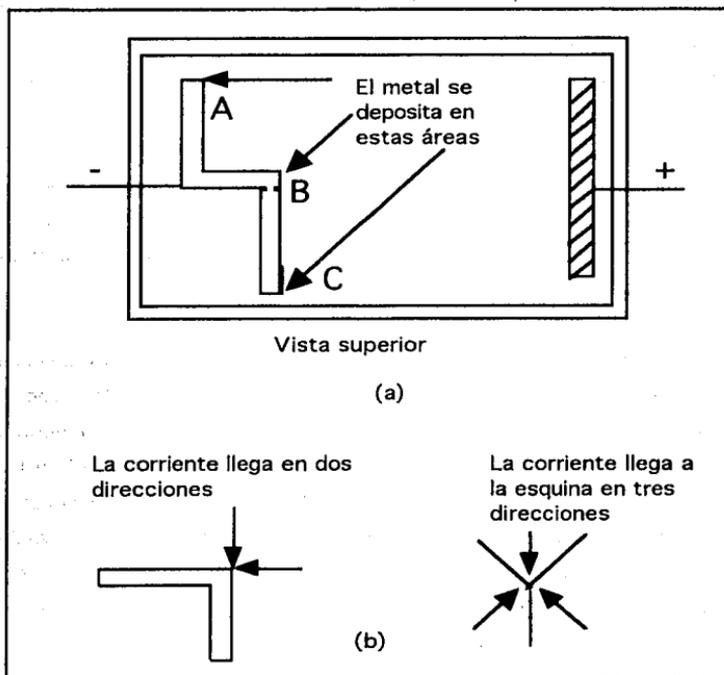


Fig. 4 Comportamiento de la corriente en diferentes puntos de una pieza de forma irregular.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

Se acostumbra calentar el baño para:

- a. Aumentar las solubilidades de las sales; por lo que pudiendo aumentar la concentración, son admisibles mayores densidades de corriente.
- b. Disminuye la resistividad del electrólito, esto permite mayores rendimientos de energía. Además, es menos pronunciada la tendencia de ciertos metales a ramificarse, esto es, a formar arborescencias cristalinas. Tales baños reducen considerablemente las dimensiones de los cristales de la capa depositada, debido al aumento de la temperatura.
- c. Disminuye la cantidad de hidrógeno producido. Esta reducción permite que los depósitos sean más regulares.

El aumento de la temperatura del baño permite trabajar con densidades de corriente más altas, pero tiene la desventaja de que los cristales precipitados tienden a ser más grandes. El precipitado es más blando, una ventaja que algunas veces tiene valor práctico. Por razones técnicas se tiende a trabajar con temperaturas de 40 a 50 °C; muchos baños son sensibles a las temperaturas elevadas principalmente los cianurados. La elevación de temperatura no sólo está limitada por razones técnicas. Pues ensayos realizados con baños a temperaturas entre 100 y 300 °C han demostrado las siguientes desventajas: hidrólisis de las sales de baño o disminución de la solubilidad, disminución del rendimiento en corriente por descenso de la sobretensión de hidrógeno, reducción a compuestos de valencia inferior y aumento de la disolución anódica.

De modo general la temperatura de un baño tiene gran importancia, aún para los baños fríos pues ésta no debe descender de los 15 °C para obtener un electrodepósito apropiado.

## CAPITULO VI. ANALISIS Y CONTROL DE LOS BAÑOS ELECTROLITICOS

El mayor avance que se ha realizado en la galvanotecnia comercial en los últimos años, se ha llevado a cabo en el control de la composición de los baños mediante análisis a intervalos regulares. Es importante mencionar, que los análisis en un baño sirven para determinar no sólo su composición exacta, sino también la de conocer que impurezas se encuentran en la solución, además de determinar si las concentraciones de algunas sustancias químicas presentes en las soluciones de desecho, se encuentran dentro de los límites o rangos establecidos por las normas ecológicas. La frecuencia requerida de las pruebas, depende de la velocidad con la cual cambia la composición del baño, la cual depende principalmente de la corriente (A/hr) que pasa a través de un volumen dado de un baño dentro de un lapso específico de tiempo. Los cambios en la composición del baño pueden deberse por acarreo de agua o de ácido, por pérdidas por aspersión y por descomposición.

En todo proceso galvanotécnico, los análisis de los baños deben de realizarse para mantener las condiciones de operación y no para corregir dificultades o problemas que hayan surgido.

El análisis de la composición de los baños puede realizarse de manera cuantitativa y cualitativa a partir de un muestreo.

Muestreo. Para que el método de análisis a utilizar resulte de valor, se debe tener una muestra representativa del baño en estudio. El procedimiento general para obtener esta muestra consta de tres etapas: 1) terminar la jornada de trabajo; 2) mezclar a fondo la solución a analizar y 3) tomar la muestra con una botella o tubo. Si la solución se ve turbia se deberá de filtrar y posteriormente se podrá analizar.

**Análisis cuantitativo.** El propósito de este análisis es el de determinar la concentración de las sustancias presentes en una muestra de solución. Es útil para controlar las sustancias químicas del baño galvánico, para determinar el porcentaje presente de ciertas impurezas.

**Análisis cualitativo.** El propósito de este análisis es determinar si ciertas sustancias están presentes en el baño. Los resultados indican generalmente la presencia de un metal o ion específico.

A continuación se mencionan algunos métodos sencillos y prácticos recomendados para el análisis y control de los baños de dorado y plateado.

#### VI.1 Soluciones de dorado.

Componentes a analizar en las soluciones de los electrodepósitos de oro.

Constituyentes o impurezas a determinar:	Frecuencia de la determinación, una vez cada:
Oro	dos semanas
Cobre	cuando precise
Cianuro sódico o potásico libre	día
Carbonatos	cuando precise
Plata, níquel y otros metales	cuando precise
Sosa Cáustica	cuando precise
Fosfatos	cuando precise

**\* Contenido de oro.**

**Método: oro y cobre por electrólisis.**

Transfiera 10 ml de la solución de dorar a un vaso de 150 ml. Diluya a 120 ml, añada 2 gr de cianuro sódico y lleve a cabo la electrólisis, con un cátodo de platino tarado, a 2 - 3 Amp. Después que se separe el oro, se depositará el cobre de la solución. Cuando ambos metales se hayan separado, lave, seque y pese el cátodo. Disuelva el cobre con ácido nítrico concentrado, seque y pese el cátodo de nuevo. La disminución de peso representa el cobre disuelto, mientras que el aumento de peso del cátodo es el oro.

gramos de oro encontrado X 100 = gramos/litro de oro en el baño

El cálculo es similar para el cobre.

**Teoría y limitaciones del método.** El método es preciso, pero existe alguna duda en cuanto a saber cuándo se ha depositado todo el cobre, por lo que es incierto para la determinación de este metal, excepto para fines de control. Limpie el cátodo introduciéndolo en una disolución de cianuro sódico a 70 ° C y añada 2 gotas de peróxido de hidrógeno de 100 volúmenes (precaución). El oro es atacado rápidamente por esa mezcla, probablemente debido a la formación de cianuro sódico que lo disuelve.



**Método: reacción con IK seguida de volumetría.**

Lleve con una pipeta 10 ml del baño a un matraz de fondo platino de 250 ml y añada 15 ml de ácido clorhídrico concentrado. Caliente la solución sobre una placa en una vitrina hasta que se destruyan los cianuros y la solución tenga consistencia siruposa. No evaporar a sequedad. Enfríe y añada 150 ml de agua destilada, luego 5 gr de yoduro potásico disuelto en la mínima cantidad posible de agua. Añada una gotas de engrudo de almidón y valore hasta la desaparición del color azul con tiosulfato sódico 0.01 N. Después valore con yoduro de almidón. Las dos soluciones 0.01 N se obtienen diluyendo soluciones 0.1 N en un matraz aforado, inmediatamente antes de su uso, ya que no se conservan tan bien como las concentradas.

$$1 \text{ ml de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 0.01 N} = 0.000985 \text{ gr de Au}$$

(mililitros de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.01 N - mililitros de  $\text{I}_2$  0.01 N) X 0.0985 = gramos/litro de Au en el baño

Teoría y limitaciones del método. Este método se funda en una reacción entre las sales áuricas y una solución de yoduro de potásico.



En el caso de las sales áuricas existe una reducción de valencia de dos unidades, mientras que en la reacción de cobre la reducción es de uno. Es obvio indicar que las sales de cobre interferirán. El hierro también puede dar lugar a resultados altos, ya que tiende a liberar yodo de solución de yoduro potásico. La razón de que no se evapore a sequedad consiste en que si se llega a ello tendrán dificultades al intentar disolver el precipitado. Se utiliza yodo y

tiosulfato 0.01 N porque la muestra contiene poco oro.

Método: reducción de oro metal con sulfato ferroso.

Tome la mayor muestra posible de la solución que permitan las razones económicas, p. ej., 25 ml, y deposítela en un vaso de 250 ml. Destruya los cianuros con 50 ml de ácido clorhídrico concentrado en una vitrina y evapore hasta que sea una masa pastosa. Enfrie y diluya a 200 ml de agua, luego añada 15 ml de ácido sulfúrico al 25 % y 5 gr de sulfato ferroso. Evapore a ebullición lenta para precipitar el oro y continúe hasta que aparezcan humos blancos de ácido sulfúrico. Enfrie, diluya con 150 ml de agua y hierva para conseguir disolver los sulfatos. Filtre el precipitado de oro precipitado a través de papel Whatman núm. 42, lave bien con agua hirviendo, seque el papel y el precipitado, calcínese en un crisol de porcelana tarado y pese como oro.

gramos de Au encontrados X 40 = gramos/litro de Au en el baño

Guarde el filtrado del oro para la determinación de cobre.

Teoría y limitaciones del método. En este método el cianuro de oro se convierte en cloruro, que a su vez, se reduce a oro metálico con sulfato ferroso:



Los únicos metales que pueden ser precipitados al mismo tiempo que sus sales, por reducción en medio ácido, son los metales del grupo del platino. Por eso es un método seguro, evita todo error posible debido a la contaminación, pero

como el método presente es por pesada, precisa tomar una muestra grande para reducir el error experimental. La evaporación hasta humos de ácido se lleva a cabo para recuperar hasta la última traza de oro de la solución. Existen otros agentes reductores que precipitan el oro, entre ellos el nitrato potásico, el ácido oxálico y el peróxido de hidrógeno (generalmente, el último se conduce como un agente oxidante, pero puede mostrar propiedades reductoras bajo condiciones apropiadas).

\* Contenido de cobre.

Tome el filtrado de la determinación del oro del método de reducción a oro metal con sulfato ferroso, añada 5 gr de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y haga la electrólisis del cobre de la forma común. Determine como cobre metálico, pesando el electrodo de platino. De otra forma, si se dispone de un aparato de electrólisis, hierva el filtrado, fuertemente ácido, con 7 gr de sulfato sódico hasta que no se perciba olor a dióxido de azufre y continúe durante unos 5 min. Enfrie y pase una corriente constante de sulfuro de hidrógeno a través del líquido para precipitar todo el cobre como sulfuro de cobre. Filtre, lave, seque, calcine y pese como óxido de cobre.

Teoría y limitaciones del método. La razón de reducir el hierro con sulfito sódico es prevenir que se forme un precipitado voluminoso de azufre, como cuando se reducen sales férricas con ácido sulfhídrico. Este precipitado enmascara completamente el color del sulfuro de cobre, de tal forma que es difícil acertar cuándo se ha completado la precipitación.

\* Contenido de cianuro libre.

Método: valoración con nitrato de plata.

Valore una muestra de 10 ml con nitrato de plata 0.1 N, utilizando yoduro potásico como indicador. Generalmente se usa yoduro potásico en vez de sódico para formar soluciones de dorar, por lo que los cálculos se ajustan de acuerdo con:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ml de AgNO}_3 \text{ 0.1 N} &= 0.0098 \text{ gr de NaCN} \\ &= 0.0130 \text{ gr de KCN} \end{aligned}$$

\* Contenido de carbonatos.

Método: precipitación con  $\text{BaCl}_2$ .

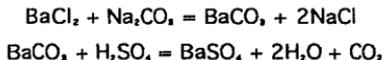
Lleve cuidadosamente con una pipeta de 10 ml a un vaso de 400 ml. Agregue 300 ml de agua, calentando sin que llegue a hervir. Añada solución de cloruro de bario al 30 % hasta que no tenga lugar precipitación alguna (normalmente son suficientes 10 ml), añada 5 ml de exceso. Se deja que el precipitado blanco pesado se sedimente, y se filtra a través de papel de filtro Whatman núm. 40, lavando bien el vaso con agua hirviendo. Coloque el papel filtro y el precipitado en el vaso original, adicionando 200 ml de agua fría y, con ayuda de una varilla de vidrio, separe completamente el precipitado del papel filtro. Después de esto, añada 6 gotas de indicador anaranjado de metilo y valore con ácido clorhídrico o sulfúrico 1 N, acompañado con agitación vigorosa hasta que el color amarillo del indicador cambie a rosa.

$$1 \text{ ml de HCl 1 N} = 0.053 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3$$

mililitros de HCl 1 N gastados X 5.30 = gramos/litro de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , en el baño

No es probable que se encuentren sulfitos en las soluciones de dorar.

Teoría y limitaciones del método. El cloruro de bario reacciona con los carbonatos solubles dando carbonato bórico insoluble. Este puede valorarse entonces con ácido fuerte, como clorhídrico o sulfúrico, dando la correspondiente sal bórica y liberando dióxido de carbono gaseoso. Este último no afecta al anaranjado de metilo, de modo que el ácido valora solamente al carbonato.



Cualquier radical ácido que forme un compuesto insoluble con bario dará un precipitado mezclado con carbonato de bario, pero el único radical de este tipo que es probable que esté presente es el radical sulfito. Se sigue un método para la determinación de éste, y si se comprueba que el sulfito está presente, se hará la corrección siguiente en el ácido usado en la descomposición. Multiplique el valor obtenido para el sulfito sódico por 0.8414 y reste el resultado del número de carbonato sódico; el resultado es el verdadero valor para el carbonato sódico. Si existen sulfato en el baño, dará un precipitado de sulfato de bario; pero este no es afectado por el ácido durante la valoración, y de aquí que no interfiera.

\* Contenido de plata y níquel.

Método: gravimétrico.

La plata y el níquel se añaden alguna vez a las soluciones de dorar para

producir cierto efecto de color, tal como oro blanco y verde. Casi nunca se determinan por análisis, efectuando su control por observación visual del color del recubrimiento, que es el factor importante. No obstante, si se precisa de un análisis, podrá seguirse el siguiente método.

Utilizando un tamaño de muestra adecuado, destruya los cianuros con una mezcla de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno y evapore hasta humos del primero. Esto precipitará el oro como metal. Filtre el oro y pese. Añada cloruro sódico al filtrado. Filtre el cloruro de plata y pese como tal o disuelva en cianuro sódico, separe la plata por electrólisis y pese como metal. Trate el filtrado con sulfuro de hidrógeno y filtre el sulfuro de cobre que se precipita. Calcine y pese. Hierva para separar el sulfuro de hidrógeno del filtrado, oxide con ácido nítrico concentrado y precipite el hierro como hidróxido amónico. Filtre, calcine y pese como óxido férrico. Del filtrado del hierro, precipite el níquel con dimetilglioxima, recoja la glioxima de níquel en un crisol de vidrio poroso. El filtrado puede tratarse entonces como sulfuro de hidrógeno para precipitar el zinc, si es que está presente. El sulfuro de zinc deberá filtrarse y calcinarse hasta óxido de zinc, en cuya condición se pesa.

\* Contenido de sosa cáustica.

Método: valoración con  $H_2SO_4$ .

Tome dos probetas Nessler (se venden por parejas) de 50 ml de capacidad y marque con una A y una B, respectivamente. En la probeta A introduzca 1 gr de cianuro sódico y 10 ml de agua. En la B coloque 1 gr de cianuro sódico y 10 ml de la solución del baño sometido a ensayo. A ambas probetas añada 6 - 8 gotas de indicador sulfo-orange. En el tubo B vierta cuidadosamente ácido sulfúrico

1 N desde una bureta, agitando el tubo suavemente durante la valoración y no añadiendo más de 3 ml de una vez. Añada agua al tubo A para mantener un volumen igual de líquido en cada tubo, con forme progresa la valoración. El punto final se alcanza cuando el color del líquido en los dos tubos es el mismo.

1 ml de  $H_2SO_4$ , 1 N = 0.0400 gr de NaOH

mililitros de  $H_2SO_4$ , 1 N gastados X 4.00 = gramos/ litro de NaOH en el baño

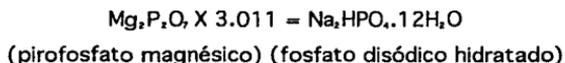
Teoría y limitación del método. Cuando se intenta valorar una mezcla álcali, tal como las existente en una solución de dorar, la dificultad estriba principalmente en encontrar un indicador que registre el punto exacto punto en el que la sosa cáustica es neutralizada. El indicador escogido tiene una amplia gama de PH de 11.0 a 12.6 y permite valorar la sosa cáustica con seguridad, bajo las condiciones dadas. Asimismo, si se añade demasiado ácido sulfúrico de una vez, la alta concentración local del ácido puede destruir algo de cianuro. De aquí la alta necesidad de pequeñas adiciones de ácido y la constante agitación.

\* Contenido de fosfatos.

Método: precipitación como fosfato amónico-magnésico.

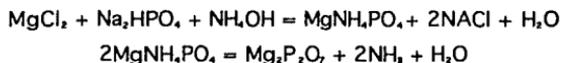
Tome una muestra de 10 ml y separe todo el oro como se describió en el método de contenido de plata y níquel. Añada al filtrado 5 gr de ácido cítrico y 25 ml de mixtura magnesiana. Seguidamente agregue amoníaco concentrado hasta que el líquido huele fuertemente, agite vigorosamente con una varilla de vidrio para acelerar la precipitación, deje reposar toda la noche y filtre el

fosfato amónico-magnésico a través de papel Whatman núm. 40. Lave tres veces con agua fría que contenga una poco de amoníaco. Seque completamente el papel y el precipitado, calcinándolo seguidamente por medio de la llama más caliente que se pueda obtener. Enfrie y pese como pirofosfato magnésico.



gramos de  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , hallados  $\times 301.10 =$  gramos/litro de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  en el baño

Teoría y limitaciones del método. Las sales magnésicas precipitan fosfato amónico magnésico de una solución alcalina de un fosfato, y puede calcinarse a pirofosfato magnésico, perdiendo amoníaco y agua en el proceso.



Cualquier metal que forme fosfatos insolubles en amoníaco, producirá interferencias. Aparte del oro, que debe de separarse, el único metal que interfiere y es probable que esté presente es el hierro, el cual puede mantenerse en solución como un complejo ferrocitrato mediante adición de ácido cítrico. Si se sospecha que están presentes otros metales, deberá precipitarse el fosfato primeramente como fosfomolibdato amónico por medio de molibdato amónico, el precipitado amarillo se disolverá en amoníaco y por último se precipitará como se describió anteriormente.

## VI. 2 Soluciones de plateado.

Componentes a analizar en las soluciones de los electrodepósitos de plata.

Constituyentes o impurezas a determinar:	Frecuencia de la determinación, una vez cada:
Plata	dos semanas
Cobre	cuando precise
Cianuro libre	semana
Carbonatos	tres meses
Nitratos	cuando precise
Hidróxido sódico o potásico	cuando precise

\* Contenido de plata.

Método: por electrólisis y en presencia de cobre, por valoración con tiocianato.

Lleve con una pipeta 10 ml de la solución del baño a un vaso de 150 ml, añada 2 gr de cianuro sódico y 120 ml de agua. Haga la electrólisis lentamente, utilizando una corriente de 2 A durante un período de 20 minutos, llegando luego a 4 A hasta que toda la plata se haya separado. Compruebe extrayendo 5 ml del electrólito y añadiendo sulfuro amónico. La ausencia de un precipitado negro indica que toda la plata se ha separado. Lave y seque cuidadosamente el cátodo, usando alcohol para la última inmersión. Se pesa como plata metálica.

gramos de plata concentrados X 100 = gramos/litro de Ag en el baño

Si la solución de plata contiene cobre se depositarán ambos metales en el cátodo. En este caso proceda como sigue: se disuelve la mezcla de metales, después de pesados, en ácido nítrico, recogiendo la solución en un vaso pequeño. Lave el cátodo perfectamente y pase la solución a un vaso de Phillips de 350 ml, diluyendo hasta 200 ml con agua. Añada 2 ml de sulfato férrico amónico al 2 % y valórese con tiocianato potásico 0.1 N hasta que la solución tome tinte rosa pálido. En este caso no es el precipitado el que se colorea, sino la solución, en contraste con las valoraciones de cloruros.

1 ml de KCNS 0.1 N = 0.01079 gr de Ag

mililitros de KCNS 0.1 N usados X 1.079 = gramos/litro de Ag en el baño

De este resultado es posible calcular el cobre por diferencia, pero no es recomendable porque bajo las condiciones dadas para la electrólisis puede no haber sido separado todo este metal de la solución.

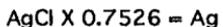
Teoría y limitaciones del método. La totalidad de la plata y la mayor parte del cobre se separan de la solución por electrólisis y se disuelven en ácido nítrico. Valorando el tiocianato potásico, se precipita el tiocianato de plata, pero el cobre permanece en solución. En el punto final se forma tiocianato férrico soluble en el agua, pero dando un color rojo a la solución. El sulfato férrico amónico actúa como indicador; de hecho, cualquier sal férrica servirá para este objeto, ya que el color rojo se produce solamente cuando el tiocianato potásico está presente en exceso. La solución de tiocianato potásico es inestable y pierde fuerza, siendo conveniente normalizarla frecuentemente con solución de nitrato de plata 0.1 N.

**Método: valoración con tiocianato.**

Llévense con una pipeta 10 ml de muestra a un matraz de 500 ml de fondo plano y añada cuidadosamente 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y 10 ml de ácido nítrico. El cianhídrico se desprende copiosamente, por lo que la operación debe realizarse en vitrina. Cuando haya cesado la vigorosa reacción, caliente el matraz hasta que todo el precipitado blanco de cianuro de plata esté disuelto. Continúe calentando hasta que haga su aparición densos humos de ácido sulfúrico en la boca del matraz, luego enfríe a temperatura ambiente, diluyendo el contenido del matraz hasta 150 ml con agua. Añada 3 ml de ácido nítrico concentrado al 2 % de sulfato férrico amónico y valore con tiocianato potásico como en el método por electrólisis y en presencia de cobre.

**Método: gravimétrico por precipitación del cloruro de plata.**

Lleve una muestra de 10 ml a un vaso de 250 ml y descomponga los cianuros con 10 ml de cada uno de los ácidos nítrico y sulfúrico. Evapore hasta humos del último ácido. Enfríe y diluya a 180 ml de agua. Precipite la plata mediante la adición de un ligero exceso de una solución saturada de cloruro sódico, permitiendo que el cloruro de plata sedimente y comprobando en el líquido claro para asegurar la completa separación. Caliente a ebullición para coagular el precipitado, luego deje enfriar y guarde durante 5 hr en un lugar oscuro. Filtre el cloruro de plata a través de un crisol tarado de vidrio poroso (porosidad 3), lavando bien con agua fría que contenga ácido nítrico diluido y finalmente con agua sola. Seque en una estufa a 130 - 150 ° C hasta peso constante.



gramos de AgCl encontrados X 75.26 = gramos/litro de Ag en el baño

Teoría y limitaciones del método. El tratamiento con la mezcla de ácidos destruye todo el cianuro y deja la plata presente como sulfato. La adición de cloruro soluble origina la precipitación de un cloruro de plata. Solamente el plomo (parcialmente) y el mercurio podrían precipitar la plata, por lo que, en una solución para platear, el método puede considerarse específico.

\*Contenido de cobre.

Lleve con una pipeta 10 ml (25 si el contenido de cobre es muy bajo) a un vaso de 250 ml y añada 10 ml de ácido nítrico y 10 ml de sulfúrico para descomponer los cianuros, como en el método valoración con tiocianato en el contenido de plata. Evapore hasta humos blancos de ácido sulfúrico, enfríe a temperatura ambiente, diluya con 10 ml de agua y precipite toda la plata usando una solución saturada de cloruro sódico. Este precipitado de cloruro de plata se enfría a través de papel Whatman Núm. 40, lavándolo con agua fría. Recoja el filtrado en un matraz de fondo plano de 500 ml y alcalínice con solución al 25 % de sosa cáustica. Luego haga claramente ácido con ácido acético glacial. Enfríe y añada 3 gr de yoduro potásico, y deje durante 3 min. Valore el yodo liberado con tiosulfato sódico 0.1 N, usando indicador de almidón.

1 ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0.1 N = 0.00636 gr de Cu

mililitros de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0.1 N gastados X 0.636 = gramos/litros de Cu en el baño

Teoría y limitaciones del método. Se deberá separar la plata, ya que forma un yoduro de plata amarillo insoluble que origina serio enmascaramiento del

punto final. Del filtrado de la plata se podrá separar también el cobre con sulfuro de hidrógeno, quemarlo y pesarlo como óxido de cobre.

\* Contenido de cianuro libre.

Leve una muestra de 10 ml a un matraz Phillips de 350 ml y diluya a 150 ml con agua. Añada 2 ml de solución al 10 % de yoduro potásico y valore con nitrato de plata 0.1 N hasta la aparición de una turbidez permanente. Lea la bureta.

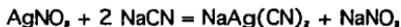
$$\begin{aligned} 1 \text{ ml de AgNO}_3, 0.1 \text{ N} &= 0.0098 \text{ gr de NaCN} \\ &= 0.013 \text{ gr de KCN} \end{aligned}$$

mililitros de AgNO<sub>3</sub>, gastados X 0.98 = gramos/ litro de NaCN en el baño

mililitros de AgNO<sub>3</sub>, gastados X 1.30 = gramos/ litro de KCN en el baño

Teoría y limitaciones del método. El nitrato de plata reacciona con los cianuros solubles dando cianuro de plata, que es soluble en exceso de cianuro sódico. Por lo tanto, durante la valoración anterior, el precipitado que primero se forma es el de cianuro de plata, pero mientras quede cianuro sódico en exceso se redisolverá en el líquido. Cuando todo el cianuro libre se ha convertido en cianuro doble de plata, cualquier otra adición de nitrato de plata originará la precipitación de cianuro de plata. Esta última precipitación es algo lenta, tan pronto como el nitrato de plata se encuentra en exceso, precipita yoduro de plata amarillo y se destaca rápidamente en la solución, especialmente sobre el fondo oscuro. Valore siempre lentamente para evitar la formación de grandes grumos de precipitado, que se disuelven con dificultad y se puede

tomar equivocadamente por un prematuro punto final. Este método es específico.



\* Contenido de cianuro total.

Método: por destilación de HCN.

Monte el aparato mostrado en la figura 5. En el matraz de fondo redondo agregue 10 ml de la solución a ensayar mediante una pipeta. Diluya a 200 ml con agua. Coloque en el embudo decantador 20 ml de ácido fosfórico concentrado y luego añada 20 ml aproximadamente de una solución de sosa cáustica al 25 % al Erlenmeyer que actúa como receptor del destilado. Conecte al agua corriente a través del condensador y de la vuelta cuidadosamente a la llave del embudo que contiene el ácido fosfórico para que caiga una gota cada 3 seg. Cuando casi todo el ácido haya caído en el matraz (deje siempre algo en el embudo para que haya cierre estanco), mezcle bien, encienda el gas y empiece a destilar suavemente. Continúe hasta que se haya destilado 2/3 partes del líquido, pero sin llegar hasta el punto en que aparecen humos (probablemente de ácido fosfórico). Cuando se haya completado la destilación, enjuague el condensador con agua y valore el cianuro sódico del Erlenmeyer con nitrato de plata 0.1 N.

$$1 \text{ ml de AgNO}_3, 0.1 \text{ N} = 0.0098 \text{ gr de NaCN}$$

$$\text{mililitros de AgNO}_3, 0.1 \text{ N} \times 0.98 = \text{gramos/litro de NaCN}$$

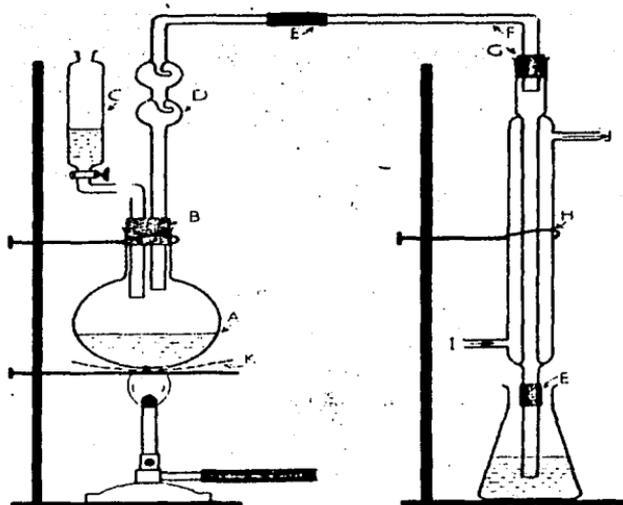
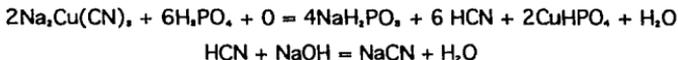


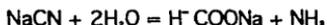
Fig. 5 Aparato de destilación: A) matraz de fondo redondo; B) tapón de goma de dos taladros; C) embudo de decantación con tubo acodado; D) doble bulbo con trampa; E) tubo de goma; F) tubo acodado de salida; G) tapón de goma; H) refrigerador (preferible del tipo de doble superficie); I) entrada de agua; J) salida de agua; k) rejilla conformada de amianto y alambre.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

Teoría y limitaciones del método. El ácido fosfórico libera la totalidad del cianuro presente como cianuro de hidrógeno gaseoso. Este se desprende por calentamiento y se recoge en el Erlenmeyer, de forma cianuro sódico por reacción con la sosa cáustica presente.



La necesidad de incluir el oxígeno en la primera ecuación estriba en que el cobre esté presente en estado cuproso, formando un complejo cianurado y, por tanto, se deberá de llevar a cabo la oxidación con anterioridad, para que se pueda llevar a cabo la sal cúprica estable. Si se utiliza un ácido del tipo nítrico, este cederá el oxígeno necesario y quedará reducido en la reacción. Con ácido fosfórico no se obtiene el oxígeno preciso y la oxidación solamente puede tener lugar utilizando el oxígeno atmosférico. Existen dos posibles causas de error, primera la tendencia a la hidrólisis de los cianuros para dar lugar a la formación del amoníaco.



Afortunadamente este peligro desaparece casi por completo si se utiliza ácido fosfórico; con ácidos más fuertes la tendencia es considerablemente más pronunciada. En segundo término, si están presentes ferrocianuros o cobaltocianuros, parte del  $\text{CN}^-$  acomplejado será incluido en el resultado, pero el error debido a esta causa es, por regla general, insignificantes para fines de control.

\* Contenido de carbonato.

**Método:** precipitación de cloruro de bario, seguido de valoración con ácido patrón.

Proceda exactamente como para el contenido de carbonatos por el método de precipitación con  $\text{BaCl}_2$ , descrito anteriormente. Si la solución de platear se ha formado con cianuro potásico en vez de sódico, el cálculo sera ligeramente diferente:

$$1 \text{ ml de HCl N} = 0.06910 \text{ g de } \text{K}_2\text{CO}_3$$

$$\text{millilitros de HCl N gastados} \times 6910 = \text{gramos /litro de } \text{K}_2\text{CO}_3 \text{ en el baño}$$

\* Contenido de nitrato.

**Método:** reducción por aleación Devarda y destilación de amoniaco resultante

Recientemente se ha desarrollado un tipo poco ortodoxo de solución de platear que contiene nitrato potásico en concentraciones superiores a 100 g/litro.

Para determinar el nitrato potásico en tales baños disponga del aparato que se muestra en la figura 6, añadiendo un embudo con llave y doble codo atravesando el tapón de goma H. Pase una muestra de 10 ml a un vaso de 250 ml. Diluya a 100 ml con agua, acidule con ácido acético concentrado, hirviendo para precipitar la mayor parte de cianuro de plata. Cuando la solución no desprenda olor de cianuro de hidrógeno, enfrie lentamente y filtre el precipitado, lavándolo con agua caliente. Se agregan 5 ml de ácido clorhídrico concentrado al filtrado, hirviendo durante 5 min y, si se forma un precipitado posterior, filtre de nuevo, recogiendo el líquido claro en el matraz de fondo redondo A de

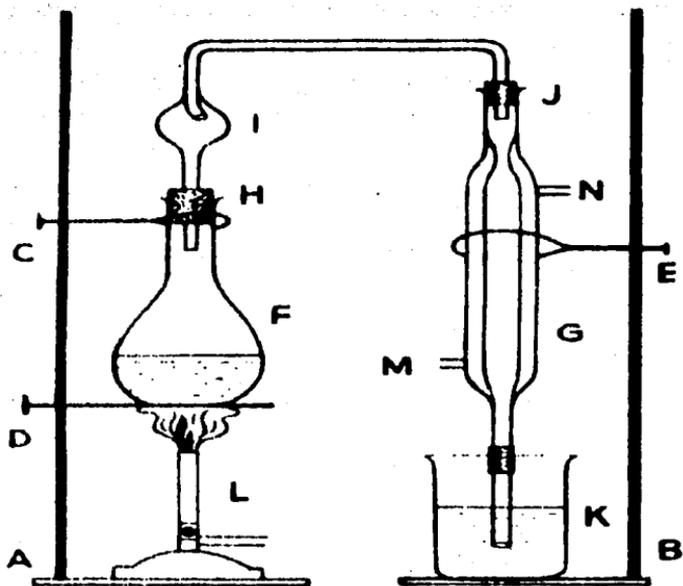


Fig. 6 Aparato para la determinación de amoniaco: A), B) soportes; C), D), E) aros y pinzas; F) matraz de 500 ml; G) condensador de doble superficie; H), J) tapones de goma; I) bulbo con trampa sencilla o doble; K) Erlenmeyer o vaso de 350 ml; L) mechero Bunsen; M), N) entrada o salida de agua.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

500 ml que forma parte del aparato mostrado en el esquema. El volumen del líquido deberá ser alrededor de 250 ml pero no mayor. Añada al líquido suficiente sosa cáustica al 25 % para volverlo alcalino, luego 4 gr de aleación Devarda finalmente pulverizada (una aleación que contenga 84 % de Cu, 8 % de Al y 8 % de Zn puede servir como tal). Se vierten, a través del embudo con llave, 15 ml de sosa cáustica al 25 % y se deja que la aleación progrese en frío durante 1 hr. Si la reacción se inicia lentamente, puede calentar suavemente el frasco, pero luego deberá permitir que continúe sin calor externo. El recipiente para el destilado K contiene 50 ml de ácido sulfúrico 1 N, que deberá estar en el vaso al empezar la reacción. Después de transcurrida la hora, caliente suavemente el frasco y destile su contenido hasta que solo queden 50 ml. Enfríe, lave el refrigerador con agua y valore el exceso de ácido utilizando anaranjado de metilo como indicador. Tome la lectura de la bureta A en ml.

1 ml de  $H_2SO_4$ , N = 0.1011 KNO<sub>3</sub>,

(50 - lectura de la bureta A) X 10.11 = gramos/litro de KNO<sub>3</sub>, en el baño

Teoría y limitaciones del método. En solución alcalina, el aluminio, el zinc o, mejor aún, la aleación Devarda reducirán a los nitratos directamente a amoníaco, que se destila. Los nitritos interferirán, pero estarán ausentes de las soluciones a platear.



El método descrito es aplicable a atrás soluciones cianuradas de las que se sospeche que contienen nitritos. El tratamiento preliminar con ácido acético se lleva a cabo para separar los cianuros, que se destilan como HCN, el cual será absorbido por el ácido.

\* Contenido de hidróxidos sódicos o potásicos.

Método: valoración usando indicador de sulfo-orange.

Los álcalis cáusticos no son constituyentes frecuentes de los baños de platear, pero en cambio se utilizan en soluciones para depósitos duros.

Lleve con una pipeta 10 ml de la solución a un tubo de ensayo y añada 8 gotas del indicador sulfo-orange. Valore con ácido sulfúrico 1 N, dejando que caigan en el líquido cada vez solo unas gotas, hasta que el tinte anaranjado rojizo del indicador cambie a amarillo. Si hay alguna dificultad en detectar el punto final, utilice un tubo de ensayo semejante que contenga 10 ml de agua, 1 gr de cianuro sódico y 8 gotas del indicador, como un ensayo blanco, y valore hasta que se igualen los colores.

$$\begin{aligned} 1 \text{ ml de H}_2\text{SO}_4, 1 \text{ N} &= 0.0400 \text{ gr de NaOH} \\ &= 0.05610 \text{ gr de KOH} \end{aligned}$$

mililitros de  $\text{H}_2\text{SO}_4, 1 \text{ N}$  gastados  $\times 5.610 =$  gramos/litro de KOH en el baño

mililitros de  $\text{H}_2\text{SO}_4, 1 \text{ N}$  gastados  $\times 4.00 =$  gramos/litro de NaOH en el baño

Teoría y limitaciones del método. Cuando se intenta valorar una mezcla álcali, tal como las existente en una solución de dorar, la dificultad estriba principalmente en encontrar un indicador que registre el punto exacto punto en el que la sosa cáustica es neutralizada. El indicador escogido tiene una amplia gama de PH de 11.0 a 12.6 y permite valorar la sosa cáustica con seguridad, bajo las condiciones dadas. Asimismo, si se añade demasiado ácido sulfúrico de una vez, la alta concentración local del ácido puede destruir algo de cianuro.

De aquí la alta necesidad de pequeñas adiciones de ácido y la constante agitación.

#### Abrillantado de la plata.

Cualquiera de los métodos anteriores puede aplicarse igualmente a las soluciones de abrillantar. En este caso el contenido del metal es muy bajo y el contenido de cianuro libre y carbonato es alto. Por ello puede ser necesario tomar muestras de diferente tamaño para compensar. No existen métodos viables para la determinación de los abrillantadores de los baños de platear, y como las soluciones de avivado envejecen rápidamente, no se dan métodos para su análisis.

## CAPITULO VII. PRUEBA DE LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

En los últimos años se han realizado investigaciones acerca de los métodos de pruebas de los recubrimientos electrolíticos. La ampliación de la galvanotecnia en nuevas aplicaciones, ha creado una considerable demanda de alta calidad y consistencia en los recubrimientos.

El rendimiento de un recubrimiento metálico en servicio depende de su calidad en función de la continuidad y uniformidad, de sus relaciones físicas y electroquímicas con el metal base, del carácter del ambiente al que está expuesto y de la naturaleza de los productos de corrosión que el metal de recubrimiento forma en sus reacciones químicas con los constituyentes de dicho ambiente.

El mejor método para determinar el valor protector de un recubrimiento metálico es el de someterlo a una serie de ensayos en condiciones lo más parecidas posibles a aquellas que han de reinar cuando preste servicio. Normalmente, la información necesaria sobre el rendimiento de un recubrimiento metálico puede obtenerse a partir de los estudios realizados sobre la calidad del mismo y de los resultados de los ensayos de corrosión.

Al valorar la calidad de cualquier recubrimiento metálico las propiedades que deben tenerse en cuenta son las siguientes: aspecto, espesor, porosidad adherencia al metal base y resistencia a la corrosión.

A continuación se mencionan algunos métodos para la evaluación de las propiedades de los electrodepositos mencionadas anteriormente; aclarando que estos métodos no son sólo los únicos y que se recomiendan éstos por sencillos y

prácticos; algunos de éstos están referidos a las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas y pueden ser aplicados en cualquier planta galvanotécnica por muy pequeña que sea.

### VII.1 Aspecto.

El aspecto de un acabado se examina visualmente como elemental información previa. Por ejemplo, la continuidad del recubrimiento, la ausencia de picaduras, de defectos locales y de ampollas son importantes para asegurarse de una adecuada duración del mismo y que no se deteriorará rápidamente con el uso. Tal inspección puede ser un rutinario ensayo de aceptación y se tiene que prestar una considerablemente atención a proveer apropiados dispositivos de iluminación que hagan posible el descubrimiento fácil de los defectos. Y con frecuencia se someten los objetos a un riguroso examen desde los puntos de vista que no entrarán en consideración cuando se trate de su funcionamiento.

Los elevados patrones de aspecto visual pueden tener un efecto desfavorable sobre los tipos de calidad en el caso de los acabados brillantes, tales como el dorado y el plateado, pues es preciso eliminar una excesiva cantidad de recubrimiento en la operación de pulido, a fin de obtener un brillo adecuado. La duración del recubrimiento quedará rebajada por esta causa.

### VII.2 Espesor.

En la mayoría de los casos, el valor protector de los recubrimientos electrolíticos, está en función de su espesor y todas las normas incluyen determinadas exigencias sobre el mismo.

De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-W-043-1974, los artículos con recubrimiento de plata, deben tener como espesor mínimo cinco micras (0.005 mm); y de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-W-045-1976, los artículos con recubrimiento de oro, deben tener un espesor no menor a 0.2 micras; en ambos casos, los recubrimientos deben de ser obtenidos por medio de un proceso electrolítico y deben de utilizarse para adorno personal, doméstico u ornato.

La determinación del espesor de un recubrimiento electrolítico se puede realizar de distintas maneras y en cualquier lugar del objeto a tratar.

Método microscópico (Norma NMX-W-116).

El método más exacto para determinar el espesor de un recubrimiento consiste en preparar una sección de la muestra por corte y pulimento, después de lo cual se mide el espesor bajo la observación microscópica. Es esencial asegurarse que la sección es realmente normal al recubrimiento; de otra forma pueden cometerse considerables errores. Este método es lento y caro y solamente se utiliza para fines especiales.

Método químico (Norma NMX-W-116).

Es posible disolver el recubrimiento del metal base y determinar la cantidad del metal presente en la solución por análisis químico, y con ello calcular el espesor del recubrimiento. No obstante, esto se efectúa raras veces, ya que es más sencillo hallar la manera de disolver el recubrimiento de una superficie dada sin afectar al metal base. Pesando la muestra antes y después de esta

operación, puede determinarse fácilmente el peso, y con él el espesor, del recubrimiento.

El oro y la plata pueden ser eliminados anódicamente en una solución que contenga 6.25 gr de cianuro de sodio y 12.5 gr de sosa cáustica por litro. Los recubrimientos de plata sobre latón o plata alemana (alpaca) pueden ser eliminados por inmersión en un baño de ácido sulfúrico concentrado caliente que contenga 5 % de ácido nítrico concentrado (en volumen). El oro puede disolverse de las superficies de cobre, latón y acero o aleaciones de níquel mediante el tratamiento con un baño de cianuro de sodio-peróxido de hidrógeno. El baño se prepara añadiendo a medida que se necesita, pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno a una solución que contiene cerca de 50 gr de cianuro sódico por litro.

Método de la cuerda.

En este método, se aplica una muela circular sobre el recubrimiento hasta que éste ha sido completamente cortado. Luego puede calcularse el espesor mediante la fórmula:

$$T = \frac{C^2}{8R}$$

donde T es el espesor del recubrimiento, C la anchura del corte y R el radio de la muela. Este método está limitado por el hecho de requerirse una muela de precisión para las superficies planas, pero puede ser utilizado en las superficies curvas utilizando una fina lima plana si se conoce el radio de curvatura de la superficie. No puede utilizarse el método si se trata de superficies cóncavas (ver figura 7 y 8).

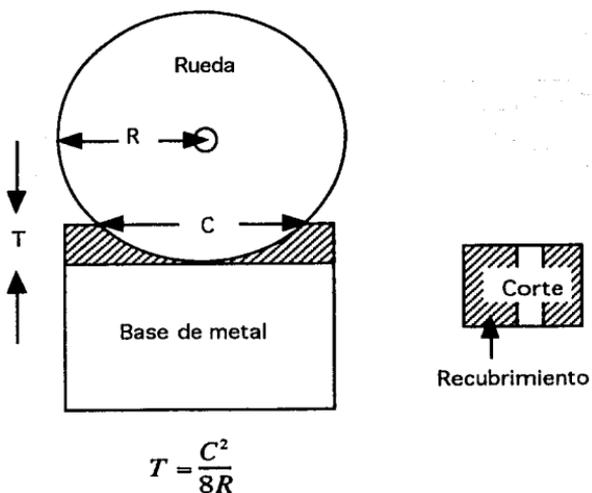
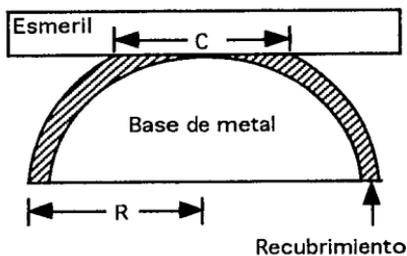


Fig. 7 Método de la cuerda, usando un esmeril sobre una superficie plana.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM



$$T = \frac{C^2}{8R}$$

Fig. 8 Método de la cuerda, empleando una lima plana sobre una superficie curva.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

## Ensayo B. N. F.

La prueba de chorro B. N. F. es actualmente la más ampliamente utilizada para las mediciones de rutina del espesor de los recubrimientos. En este procedimiento se dirige un chorro de un determinado reactivo sobre el recubrimiento, bajo condiciones cuidadosamente establecidas, y se observa el tiempo necesario para la penetración. Existen soluciones adecuadas que permiten aplicar este método a los recubrimientos de plata sobre la mayoría de los metales base comúnmente empleados. El chorro se dirige sobre el artículo, cuidadosamente limpiado, bajo una presión constante de 25.4 cm de columna de agua.

Cuando ha tenido lugar la penetración, aparece una mancha, puesto que ésta no es visible muestras mana el chorro, éste debe de ser parado de vez en cuando para comprobar cuándo ha ocurrido la penetración; mediante un cronómetro puesto en funcionamiento y parado cuando empieza y termina el ensayo, respectivamente, se obtiene una medida del tiempo total en que mana realmente el chorro. El tiempo de penetración depende de la temperatura de la solución, la cual se determina mediante un termómetro. La solución para los recubrimientos de plata, consta de 250 gr de yoduro potásico y de 7.44 gr de yodo por litro. La plata se disuelve a la velocidad de 0.00025 cm en 5.6 seg a 25 °C y en 6.6 seg a 18 °C. Se manifiesta el punto final por el desarrollo de una superficie brillante de tamaño creciente, del metal subyacente.

## Ensayo de goteo.

Un método similar empleado extensamente, consiste en utilizar un aparato proyectado para dar una serie de gotas, en lugar de un chorro, de la solución.

Las gotas caen a una velocidad de 100 por minuto, y el espesor del recubrimiento es también función del tiempo y de la temperatura.

Comprobación electrolítica del espesor (Norma NMX-W-043-1974).

El principio en que se basa el aparato utilizado es la disolución anódica de la superficie del metal recubierto, en donde una solución electrolítica se usa como cátodo y la pieza electrodepositada como ánodo; se determina el producto intensidad-tiempo y se utiliza como medida del espesor. La corriente de disolución del recubrimiento se mantiene constante durante el ensayo y el punto final está definido por una subida angular en la curva tiempo-voltaje de la celda, que ocurre cuando ha sido eliminado el metal del recubrimiento. En el circuito hay un relé que para un reloj medidor y provoca la eliminación de una lámpara indicadora (lámpara piloto). El tiempo de disolución del recubrimiento se convierte en espesor del recubrimiento, mediante el cálculo directo a partir del tiempo que ha pasado la corriente en la superficie metálica y del peso equivalente del metal, o mediante una tabla que muestre una función del tiempo empleado para eliminar el recubrimiento. El método es apropiado para recubrimientos muy delgados. El electrolito utilizado es el cianuro potásico al 10 % para recubrimientos de oro y plata. Los metales de base pueden ser el acero, latón, cobre y otros.

### VII.3 Porosidad.

Desde el punto de vista de la duración de un recubrimiento, la porosidad del mismo es menos significativa que su espesor, ya que el grado de porosidad disminuye en general con el aumento de espesor. No obstante, la porosidad es

muy importante en el caso de los metales que son catódicos en relación al metal base, ya que en estos recubrimientos es probable que sea acelerada la velocidad de ataque en los poros.

Las pruebas de porosidad se basan en la aplicación de un reactivo que reaccione con el metal base a través de los poros del recubrimiento sin atacar a éste. Para la determinación de la porosidad de los recubrimientos catódicos, tales como el oro y plata sobre el acero, se ha utilizado extensamente el ensayo de ferroxilo. La solución de ferroxilo puede prepararse a partir de:

Ferricianuro sódico	10 gr por litro
Cloruro sódico	5 gr por litro

Se aplica al recubrimiento una pieza de papel de trapo, blanda y lisa, y se impregna con un cepillo la solución indicada anteriormente, de tal forma que el papel siempre esté en contacto con la superficie que se somete a tratamiento. Se dejan en contacto durante 10 minutos (aplicándole una nueva cantidad de solución si el papel tiende a secarse), luego se quita el papel, se lava y se seca el objeto. Cualquier poro que exista se mostrará en forma de una mancha azul sobre el papel en que se ha efectuado la prueba. Es útil incorporar una pequeña cantidad de agar-agar a la solución de ferroxilo para evitar que las manchas se extiendan.

Se ha sugerido que para los recubrimientos delgados se emplee un papel sumergido en una solución de cloruro sódico, que contenga un poco de gelatina. Después de estar en contacto con la pieza durante 10 minutos, se sumerge el papel en la solución de ferricianuro potásico y aparecerán manchas azules en los sitios porosos.

Los resultados obtenidos con la prueba del ferroxilo pueden revelar una pequeña proporción de los poros totales, ya que las soluciones de ferrocianuro no tienen acción sobre el hierro pulido. Es solamente mediante la adición de cantidades crecientes de cloruro sódico que se producen las manchas. Esto indica que la superficie reacciona solo en determinados puntos, de modo que el reactivo solamente detectara un poro si éste coincide con una zona activa del metal base

#### Ensayo del agua caliente.

En esta prueba las piezas se limpian con cuidado, preferentemente mediante tratamiento catódico en una solución fría de carbonato de sódico al 1 %; el desengrase con sólo tricloroetileno es inadecuado. Luego se sumergen en agua destilada a un pH de 3.5 a 5 durante un periodo de 6 hrs. Es necesario añadir ácido clorhídrico muy diluido para reducir a estas cifras el valor del pH en el agua. El agua se mantiene a 95 °C en un recipiente de cobre estañado. Al final del periodo de prueba, se enjuagan y se secan y se cuenta el número de manchas; dependiendo del número de éstas, se decide si se acepta o se rechaza el producto.

#### Electrografía.

Se han propuesto los métodos electrográficos como procedimientos para determinar la porosidad. En este procedimiento se aplica un papel impregnado con un electrolito de prueba al recubrimiento, y sobre el otro lado del papel se aplica un contraelectrodo de un metal apropiado, que puede ser de aluminio o plomo. Con la solución de ferroxilo, el artículo que se somete a la prueba sirve

de ánodo, y mediante la aplicación de una f.e.m. de 5 a 6 voltios se muestra cualquier porosidad en 15 seg.

#### VII.4 Pruebas de adherencia.

La adherencia de un recubrimiento electrolítico es la medida de su capacidad de servicio y determina junto con la resistencia a la corrosión, el tiempo de duración de éste.

No se ha desarrollado ningún ensayo cuantitativo sencillo para determinar la adhesión de los recubrimientos metálicos. Probablemente el método de medida de la adherencia más importante entre todos los que han aparecido es el basado en la determinación de la fuerza necesaria que se tiene que aplicar para desprender un recubrimiento electrodepositado.

#### Ensayo de chorro térmico.

Los objetos recubiertos se calientan en un horno eléctrico durante 1 hr a las temperaturas siguientes con  $\pm 5$  °C de tolerancia:

Objetos de acero	350 °C
Objetos de cobre y sus aleaciones	250 °C

A continuación se introducen en agua que éste a  $20$  °C  $\pm 5$  °C, no debe de apreciarse separación del recubrimiento. Si el recubrimiento se levanta, se rechaza el objeto y se tendrá que volver a limpiar y recubrir.

### Ensayo de corte del recubrimiento.

En tres lugares de la pieza y mediante un objeto cortante de carburo de wolframio se efectúa tres cortes del recubrimiento formando una retícula de 15 mmX15 mm, en trazos paralelos separados por 3 mm uno del otro (ver fig. 9). No debe de producirse ningún levantamiento ni desprendimiento del recubrimiento electrolítico.

### Ensayo de limado.

Se lima una de las aristas del objeto protegido, teniendo cuidado que la lima se desplace perpendicularmente al plano bisector del ángulo diedro comprendido entre los dos planos cuya intersección constituya una arista considerada de modo que en su acción la lima tienda a arrancar el recubrimiento electrolítico (ver fig. 10).

El limado debe ser siempre en el mismo sentido hasta la aparición del metal base.

Repitiendo el ensayo en tres lugares diferentes, no se debe apreciar ningún caso de levantamiento o desprendimiento del recubrimiento.

Un ensayo similar se puede hacer para muestras de superficie convexa; aquí la lima se tendrá que desplazar en un plano tangencial a la muestra, cuidando que el desplazamiento se haga siempre en el mismo sentido hasta la aparición del metal base (Ver fig. 10). Si se aprecia un levantamiento o desplazamiento del recubrimiento, este se deberá limpiar y volver a recubrir.

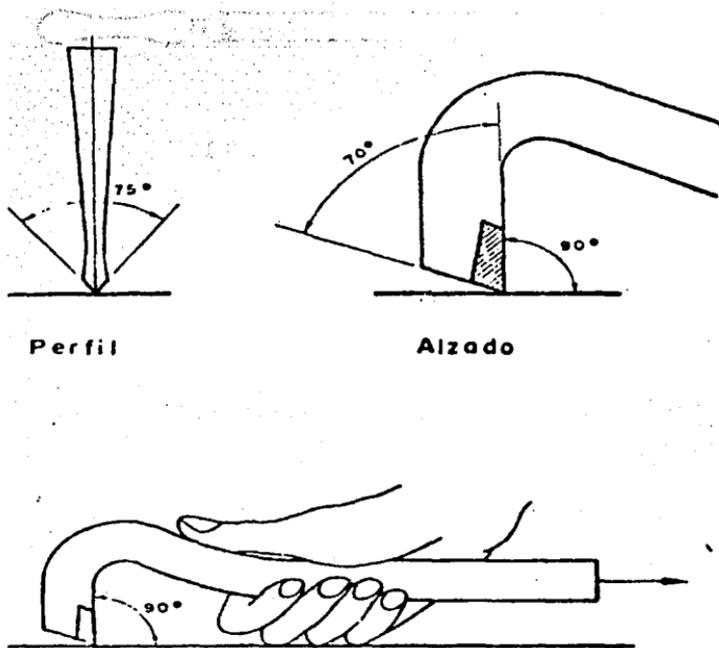


Fig. 9 Empleo de un objeto cortante para efectuar el corte del recubrimiento.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

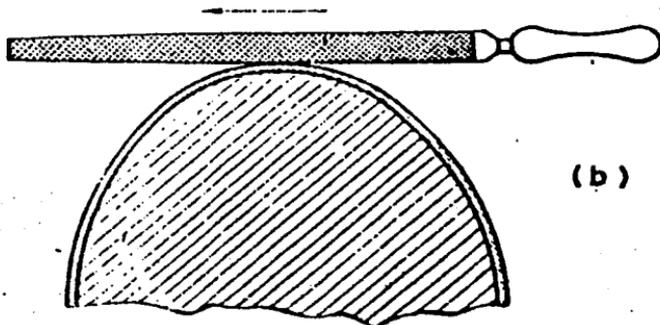
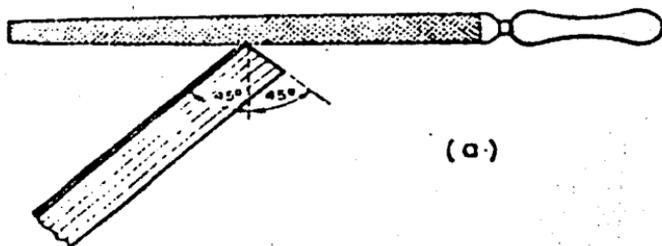


Fig. 10 Empleo de una lima para la comprobación de la adherencia en una superficie plana (a) y en una superficie convexa (b).

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

## Prueba de electroformado.

El método más utilizado y adecuado para medir la adherencia de los recubrimientos consiste fundamentalmente en el electroformado de pequeños nódulos de cobalto en forma de setas, sobre el recubrimiento que se va a medir y empleándolos como puntos de aplicación de la fuerza utilizada para desprenderlos, la fuerza que se ejerce mediante un muelle empleando un puntero y una escala calibrada. Con objeto de obtener los resultados en kilos por  $\text{mm}^2$  se mide la zona de la que se desprende el nódulo. La resistencia a la tracción del cobalto electroformado es de  $53 \text{ Kg/mm}^2$ , lo que corresponde a la fuerza de tracción de  $102 \text{ Kg}$  sobre un nódulo de  $1.6 \text{ mm}$  de diámetro. La validez de este método se pone en manifiesto en la comparación de la fuerza necesaria para desprender aquellos nódulos que eran tan adherentes que fracturaban el metal base con los valores aceptados para la resistencia a la tracción de dicho metal base.

### Relación entre la fuerza necesaria para desprender el nódulo y la resistencia a la tracción del metal base

Metal base	Intervalo de la resistencia a la tracción ( $\text{Kg/mm}^2$ )	Fuerza para desprender el nódulo ( $\text{Kg/mm}^2$ )
Plomo	2	3.3
Fundición de hierro	13.5 - 40	6 - 10
Pieza de base zinc moldeada por inyección	18.5 - 34	8.3 - 16.5
Cobre	21.5 - 44	20 - 30
Acero, bajo en carbono	34 - 46.5	2 - 34
Aluminio 2S	10.7 - 16	21.5 - 32

Este método debe realizarlo un técnico especializado y aunque no es muy adecuado en el control galvanotécnica, es sumamente útil para explorar los problemas relacionados con la adhesión de los recubrimientos.

Determinación de la Adhesión por el Método de Desengrase Electrolytico (Norma NMX-W-043-1974)

La solución de desengrase será de sosa cáustica (NaOH) con concentración de 80 g/l, se mantendrá con una temperatura de entre 50 y 60 °C. La solución de desengrase se usa como cátodo y la pieza electrodepositada como ánodo. Antes de introducir la pieza al baño, se fija el tiempo de prueba, que varía de acuerdo con el voltaje que se aplique. Se introduce la pieza en el baño durante el tiempo fijado y se saca observándose su superficie. Se considera que la pieza pasa la prueba cuando la superficie de la misma no presenta formación de ámpulas.

#### VII.5 Resistencia a la corrosión.

El metal base de los objetos recubiertos puede corroerse de tal manera que llegue a debilitarse estructuralmente. La propiedad que determina el comportamiento del depósito electrolytico con respecto a la corrosión, es su susceptibilidad a la acción química, especialmente en la atmósfera, que contiene agentes corrosivos como el oxígeno, la humedad, dióxido de carbono y cloruro de sodio (en zonas costeras). En realidad no son las propiedades del depósito, sino las reacciones del metal base con la atmósfera, las que determinan el comportamiento del artículo tratado electrolyticamente.

La resistencia a la corrosión sirve para determinar cualitativamente la vida probable del recubrimiento electrolítico, y se han propuesto pruebas que proporcionen algún dato para calcularla. Los recubrimientos pueden actuar sobre el metal base de dos formas; una en la que los recubrimientos se corroen más rápidamente que el metal base, y dos, en la que los recubrimientos se corroen mas lentamente que el metal base. De hecho, las pruebas de corrosión se pueden dividir en pruebas de exposición en el exterior y pruebas aceleradas.

#### Prueba de exposición en el exterior.

Esta prueba es de exposición atmosférica de los recubrimientos electrolíticos; esta prueba es útil para observar el comportamiento real del depósito de espesor conocido, en donde es sometido a condiciones marítimas, industriales, urbanas y rurales. Los resultados obtenidos sólo sirven como guía en la especificación de los recubrimientos. Esta prueba es costosa debido al tiempo de duración.

#### Pruebas aceleradas.

Las pruebas aceleradas evitan el lapso tan prolongado de tiempo y gasto considerable requerido para las pruebas atmosféricas, obteniendo períodos de prueba cortos de algunos días hasta de menos de 24 hrs, alcanzando resultados igual de buenos que los logrados bajos las condiciones reales.

Estas pruebas acelerados pueden llevarse a cabo mediante una prueba en niebla salina y la prueba de Corrodokote.

### Prueba en niebla.

En esta prueba se expone el objeto de prueba en una cámara a una temperatura constante, a la acción de una niebla de una solución de cloruro sódico al 5 % en agua destilada, que se produce por medio de un pulverizador, teniendo en cuenta que la acción el chorro de niebla obtenido no sea directa sobre el objeto.

Las muestras se suspenderán en el interior de la cámara mediante hilos de plástico u otro material o soporte no conductor y se mantendrán expuestas a la acción de la niebla durante 18, 36, y 96 hrs a una semana según el espesor de la película.

### Prueba de Corrodkote.

El método se basa en aplicar sobre el objeto a ensayar una mezcla corrosiva especial. Una vez seca la mezcla corrosiva se introduce el objeto durante un tiempo determinado a la acción de una atmósfera caliente y húmeda.

La composición de la mezcla corrosiva es:

Cloruro de amonio	20 gr/l
Cloruro férrico	3 gr/l
Nitrato de cobre	1 gr/l

Las muestras una vez que han sido desengrasadas con una mezcla de alcohol y éter (partes iguales), se les cubre con un pincel, una capa de mezcla corrosiva y se dejan secar durante 1 hr a temperatura ambiente en una atmósfera de humedad relativa inferior a 50 %.

Una vez secas las muestras se introducen en una estufa con circulación de aire a temperatura de 36 a 39 °C y una humedad relativa de 80 a 90 %.

El tiempo de permanencia en la estufa de estas condiciones sera de 20 hr sin interrupción.

#### VII.6 Defectos, causas y posibles soluciones de los recubrimientos de oro y plata.

A continuación se señalan las causas y defectos más importantes en la deposición electrolítica de los recubrimientos de oro y plata, así como las medidas a tomar para suprimirlos. Aunque la relación no es completa servirá; aunque muchos de los defectos no tienen su origen en composiciones erróneas de los baños o en las impurezas del mismo, sino en la limpieza deficiente de los objetos o en intensidades de corriente inadecuadas.

D= defecto; C= causa y S= posible solución.

D. No se obtiene ningún depósito o éste es muy deficiente.

C. Falta de contacto.

S. Revisión de los contactos y conexiones de la corriente. Limpieza de los contactos.

C. Polaridad incorrecta.

S. Comprobar la polaridad con reactivos de polos. Conectar los objetos al polo negativo del generador.

D. Recubrimiento irregular o puntos sin pulir.

C. Poco poder penetrante.

S. Disminuir la distancia de los cátodos y ánodos hasta 30 cm. Utilización de los ánodos auxiliares.

C. Escasez del contenido de sal metálica.

S. Añadir sal metálica para reforzar el baño.

C. Exceso de ácido.

S. Regulación del pH correcto.

C. Desengrase y decapado deficientes.

S. Vigilancia del baño de desengrase y decapado.

C. Mala conductividad del electrolito.

S. Añadir sal conductora.

D. Depósito demasiado lento.

C. Poca intensidad de corriente.

S. Limpieza de los contactos.

C. Anodos pasivados.

S. Aumento de la densidad de corriente. Limpieza de los ánodos. Examen del pH.

C. Para los depósitos de oro: hay un exceso de cianuro.

S. Agregar un poco más de cianuro de oro al baño. Aumentar la intensidad de corriente.

D. Picaduras.

C. Agitación insuficiente.

S. Dar agitación apropiada.

C. Exceso de acidez.

S. Añadir ácido.

D. Poros.

C. Bajo contenido de sal metálica.

- S. Añadir sal para reforzar.
  - C. Burbujas adheridas, impurezas sólidas.
  - S. Añadir detergente o peróxido de hidrógeno. Regulación del pH correcto. Agitación por inyección de aire. Movimiento de los objetos. Filtración del baño. Enfundar los ánodos.
- 
- D. Recubrimientos ásperos y granulados.
  - C. Defecto en el metal base (grietas, poros, etc).
  - S. Pulir mejor. Poner película intermedia de cobre.
  - C. Baño con impurezas.
  - S. Enfundar los ánodos.
  - C. Exceso de densidad de corriente.
  - S. Reducir la densidad de corriente. Agitación del electrólito. Aumentar la superficie catódica.
  - C. Para un recubrimiento de oro: el baño fue muy largo.
  - S. Acortar el tiempo del baño. Pulir, desengrasar y volver a meter al baño.
  - C. Para un recubrimiento de plata.
  - S. Utilizar intensidades de corriente débiles. Exposición prolongada.
- 
- D. Recubrimientos rugosos.
  - C. Contaminación por impurezas suspendidas en el baño.
  - S. Envolver los ánodos en fundas.
  - C. Altas densidades de corriente.
  - S. Reducir la densidad de corriente. Agitación en el baño.
- 
- D. Recubrimiento mate.
  - C. pH incorrecto.
  - S. regular pH.
  - C. Exceso de densidad de corriente.

- S. Reducir la densidad de corriente. Aumentar la superficie catódica.
  - C. Depósitos de oro opacos a causa de impurezas o contaminación.
  - S. Hervir el baño con carbonato sódico y filtrar.
  - C. Falta de abrillantador
  - S. Agregar sulfito de carbono
- 
- D. Recubrimientos frágiles.
  - C. Contaminación con impurezas orgánicas.
  - S. Filtrar con carbón activado.
  - C. Para los baños de plata.
  - S. Utilizar los baños fríos.
- 
- D. Color defectuoso.
  - C. Para depósitos de oro: recubrimientos manchados de negro o rojo oscuro.
  - S. Agregar más cianuro (disuelto en agua) al baño. Reducir la intensidad de corriente.
  - C. Para depósitos de plata: depósitos manchados de negro.
  - S. Reducir la intensidad de corriente. Agitar el baño.
- 
- D. Depósitos resquebrajado y con hoja.
  - C. Exceso de absorción de hidrógeno en el desengrase electrolítico.
  - S. Desengrase más breve. Eventualmente renovar el baño.
  - C. Exceso de acidez o alcalinidad.
  - S. Corregir el pH
  - C. Exceso de materia orgánica (abrillantadores).
  - S. Hervir el baño con carbonato sódico, filtrar y regular correctamente el pH.
  - D. Mala adherencia, pero recubrimiento normal.

C. Mal desengrase. Capa de óxido.

S. Desengrasar hasta eliminar la grasa por completo. Decapar en ácido.

Lavar en ácido sulfúrico diluido, después del tratamiento alcalino.

C. Para depósitos de plata: puede deberse a un exceso de gases en el cátodo.

S. Disminuir la intensidad de corriente.

## CAPITULO VIII. EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS EN LOS PROCESOS GALVANOPLASTICOS

Toda instalación galvanotécnica debe de ser proyectada para facilitar la fluidez de la producción y reducir al mínimo el movimiento innecesario del personal y de los materiales. La organización de los procesos facilita las operaciones sucesivas del pulido, desengrase, recubrimientos electrolíticos, lavado y secado. También debe de proveer la manera de compensar el trabajo defectuoso. Es conveniente que el laboratorio de pruebas este cerca del proceso operación. Además es de suma importancia disponer de los medios adecuados para la conservación y reparación de bastidores utilizados para sumergir los objetos en los baños, incluyendo su equipo de aislamiento.

La ventilación de las salas de trabajo constituye un aspecto esencial de las instalaciones de trabajo, debe ser factible la introducción del aire necesario a la planta para compensar el eliminado por el sistema de extractores.

Los requisitos o exigencias de las instalaciones de galvanostegia son muy especiales en cuanto a la elección de materiales, a causa de la naturaleza corrosiva de las soluciones que se utilizan y de las condiciones generales del servicio a que esta sujeta la instalación.

En este capítulo se mencionan los equipos más comunes, empleados en los procesos de dorado y plateado, sobre todo de las etapas de pretratamiento de las superficies como el bruñido, esmerilado, pulido, desengrase y decapado, así como las etapas de electrodeposición, enjuague y secado.

### VIII.1 Bruñido y esmerilado.

Por cepillo. Para llevarlo a cabo se emplean cepilladoras giratorias (pulidoras) que llevan cepillos de púas de acero, latón o bronce, que trabajan a una velocidad periférica de 5 - 20 m/seg, con diámetros de 100 - 300 mm correspondiendo a un número de revoluciones por minuto de 1500 - 3000 (Ver figura 11). Se aumenta la duración de los cepillos invirtiendo con frecuencia el sentido de la rotación de los mismos. Para pequeñas piezas se usan también discos de paño con pastas abrasivas (Ver figura 12).

En tambor o bombo giratorio. Elimina por frotación la capa superficial de las piezas. La velocidad de rotación es de 10 rev/min. El diámetro del tambor es de 50 a 100 cm (ver figura 13).

## VIII.2 Pulido.

Pulido con cepillos. Se utilizan discos de púas periféricas, con una velocidad periférica de 20 - 50 m/seg y 3000 rev/min, con diámetros de 10 cm (ver figura 14).

Pulimento o abrillantado. Se utilizan discos de paño. Un aspirador unido a unos adecuados colectores recoge polvo (ver figura 15).

Pulido electrolítico. Se realiza en un recipiente revestido de un material que depende de la composición del baño (ver figura 18).

Pulido a bombo. Se emplea para pulir piezas de dimensiones reducidas. Las piezas se colocan en un bombo o tambor que puede girar sobre su eje, generalmente son horizontales y pueden contener sustancias abrasivas adecuadas. El roce de los granos pule las piezas (ver figura 16).



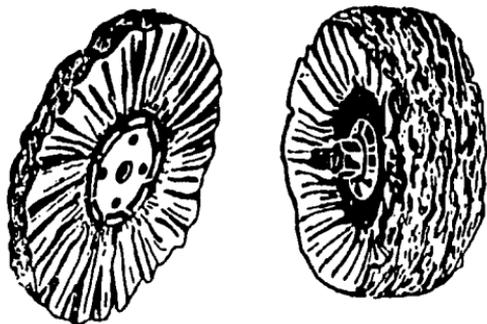


FIG. 12 Discos de pulido.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

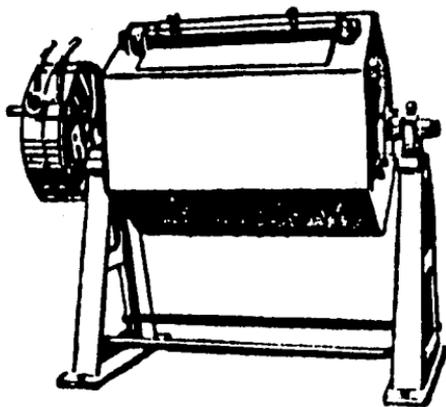


FIG. 13 Tambor o bombo giratorio.

UNAM  
FES  
C  
MEXICO

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

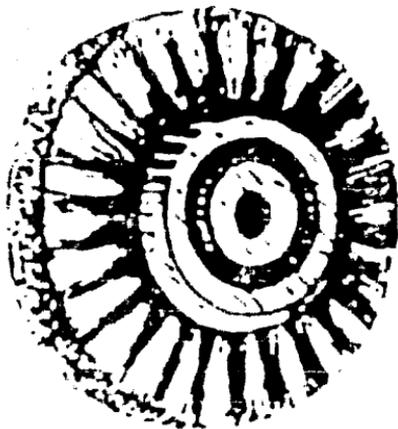


FIG. 14 Disco de púas periféricas.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

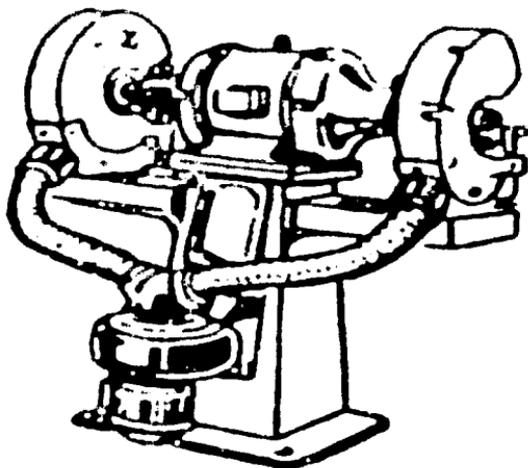


FIG. 15 Pulimentadora de disco con aspirador integrado para el polvo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO QUÍMICO DE INVESTIGACIONES Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MÉXICO, D.F.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUÍMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

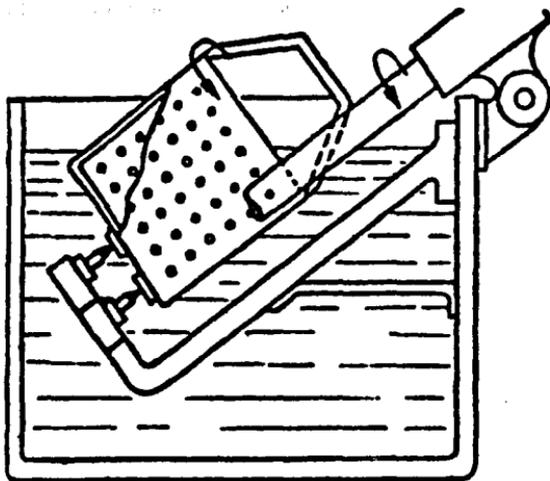


FIG. 16 Tambor sumergido (permite la pulimentación en el baño y el lavado posterior).

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

### VIII.3 Desengrase.

Desengrase alcalino. Puede emplearse recipientes de acero sin revestimiento, pero si se quiere evitar cualquier tipo de contaminación de hierro, entonces se recomienda revestirlos con caucho o con fibra de vidrio y resina poliéster (ver figura 17).

Desengrase electrolítico. Puede ser catiónico o aniónico, empleando electrodos de acero o cobre. El recipiente o tanque recomendado es del mismo tipo que se sugiere para el pulido electrolítico (ver figura 18).

### VIII.4 Decapado.

Como las soluciones decapantes son de tipo ácido los recipientes que se recomiendan son de acero inoxidable o acero revestido con fibra de vidrio y resina poliéster (ver figura 17).

Decapado electrolítico. El decapado electrolítico también puede ser aniónico o catiónico, empleando electrodos de plomo-antimonio o de grafito. El recipiente recomendado es del tipo sugerido para el pulido y desengrase electrolítico (ver figura 18).

### VIII.5 Electrodeposición.

Tanques.

Tanque electrolíticos para el electrodeposición. Son recipientes que se utilizan

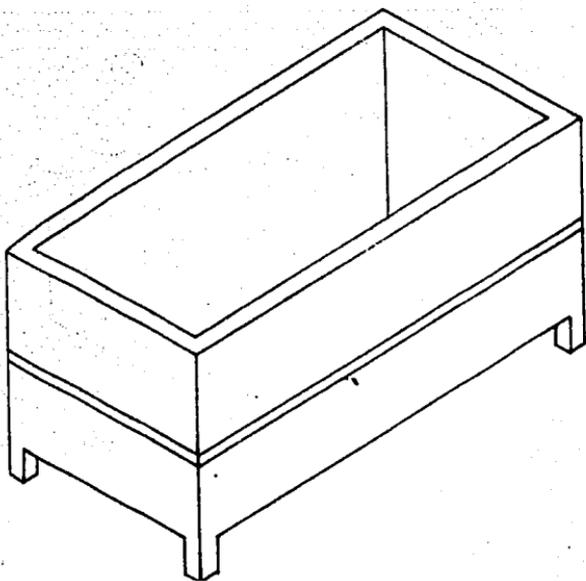


FIG. 17 Tanque de acero o lámina de fierro calibre 16, forrado de resina poliéster y fibra de vidrio.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

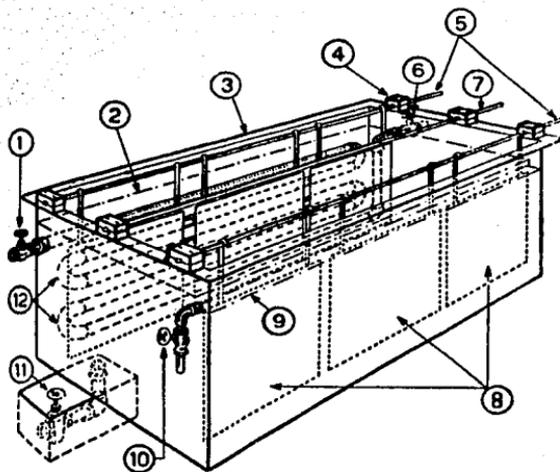


FIG. 18 Recipiente para decapado electrolítico en caliente. 1 Entrada del vapor 2 Nivel máximo de baño. 3 Recipiente. 4 Soportes para calentar el recipiente. 5 Barras porta electrodos. 6 Salida de vapor. 7 Barra porta pinzas. 8 Electrodos. 9,10,11 Circuito de lavado. 12 Circuito calefactor (serpentín de vapor).

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

para preparar, contener y utilizar las soluciones de electrodeposición. El tamaño del recipiente depende de la cantidad de piezas que se van a electrodepositar y la cantidad de trabajo que se quiera realizar. Pueden ser casi cualquier recipiente que no sea metálico, con excepción del acero inoxidable. Para construir el recipiente con un material determinado, se debe considerar: 1. Si el material es resistente a las soluciones involucradas. 2. Fuerza mecánica para las cargas (sin fugas o contaminación de la solución). 3. La temperatura de trabajo. 4. Costo.

Los materiales utilizados para la construcción de las cubas o tanques electrolíticos, deben ser químicamente resistentes al líquido que van a contener, a menos que se utilice un revestimiento, en cuyo caso éste debe de llenar los siguientes requisitos:

- a. Acero. El acero es el material de uso más común para la construcción de los tanques, debido a su bajo costo, gran resistencia y facilidad de fabricación. Es apropiado para todos los baños galvánicos alcalinos o ácidos, aplicándoles un revestimiento apropiado. Los revestimientos más recomendados para este tipo de tanques son el caucho, fibra de vidrio con resina, poliéster y plomo (ver figura 17).
- b. Concreto. El empleo de tanques de concreto reforzados con acero, ofrece la ventaja de su bajo costo y están revestidos comúnmente con fibra de vidrio y resina poliéster o plomo (ver figura 19).
- c. Fibra de vidrio. Son tanques de fibra de vidrio aglutinada con resina poliéster, son hechos de hojas prensadas con labios rectos, esquinas cuadradas y juntas pegadas con resina poliéster, además llevan refuerzos de acero, son muy ligeros, pero se debe de tener cuidado de no dejarlos caer. Estos tanques no son muy utilizados.

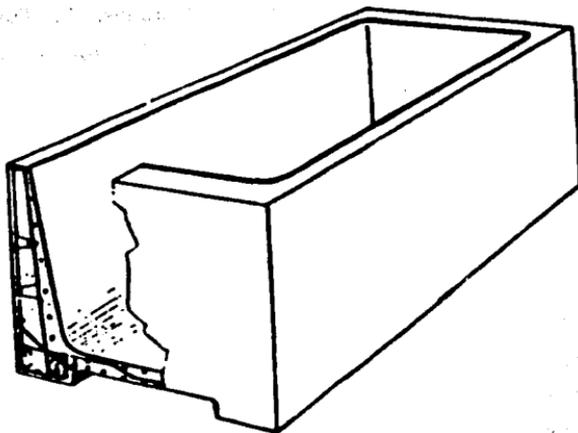


FIG. 19 Recipiente de concreto.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

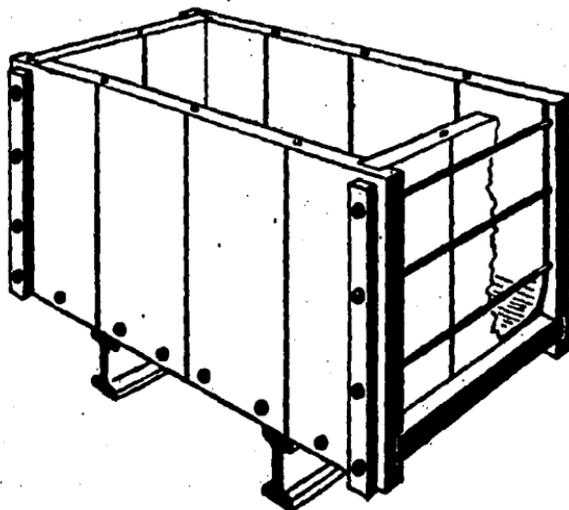
d. Madera. Anteriormente su uso fue muy extenso, pero actualmente es muy limitado, pues ha sido desplazado por otros materiales como el acero, fibra de vidrio, etc. La madera no debe de contener taninos y debe de mantarse con varillas, tirantes y pernos resistentes. Los tanques de madera son revestidos con materiales comunes, tales como plomo, resina poliéster, hule o asfalto (ver figura 20).

Si el electrodeposición se lleva a cabo en un bombo entonces se pueden utilizar cualquiera de los siguientes:

- a. Bombo tipo campana. Permite una fácil maniobra de vaciado, el motor eléctrico se encuentra dentro de la base. La capacidad de estos bombos varía de 5 a 50 litros por bombo y se utiliza para el tratamiento rápido de pequeñas piezas (ver figura 21).
- b. Bombo horizontal. Otro tipo de bombo es el montado horizontalmente, tiene las paredes perforadas y funciona casi en su totalidad sumergido en un tanque que contiene la solución del baño. Los tipos de tanques que se emplean para estos bombos pueden ser cualesquiera de los mencionados anteriormente (ver figura 22 y 23).

Rectificadores.

Es necesario el uso de una fuente de corriente directa de bajo voltaje que produzca 6 volts para la aplicación de un electrodeposición en general, hasta 16 volts si es que se desea electrodepositar un metal sobre aluminio. Se requiere de un amperaje o cantidad de corriente relativamente alta, cuando menos de 10 amperes, preferiblemente de 50 a 100 amperes. El voltaje a utilizar será proporcional a la corriente que exista en la solución, si todas las conexiones



**FIG. 20** Recipiente de madera con revestimiento interno.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

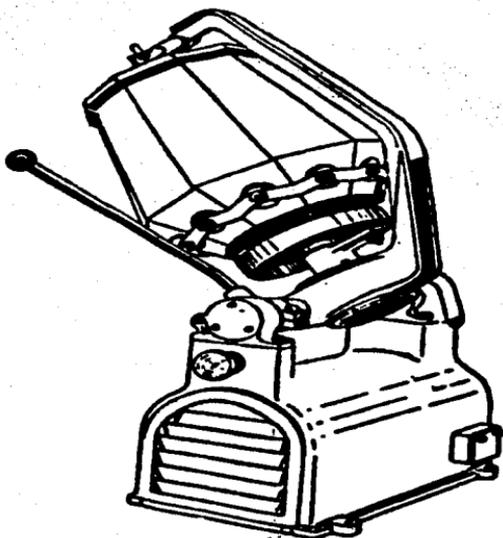


FIG. 21 Bombo para baños galvánicos en forma de campana. Permite una fácil maniobra de vaciado.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

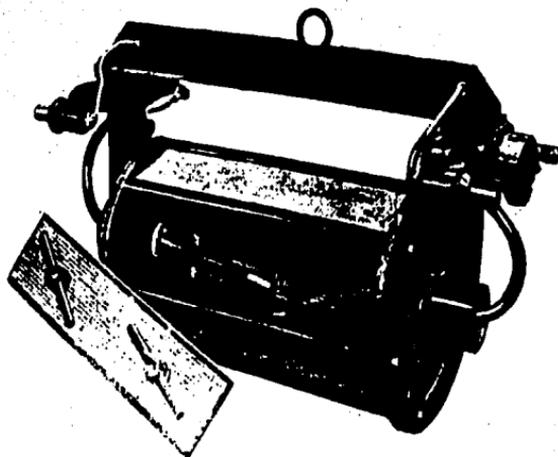
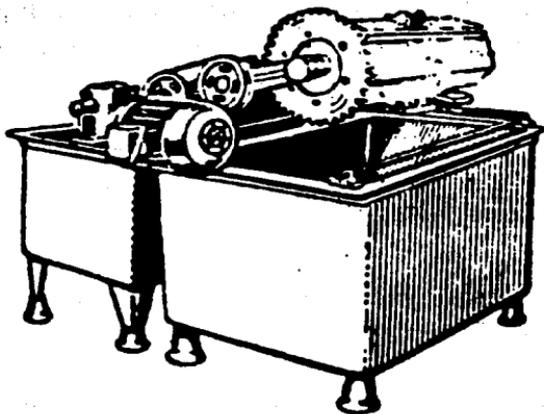


FIG. 22 Tambor para tratamiento galvánico en forma horizontal.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

que se utiliza para el estudio de la corrosión de los metales en soluciones acuosas. El electrodo de referencia se conecta al cátodo y el electrodo de trabajo al ánodo. El potencial de trabajo se controla mediante un potenciostato. El galvanostato se utiliza para controlar la corriente que fluye a través del sistema. El electrodo de referencia se conecta al cátodo y el electrodo de trabajo al ánodo. El potencial de trabajo se controla mediante un potenciostato. El galvanostato se utiliza para controlar la corriente que fluye a través del sistema.



**FIG. 23** Tambor horizontal instalado en el tanque, listo para ser sometido en el baño galvánico.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

están correctas (ver figura 24).

El control de la corriente es crítico, por ello es necesario un reóstato, que regule la cantidad de corriente que pasa a través de la solución. Es importante el uso de un amperímetro que mida el amperaje. Algunas veces es necesario el uso de un rectificador de corriente eléctrica que es una fuente de poder que se utiliza para el suministro de corriente eléctrica continua, en los procesos electrolíticos.

Un rectificador se compone normalmente de:

**Transformador principal.** Es el que modifica la corriente eléctrica alterna de alta tensión a valores de baja tensión, por ejemplo, voltajes de alimentación, 440-220 volts, a voltajes de salida de 4, 8, 12 o 20 volts.

**Reóstato.** Permite la obtención de una corriente alterna regulable, partiendo de 0 hasta un punto máximo. Esto se hace con el fin de fijar la tensión determinada dependiendo del tipo de baño.

**Células rectificadoras.** Tienen la finalidad de transformar la corriente alterna regulada, en corriente continua. También llamados diodos, normalmente son de selenio.

**Aparatos de medida.** Amperímetro y voltímetro, con amplia escala de lectura y de gran precisión.

**Aparatos de mando y protección.** 1) Para mando se emplea un botón pulsador, que llega al transformador. 2) Para protección se cuenta con un dispositivo que en caso de corto circuito interrumpe el funcionamiento del rectificador; además de un termostato para cuando la temperatura llegue a un nivel máximo permisible, se interrumpa su funcionamiento.

**Platinos y cableado.** Todo sistema eléctrico del rectificador, debe de estar conectado por medio de hilos y cables aislados convenientemente y en pletinas de cobre (ver figura 25).

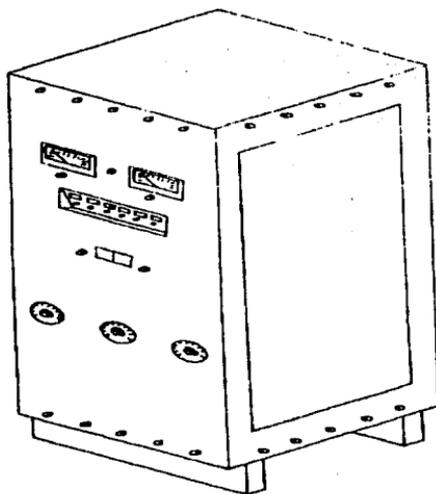


FIG. 24 Rectificador.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

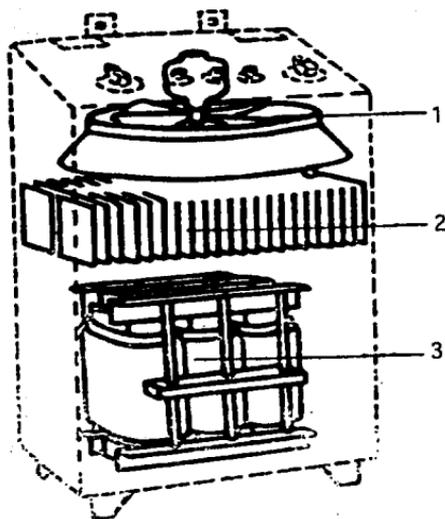


FIG. 25 Vista interior de un rectificador.

1 Ventilador. 2 Células rectificadoras. 3 Transformador principal.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

Los rectificadores completos, específicos para el uso de la galvanotecnia son de diversos tamaños, pueden producir de 6 a 12 volts y 10, 25, 50, 100, 200, 300 o más amperes.

Como sistema de enfriamiento puede utilizarse un electroventilador situado en la parte superior del rectificador provocando la circulación forzada del aire, dando como resultado el enfriamiento de los rectificadores; también se puede utilizar una cuba de aceite en la cual se sumergen las placas rectificadoras, enfriándolas de esta manera.

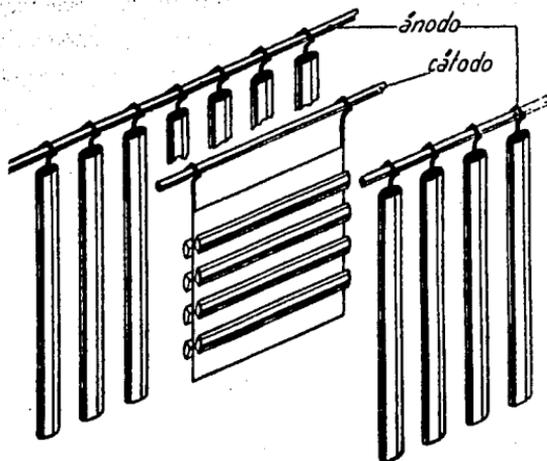
#### Electrodos.

Los electrodos utilizados en la deposición electrolítica, son los ánodos y los cátodos.

Los ánodos contruidos de diversos metales son eficaces conductores eléctricos y pueden dividirse en dos tipos: ánodos solubles o inertes.

Al pasar una corriente por los ánodos solubles se produce una oxidación y se desprenden iones del metal del que estan contruidos. Estos iones se depositan sobre el cátodo. En cambio al pasar una corriente por los ánodos inertes se produce una oxidación, donde se produce oxígeno gaseoso. Estos ánodos conducen la corriente eléctrica y están hechos generalmente de acero inoxidable. Se utilizan cuando resulta muy costosa la inversión de los ánodos de metal puro, como es el caso del oro y la plata (ver figura 26).

Los cátodos estan contruidos por los objetos que se pretenden electrodepositar.



**FIG. 26 Anodos eléctricos.** Los objetos a recubrir se colocan entre dos filas de ánodos.

TESIS PROFESIONAL  
 INGENIERO QUIMICO  
 MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
 FESC UNAM

### VIII.6 Enjuague y secado.

#### Lavado.

El enjuague o lavado se realiza después de cada operación, tanto en el pretratamiento de las superficies como en la del electrodepósito; es importante esta etapa dado que se trata de eliminar cualquier residuo proveniente del desengrase, decapado o del electrodepósito.

El lavado se realiza con agua corriente, por ello, los tanques de lavado pueden ser de cualquier material, pero generalmente estos tanques o recipientes son del mismo material que el empleado para el decapado, al igual que los diferentes materiales de los revestimientos usados para su construcción.

#### Secado.

Para el secado de las piezas, convenientemente lavadas se emplea aserrín bien seco y exento de taninos o resinas. Como recipiente puede emplearse un cajón de madera en el que se vierten las piezas, recubriéndolas de aserrín. Para objetos pequeños se emplean tambores rotatorios (ver figura 27).

Secado por aire caliente. El aire caliente hecho circular sobre la superficie de las piezas provoca la rápida evaporación del agua (ver figura 28). Para piezas grandes se utiliza un armario donde circula el aire a 100 -150 °C y para piezas pequeñas se utiliza una centrífuga.

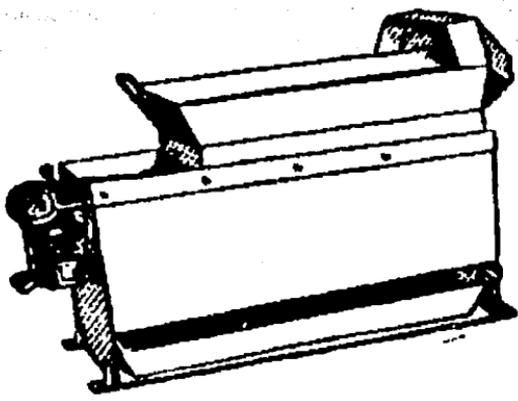
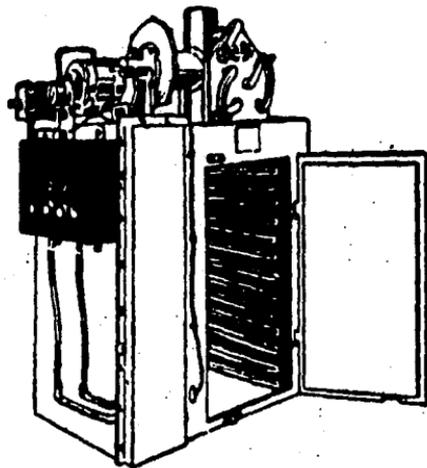


FIG. 27 Secador de aserrín.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM



Cesto

FIG. 28 Secador de aire caliente.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

### VIII.7 Equipos auxiliares.

Estos equipos son empleados para la agitación, calentamiento de los baños de las celdas electrolíticas y filtración, independientemente de la ventilación de los vapores desprendidos en las etapas de decapado y electrodeposito.

#### Agitación.

El movimiento del baño electrolítico puede lograr enviando aire al fondo del tanque a través de un sistema de tubos perforados que descargan en el fondo de la cuba por medio de un compresor de aire de baja presión. Los tubos deben de ser de un material apropiado; pueden ser de plomo-antimonio, ebonita y otros materiales plásticos según el baño.

Otra manera de agitar el baño es por medio de un pequeño motor suspendido en el tanque que haga girar una hélice o propela introducida en la solución. La propela debe de girar despacio, a unos 500 rpm, no debe de ser corrosiva y de preferencia no debe de ser metálica.

Si se tienen tanques pequeños, la agitación se realiza con el simple movimiento de la pieza a electrodepositar.

La agitación con aire no debe de utilizarse en soluciones de cianuro a causa del efecto de oxidación del aire.

#### Fuentes de calor.

Los tanques se pueden calentar a fuego directo, por medio de resistencias o vapor.

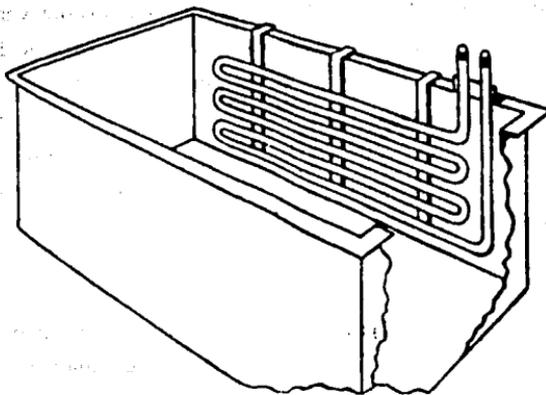
El calentamiento de los baños se efectúa generalmente por medio de serpentines situados en el fondo de las cubas atravesados por vapor. Para los baños alcalinos se emplean tubos de acero y para baños ácidos, tubos de plástico. Se emplea también el calentamiento eléctrico por medio de calentadores sumergibles de titanio (400 watts en potencia), constituidos por una resistencia eléctrica con aislamiento de goma o plástico en las conexiones. En algunos casos la utilización de recipientes de hierro sin revestimiento permite el calentamiento por medio de quemadores de gas, actuando debajo del mismo (ver figura 29).

Los calentadores por inmersión deben de estar protegidos para que no se corroan debido a las sustancias químicas y para que tampoco el material de calentador contamine al baño. Estos pueden estar cubiertos por acero inoxidable (baños alcalinos) o con titanio (baños ácidos).

En instalaciones industriales, la temperatura se controla con un termostato que enciende y apaga automáticamente el calentador, según se necesite (ver figura 30).

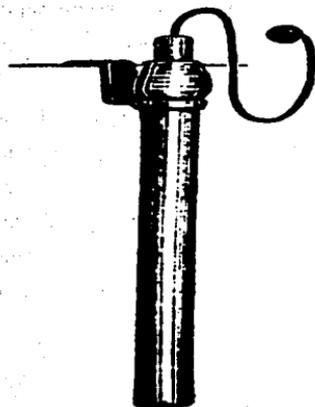
#### Filtración.

En los baños siempre hay impurezas que provocan contratiempos, especialmente en los baños calientes y agitados; algunas partículas metálicas sueltas, lodos, aceite y polvo acumulado con el tiempo en los baños electrolíticos pueden provocar que el metal a depositar no se adhiera



**FIG. 29** Sistema de calentamiento directo. Los serpentines se sitúan dentro de la cuba electrolítica.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM



**FIG. 30 Calentador eléctrico de titanio.**

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

uniformemente sobre el objeto que se va a tratar, por ello es necesario la filtración de las soluciones.

Una manera sencilla de filtrar las soluciones es transfiriéndolas a otro recipiente a través de un embudo con un filtro de papel; algunas veces se utiliza carbón activado en lugar de filtros de papel.

Para operar con mayor rapidez se emplean los filtros a presión, como el filtro de columna. Estos filtros pueden ser pequeños y medianos para el funcionamiento discontinuo. Consta de una columna de filtros de disco (en paralelo). La solución entra por la periferia y sale por el centro. La presión aproximada es de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , obtenida por una bomba centrífuga. Un metro cuadrado de superficie filtra 2000 l/hr. (se utilizan superficies de  $0.030 - 0.1 \text{ m}^2$ ) (ver figura 31).

Conexiones.

Las barras conectoras son varillas de cobre rígido con un diámetro de 6 a 12 mm, suficientemente largas para poder suspenderse a todo lo largo del tanque.

El objeto que va a ser electrodepositado también se suspende dentro del baño electrofítico mediante un alambre de cobre que se cuelga de la barra catódica. Los ánodos se cuelgan de la barra y se introducen en el electrolito sostenido por un alambre de cobre de calibre 18 o 20.

#### VIII.8 Ventilación.

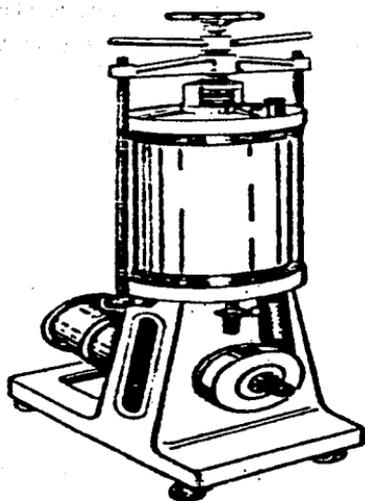


FIG. 31 Filtro de columna vertical.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

El lugar donde puede estar el equipo para el electrodepósito, puede ser un lugar abierto, esto es, solamente techado, pero implica la continua contaminación de las soluciones químicas de partículas suspendidas en el ambiente. También puede estar todo el equipo en un lugar cerrado, en donde se tengan puertas y ventanas abiertas, además de un extractor de aire o ventilador que mantenga continuamente circulando el aire.

Es necesario aspirar los gases, vapores y nieblas que se desprenden de los baños, por ello es recomendable que los equipos de aspiración, sean colocados en los puntos más cercanos a donde se desprenden los vapores.

Para la ventilación en general se instalan equipos en paredes o ventanas previstas para aspirar de 60 a 300 m<sup>3</sup>/min.

Algunos de los equipos que se pueden utilizar son:

- Ventiladores. Son construidos de plomo, de acero recubierto, de plomo o cloruro de polivinilo. El motor tiene una potencia entre 2 y 8 c.v. (ver figura 32).
- Campanas de aspiración. Los sistemas de aspiración son distintos, según el tipo de instalación, según la cantidad de producción y el tamaño del baño cuyos vapores deben de eliminarse. Las campanas se construyen de acero revestido de plomo y están pintadas con barniz vinílico o pueden ser de placas de polivinilo, con una aspiración aproximada de 0.5 m<sup>3</sup>/min para cada m<sup>2</sup> de superficie del baño y una velocidad de 1 m/seg (ver figura 33).

Aspiración por la parte superior. Es la más empleada en los baños de decapado que desprenden gran cantidad de vapores.

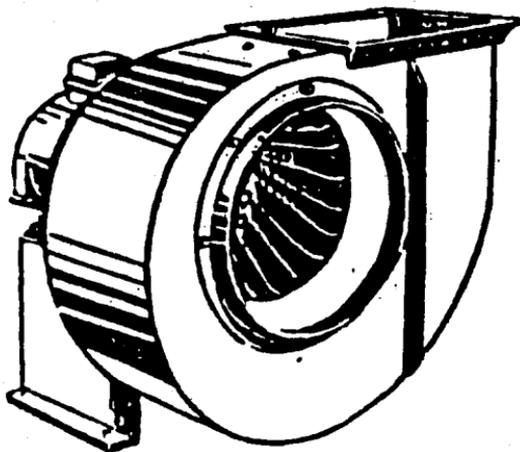


FIG. 32 Ventilador para aspiración del aire para las instalaciones galvanotécnicas.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

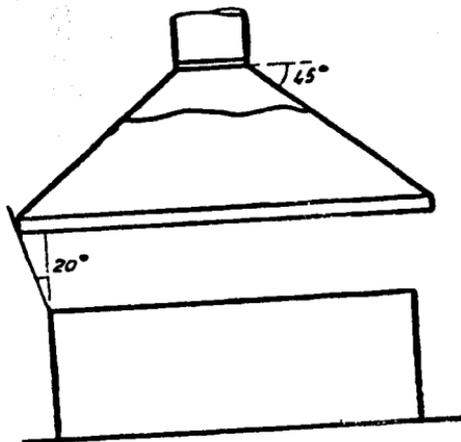


FIG. 33 Campana aspersora.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

Para baños nocivos (baños de cianuro), se emplean campanas cerradas lateralmente donde la velocidad de aspersión es de 0.5 m/seg.

### VIII.9 Accesorios.

Los accesorios empleados son complementarios en los procesos galvánicos. A continuación se mencionan los de mayor importancia.

#### Barras portaelectrodos.

Sobre los recipientes se encuentran las barras donde se suspenden los ánodos y cátodos, por lo general, el acomodo es de dos barras anódicas y entre ellas una catódica. Comúnmente son barras circulares de cobre o aluminio, de un diámetro que pueda soportar sin flexión el peso de las piezas, puedan conducir corriente eléctrica y asegurar un buen contacto. Su ubicación debe ser tal que impida contactos accidentales de las piezas entre sí o con las paredes del baño o el calentador. Se pueden emplear aisladores de ebonita y cerámica para aislar y sostener las barras (ver figura 34 y 35).

#### Ganchos portaelectrodos.

Se utilizan para colgar los ánodos y cátodos. Necesitan una abertura o un borde de enganche. Son de cobre, bronce o acero. Se debe procurar que la zona de contacto con las barras este limpia (ver figura 36).

El ánodo que es el electrodo positivo y por donde se introduce la corriente del

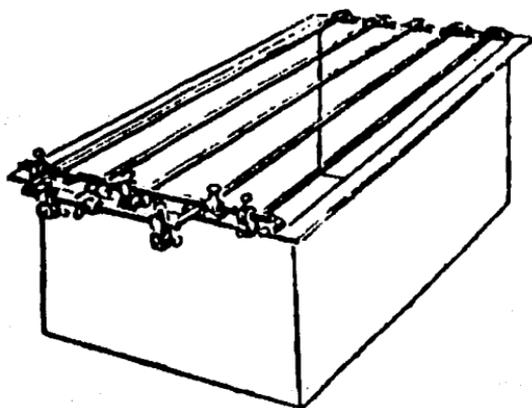


FIG. 34 Barras portaelectrodos.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM



FIG. 35 Soporte tipo canastilla para ánodos con forma esférica.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

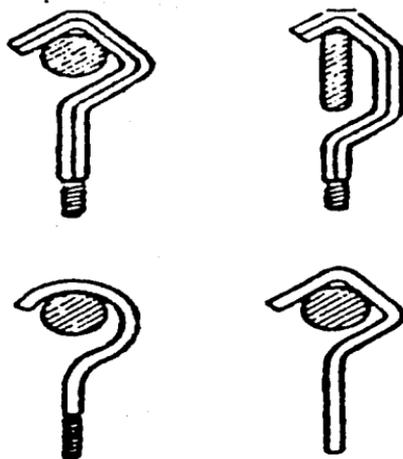


FIG. 36 Ganchos portaelectrodos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA  
MAYO 1971

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUÍMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

baño, se colocan en los ganchos si son planos y si son esféricos se tienden a introducir en soportes en forma de canastillas revestidas con hule o con plástico aislante. El cátodo que es el electrodo negativo y que cierra el circuito, lo forman los bastidores y las piezas a recubrir.

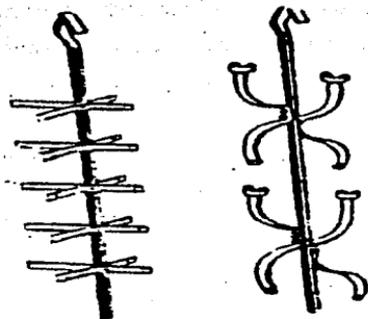
La finalidad de los bastidores o ganchos metálicos es el de mantener las piezas sumergidas en el baño electrolítico, en posición favorable para la electrodeposición y además de conducir la corriente.

Los bastidores o ganchos pueden tener bornes de contacto, éstos no deben deformarse con el peso de las piezas. El contacto entre las piezas y el bastidor se logra por el propio peso de éstas, pero se prefiere que el contacto sea mediante pequeños muelles de acero o bronce fosforosos fijados a las piezas (ver figura 37, 38 y 39).

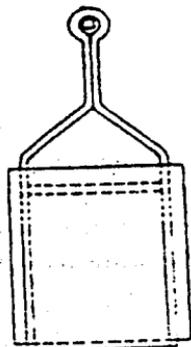
Dentro de los materiales más convenientes para los ganchos o bastidores, se tiene al cobre, que es el más empleado por su elevada conductividad y por la facilidad con la que se dobla y solda. El acero que presenta la ventaja de tener más solidez y rigidez, pero no es tan buen conductor. El latón y el bronce que se consideran mejores conductores que el acero presentan un poco más de solidez que el cobre.

Para evitar pérdidas del metal a depositar, se emplean ganchos que son recubiertos con ebonita o cualquier sustancia plástica, menos en la zona donde hace contacto con la pieza a electrodepositar.

Por último, es importante comentar que si el electrodeposito no es en bombo, las piezas a proteger deben ser sometidas a las etapas de desengrase y decapado con todo y los bastidores o ganchos.



(a)



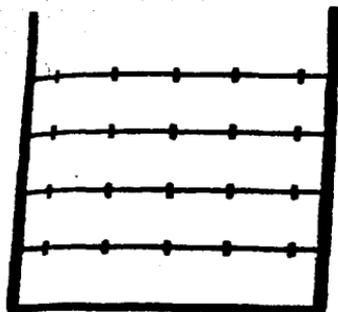
(b)



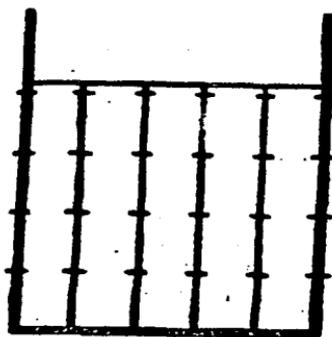
FIG. 37 (a) Espigas de latón aisladas para evitar dispersiones.

(b) Portaplanchas para colgar planchas rectangulares.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM



(a)



(b)

FIG. 38 (a) Bastidor de mallas horizontales para pequeñas piezas de forma circular. (b) Bastidor de mallas verticales para piezas reducidas de dimensiones verticales.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

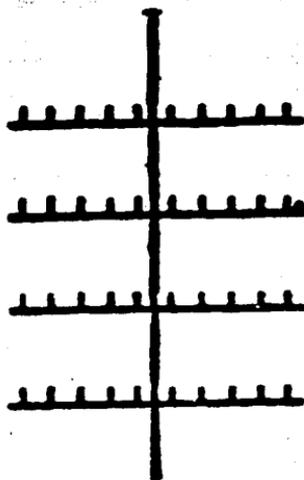


FIG. 39 Bastidor de rastro utilizado para bisutería.

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERO QUIMICO  
MARTHA E. RODRIGUEZ G.  
FESC UNAM

## Sacos anódicos o fundas.

Los ánodos insolubles se corroen dando lugar a la formación de lodos o barro, por lo que es necesario emplear sacos anódicos o fundas. Estos sacos son holgados y dentro de ellos se introduce el ánodo atándolo alrededor del gancho por arriba del ánodo y fuera de la solución. Estos se deben de colgar de 2 a 4 plg por debajo del fondo del ánodo para recibir el lodo sin aislar el extremo del ánodo. El material de construcción de estos sacos anódicos depende del tipo de baño a emplear.

## GLOSARIO

- A -

**ABRILLANTADOR (agente).** Compuesto químico, cuya adición al baño electrolítico permite dar al electrodepósito un aspecto brillante a la superficie independientemente de su aspecto previo. Agente aditivo que permite la formación de un depósito resplandeciente, mejorando la brillantes del mismo; que no se lograría sin su empleo.

**ACABADO (en el sentido de tratamiento de superficies).** Operación final de tratamiento químico, electroquímico o cualquier otro, destinado a otorgar un aspecto particular a la pieza tratada.

**ACUMULACION.** Sobrecubrimiento indeseable del depósito en esquinas u orillas durante el proceso de deposición.

**ADHERENCIA (de un depósito).** Es la propiedad de un depósito de permanecer fijo a la superficie sobre la que ha sido depositado, a pesar de los esfuerzos hechos por separarlo.

**AGENTE ADITIVO.** Compuesto químico que se agrega al baño electrolítico, que sirve para modificar el aspecto, estructura cristalina y que influye en una o varias características del electrodepósito.

**ADITIVO DE SUPERFICIE.** Sustancia química coloidal o soluble que tiene la propiedad de afectar la energía de superficie de las soluciones aún cuando su concentración es baja.

**Aditivo dispersante.** Sustancia que aumenta la estabilidad de una suspensión retardando la floculación.

**Aditivo humectante.** Sustancia que reduce la tensión de superficie de un líquido haciendo que éste se extienda con mayor facilidad sobre una superficie sólida.

**AISLANTE.** Material que no conduce la electricidad o el calor, su resistencia eléctrica es lo suficientemente grande como para ser utilizados como conductores. Los aislantes eléctricos pueden estar hechos de caucho, resina, azufre, etc; los aislantes calóricos pueden estar hechos de lana de roca, lana de vidrio, corcho expandido, poliuretano.

**ALEACION.** Material que tiene propiedades metálicas, compuesto de dos o más elementos de los cuales uno por lo menos es metal.

**AMPERE.** Unidad de intensidad de corriente eléctrica en el sistema mks; corresponde a un coulomb por segundo, deposita 0.00118 g de plata por segundo.

**AMPERIMETRO.** Aparato que sirve para medir la intensidad de una corriente eléctrica.

**ANALISIS GRAVIMETRICO.** Es un método de análisis que consiste en separar físicamente un componente de los demás elementos de una mezcla, así como del disolvente y determinar su cantidad por medio de una pesada.

**ANGULO DE REPOSO.** Es el ángulo de mayor declive en el que una acumulación de cualquier material sólido suelto se detendrá sin resbalar.

**ANION.** Ión que transporta una carga negativa y que es atraído por el ánodo en

**la electrólisis.**

**ANODO.** Electrodo positivo por donde entra la corriente eléctrica a una celda electrolítica; es el electrodo en donde ocurre la oxidación.

**ANODO INERTE.** Anodo que es insoluble en el electrolito en condiciones de operación durante la electrólisis.

**APARICION DE MANCHAS.** Defectos coloridos o pérdidas de brillo sobre las superficies recubiertas o acabadas.

**ARRASTRE EXTERNO.** Se le llama así al efecto que se produce cuando agua o solución se adhiere a los objetos extraídos del baño electrolítico.

**ARRASTRE INTERNO.** Se le llama así al efecto que se produce cuando agua o solución se adhiere a los objetos que se introducen en el baño electrolítico.

- B -

**BAÑO.** Término impropio que indica solución electrolítica.

**BAÑO MATE.** Solución electrolítica empleada para producir un recubrimiento opaco sobre un objeto.

**BARRA CONDUCTORA.** Sección conductora rígida, que sirve para conducir la corriente eléctrica a las barras catódicas y anódicas; regularmente esta hecha de cobre.

**BASE.** Material sobre el que se deposita un recubrimiento metálico.

**BOMBO.** Equipo en donde se introducen las piezas que se pretenden recubrir, y se someten a rotaciones. Existen dos tipos de bombos, los de pulir y los electrolíticos, estos últimos pueden ser sumergidos o semisumergidos.

**BRILLANTE (electrodepósito).** Calidad de un electrodepósito metálico en donde su aspecto exterior, posee un alto poder de reflexión de la luz. La superficie del recubrimiento es uniformemente resplandeciente, por la eliminación de defectos de aspecto tan débiles como sean.

**BRUÑIDO.** Alisado de superficies por medio frotando con una herramienta u objeto duro. En tambor: alisamiento y abrillantado de superficies en tambores giratorios por medio del movimiento de las piezas, en presencia objetos metálicos o de cerámica y en ausencia de abrasivo. Por bolas: alisamiento por medio de bolas metálicas u otras formas especiales en un recipiente giratorio.

- C -

**CAPA O CHAPA RECUBRIDORA.** Película delgada sobre un objeto.

**CATION.** Ión que transporta una carga positiva y es atraído por el cátodo en la electrólisis.

**CATODO.** Electrodo negativo por el cual se dice que una corriente eléctrica abandona una celda electrolítica.

**CELDA ELECTROLITICA.** Es una celda en la cual se fuerza una reacción química

para que ocurra en dirección no espontánea. Aparato diseñado para llevar a cabo una reacción electroquímica; incluye un recipiente, dos o más electrodos y uno o más electrolitos.

**CELDA GALVANICA.** Es una celda en la cual la reacción de la celda ocurre en forma espontánea liberando energía eléctrica que puede utilizarse para desarrollar un trabajo.

**CIANURO LIBRE.** Verdadero: concentración del radical de cianuro (o cianuro alcalino) no combinado en iones complejos con metales en solución. Calculado: concentración de cianuro (o cianuro alcalino) en exceso en la solución, en abundancia excesiva con la calculada como necesaria para formar un ion complejo especificado con un metal presente en la solución. Analítico: contenido de cianuro libre de una solución, determinada por un método analítico especificado. Total: contenido total de cianuro expresado como el radical  $CN^-$  o cianuro alcalino, que esta presente en forma de iones simples o complejos; es la suma de las concentraciones de los cianuros, combinado y libre, contenidos en la solución.

**CONDUCTORES ELECTRICOS.** Cuerpos que permiten el paso de la corriente eléctrica. Existen dos clases de conductores; los primeros, permiten pasar la corriente sin sufrir modificaciones químicas, éstos pueden estar hechos de metal y aleaciones metálicas; los segundos, son los ácidos, las bases, las sales fundidas o disueltas, que sufren modificaciones químicas durante el paso de la corriente, en estos la conducción esta ligada a un desplazamiento de la materia y a la descomposición química.

**CONDUCTANCIA.** Es el recíproco de la resistencia eléctrica, medida por la relación de flujo de la corriente a través de un conductor con la diferencia

entre sus extremos.

**CONDUCTIVIDAD.** Medición de la capacidad de una solución a una concentración dada de conducir una corriente eléctrica. Cantidad de corriente transferida a través de una unidad de área por unidad de gradiente de potencial por unidad de tiempo.

**CORRIENTE ANODICA.** Corriente que atraviesa uno o más ánodos.

**CORRIENTE ANODICA (densidad de medida de).** Es la cantidad de corriente que atraviesa un ánodo de una superficie de un  $\text{dm}^2$ .

**CORRIENTE CATODICA.** Corriente que atraviesa uno o más cátodos.

**CORRIENTE CATODICA (densidad de medida de).** Es la cantidad de corriente que atraviesa un cátodo de una superficie de un  $\text{dm}^2$ .

**CORRIENTE ELECTROLITICA.** Corriente que atraviesa una celda electrolítica.

**CORROSION.** Destrucción lenta de un objeto que puede dar lugar a su desintegración.

**COULOMB O CULOMB.** Es la unidad de carga eléctrica y su abreviación es C. La carga de un electrón es  $1.60 \times 10^{-19}$  C.

- D -

**DECAPAR.** Acción que tiene como fin limpiar una superficie, removiendo

óxidos u otros compuestos que la recubren, por medio de un decapador

**DECAPADOR.** Solución ácida que se emplea para remover óxidos u otros compuestos de la superficie de un metal por medio de una acción química o electroquímica.

**DENSIDAD DE CORRIENTE.** Es el cociente de dividir la intensidad de corriente  $I$  entre la sección transversal  $S$  del conductor.

**DEPOSITO.** Ver capa.

**DEPOSITO ELECTROLITICO O ELECTRODEPOSITO.** Capa producida sobre una superficie por vía electrolítica.

**DESENGRASAR.** Acción de quitar la grasa.

**DESOXIDAR.** Acción de quitar el óxido de una superficie metálica. Puede llevarse a cabo por acción química en soluciones ácidas, o por medio de soluciones electrolíticas anódicas.

**DESPOLARIZACION.** Acción que tiene por objeto eliminar el hidrógeno u otros productos de descomposición que se generan en el polo positivo.

**DETERGENTE.** Sustancia utilizada para eliminar suciedad.

**DIFERENCIA DE POTENCIAL.** Se define como el cociente de la potencia eléctrica disponible entre dos puntos de un circuito eléctrico entre la intensidad de corriente.

**DIODO.** Dispositivo electrónico de dos electrodos, ánodo y cátodo, que generalmente se utiliza como rectificador.

**DORAR.** Término empleado con el significado de cubrir con oro.

- E -

**EFICIENCIA ANODICA.** Eficiencia de corriente de un proceso anódico especificado. En un proceso electroquímico, es el producto de la eficiencia de la corriente por la eficiencia del voltaje.

**ELECTRODEPOSICION.** Es el proceso que permite que un metal se deposite sobre un electrodo por medio de electrólisis.

**ELECTRODEPOSITO.** Capa catódica producida por el paso de corriente eléctrica a través de una celda electrolítica.

**ELECTRODO.** Sustancia conductora a través de la cual entra o sale la corriente eléctrica en una celda electrolítica, en la cual los iones pierden su carga eléctrica.

**ELECTROFORMACION.** Proceso en donde deposita electrolíticamente un metal sobre un molde que es subsecuentemente separado, total o parcialmente.

**ELECTROLISIS.** Producción de cambios químicos por el paso de corriente eléctrica a través de un electrólito.

**ELECTROLITICA (limpieza).** Ver limpieza.

**ELECTROLITO.** Sustancia que cuando se disuelve en un disolvente (agua), produce un medio conductor. Esta formado por una solución acuosa de ácidos, bases o sales y puede incluir sales fundidas, gases ionizados, algunos sólidos, etc.

**ELECTROPULIDO.** Proceso por el cual se mejora el acabado de una superficie metálica, se efectúa por medio de una solución apropiada.

**ELECTRORECUBRIMIENTO.** Proceso por el cual se obtiene un depósito electrolítico metálico adherente sobre un electrodo con el propósito de proteger una superficie y proporcionarle propiedades y dimensiones diferentes a las del metal base.

**EMULSION.** Preparación química obtenida por la separación de un líquido en glóbulos microscópicos en otro líquido con el cual no puede mezclarse.

**ENJUAGUE.** Acción de enjuagar. Pasar un objeto por agua corriente.

**EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO.** Es el peso de un elemento, compuesto, radical o ion implicado en una reacción electroquímica especificada durante el paso de una unidad de electricidad como el faradio, amper-hora o coulumb.

**ESMERILADO.** Remoción de metal por medio de ruedas giratorias rígidas que contienen abrasivos.

- F -

**FARADAY, LEYES DE.** La cantidad de cambio químico producida por una

corriente eléctrica es proporcional a la cantidad de electricidad. Las cantidades de diferentes sustancias liberadas por una cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos químicos equivalentes.

FARADIO. Unidad electromagnética de capacidad eléctrica, que equivale a la capacidad de un condensador eléctrico, entre cuyas armaduras aparece una diferencia de potencial de 1 voltio cuando esta cargado de una cantidad de electricidad igual a 1 coulombio.

F.E.M. O FUERZA ELECTROMOTRIZ. Potencial eléctrico. Diferencia de potencial.

FILTRO. Dispositivo a través del cual se hace pasar un fluido para eliminar las partículas sólidas en suspensión.

FLOCULAR. Operación que describe una semiprecipitación, en donde un sólido tiene el aspecto de lana flotando en el líquido.

- G -

GALVANIZACION. Aplicación de un depósito metálico por medio de una celda electrolítica sobre una superficie de acero, metal ferroso u otro tipo de material.

GALVANOPLASTIA. Operación mediante la cual se deposita en un objeto cualquiera, que sirve de molde, una capa de un metal previamente disuelto en un líquido, haciendo pasar sobre dicha solución metálica una corriente eléctrica continua.

**GALVANOTECNIA.** Parte de la electroquímica que tiene por objeto el tratamiento de las superficies con ayuda de la corriente eléctrica continua.

**GALVANOSTEGIA.** Industria dedicada a la galvanización.

- I -

**INHIBIDOR.** Sustancia que reduce el grado de ataque de los ácidos sobre una superficie de metal.

**ION.** Atomo o grupo de átomos que llevan una carga eléctrica, debido a la pérdida o ganancia de algún electrón.

- J -

**JOULE, LEY DE.** Determina la producción de calor en un circuito eléctrico en función de su resistencia, de la intensidad y del tiempo. Se define como:

$$JQ = rI^2t$$

donde JQ es el calor en el circuito en julios, r la resistencia del circuito eléctrico en ohmios, I la intensidad de corriente que atraviesa el circuito en amperios y t el tiempo en segundos.

**JOULE O JULIOS.** Unidad de trabajo de energía o de cantidad de calor, que corresponde al trabajo de una fuerza de un newton cuyo punto material de aplicación se desplaza un metro en la dirección de la fuerza.

- L -

**LAVADO.** Limpiar con agua. o con algún otro líquido.

**LIMPIEZA.** Remoción de grasa u otra materia extraña de una superficie.  
**Alcalina:** limpieza por medio de soluciones alcalinas. **Anódica:** limpieza electrolítica en la que la pieza a limpiar es el ánodo. **Catódica:** limpieza electrolítica en la que la pieza a limpiar es el cátodo. **Electrolítica:** limpieza alcalina en la que se hace pasar una corriente a través de una solución, siendo la pieza a limpiar uno de los electrodos. **Emulsional:** limpieza por medio de soluciones que contienen disolventes orgánicos, agua y agentes emulsionantes. **Por disolvente:** limpieza por medio de disolventes orgánicos. **Por remojo:** limpieza alcalina, por inmersión sin empleo de corriente. **Ultrasónica:** limpieza que se lleva a cabo por cualquier medio químico ayudado por energía ultrasónica.

- M -

**MANCHA.** Región de un objeto de distinto color que el resto.

**MATE.** Que no tiene brillo.

**METAL (base).** Cuerpo simple, dotado de un brillo particular llamado brillo metálico, que conduce electricidad y calor; son sólidos a temperatura ambiente (15 - 20 °C) excepto el hidrógeno y el mercurio. Todos los metales son cationes.

**METALIZACION.** Aplicación de una capa metálica, eléctricamente conductora, a superficies no metálicas. Aplicación de recubrimientos metálicos por procedimientos electrolíticos.

- N -

**NIEBLA SALINA** (ensayo de). Esta prueba sirve para medir el grado de corrosión en una superficie metálica recubierta electrolíticamente. Consiste en un ataque corrosivo acelerado por medio de una niebla salina artificial de composición definida, en condiciones precisas de temperatura y presión. El grado de corrosión se aprecia, por la pérdida de masa del objeto, o por la densidad de poros por unidad de superficie, o por la superficie total de manchas, o por la comparación con escalas normalizadas.

**NODULO**. Electroformado pequeño de cobalto, de forma aglobada que sirve para aplicar la prueba de adherencia.

- O -

**OHM, LEY DE**. La intensidad de un circuito eléctrico es directamente proporcional a la fuerza electromotriz.

**OHMIO**. Unidad de resistencia eléctrica, que equivale a la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor, exento de fuerza electromotriz, cuando una diferencia de potencial de 1 voltio, aplicada entre dos puntos, produce una corriente de 1 amperio.

- P -

**PELICULA ANODICA**. Parte de la solución electrolítica que tiene contacto inmediato con el ánodo.

**PELICULA CATODICA** Parte de la solución electrolítica que tiene contacto inmediato con el cátodo.

**PICADO.** Accidentes ligeros en una superficie que tienen la forma de puntos. En las superficies metálicas tienden a liberar la corrosión.

**PICADURA.** Depresión producida en una superficie debido a un electrodepósito no uniforme o por la corrosión.

**POLARIZACION ELECTRICA.** Fenómeno por el cual las reacciones provocadas por una corriente eléctrica que atraviesa un baño electrolítico producen una fuerza electromotriz, de sentido opuesto al que genera la corriente.

**PORO.** Cavidad diminuta que se extiende a través de parte o de todo el recubrimiento.

**POROSIDAD.** Particularidad de una superficie de poseer poros. Número de poros por unidad de superficie.

**POTENCIAL DE ELECTRODO.** Diferencia de potencial entre un electrodo y un electrólito, inmediatamente adyacente, con referencia a un electrodo standard como cero.

**PROTECTOR (material).** Material aplicado a la superficie de un cátodo para protegerlo de la corrosión y del medio ambiente.

**PULIDO.** Proceso que tiene como objeto moderar o eliminar las irregularidades de una superficie obteniéndose un cierto brillo. El pulido puede ser mecánico, electrolítico o químico.

**PULIMENTACION.** Acción y efecto de pulir una cosa. Alisamiento de una superficie.

- R -

**REBAJAR.** Pulir con el propósito de quitar asperezas o irregularidades emparejando la superficie de un objeto.

**RELE.** Dispositivo, por lo general electromagnético, que utiliza una variación de intensidad en un circuito para controlar las condiciones existentes en otro.

**RECTIFICACION.** Conversión de la corriente eléctrica alterna en continua por medio de un diodo.

**RECTIFICADOR DE CORRIENTE.** Aparato eléctrico que recibe corriente alterna y suministra corriente continua por medio de diodos, que tiene la característica de permitir el paso de la corriente en un sólo sentido.

**RECUBRIMIENTO BRILLANTE.** Depósito que tiene un grado elevado de reflectancia.

**REDUCTOR, AGENTE.** Compuesto químico que provoca la reducción, oxidándose por ello.

- S -

**SAL CONDUCTORA.** Compuesto químico agregado a la solución a fin de

**aumentar su conductividad.**

**SAL DE ROUCHELLE.** Tartrato de potasio.  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

**SAPONIFICACION.** Transformación de materias grasas en jabón a causa de su descomposición por una base en sal de ácido graso y en glicerina.

**SOBREVOLTAJE.** Voltaje adicional necesario para liberar un gas en un electrodo por encima de su potencial de electrodo. La magnitud del sobrevoltaje depende de la naturaleza del electrodo y del gas que se descarga.

**SOLUCION ABRILLANTADORA.** Solución que se utiliza para producir una superficie brillante en un metal.

**SOPORTE (en galvanostegia).** Bastidor para suspender objetos y conducir la corriente eléctrica a los mismos, el proceso de electrodeposición y operaciones relacionadas.

-T-

**TENSION DE SUPERFICIE.** Propiedad debida a las fuerzas moleculares, que existe en la película superficial de todos los líquidos y que evita que se dispersen.

**TITULACION O VALORACION.** Proceso analítico para determinar la cantidad de un elemento o compuesto en una solución por medio de algún reactivo líquido que reaccione cuantitativamente con el.

**TRANSFERENCIA IONICA.** Movimiento de los iones a través del electrólito asociado con el paso de una corriente eléctrica.

**TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO.** Proceso que tiene como fin la modificación química de la superficie del metal base por medio de corriente eléctrica.

**TRIPOLI.** Roca silícea que sirve para pulimentar.

-V-

**VATIO.** Unidad de potencia equivalente a un julio por segundo.

**VOLTAJE DE BAÑO.** Voltaje total entre el ánodo y el cátodo de una celda electrolítica durante la electrólisis. Es la suma de voltaje del potencial de reacción de equilibrio, la caída de tensión y las polarizaciones del electrodo.

**VOLTIMETRO.** Aparato para medir la fuerza electromotriz y las diferencias de potencial.

**VOLTIO.** Unidad de fuerza electromotriz y de diferencia de potencial o tensión equivalente a la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un conductor recorrido por una corriente constante de 1 amperio, cuando la corriente perdida entre esos puntos es igual a un vatio.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los procesos galvanotécnicos de dorado y plateado, importantes en la industria de la joyería y relojería principalmente, mostrando las etapas de pretratamiento y electrodeposición de mayor interés comercial; así mismo se analizaron los factores que influyen en estos procesos; se indicaron las pruebas más importantes a las que se deben someter los recubrimientos obtenidos para determinar su calidad; se denotan como se controlan y analizan los baños electrolíticos y se explica cuál es el equipo y los accesorios más empleados a nivel industrial o de taller; además se utilizó un lenguaje sencillo procurando que esta información este al alcance de toda persona, considerando que puede tratarse de un obrero o artesano hasta un técnico, profesionalista o estudiante, que han trabajado en el área de la galvanotecnia de forma empírica o que desea hacerlo, adquiriendo experiencia a lo largo de los años.

Actualmente nuestro país se enfrenta a la competencia internacional con la apertura comercial, con el acceso de miles de productos extranjeros que son de materiales de mejor calidad, se contempla la necesidad que tiene la industria a gran escala como los talleres y las escuelas, en actualizar y mejorar la calidad de sus productos, en este caso, obtener un recubrimiento que lleve consigo beneficios tales como, disminuir el desgaste y deterioro prematuro, evitar la pérdida del objeto por corrosión y mantener la estética del objeto, y para ello, se le debe dar gran importancia tanto al tratamiento previo de la superficie como al análisis y control de los baños electrolíticos, puesto que estas son etapas determinantes en la calidad final del recubrimiento, y por tanto en su durabilidad, resistencia y apariencia; logrando que este manual ofrezca la información básica de los principales factores que influyen en la obtención de buenos recubrimientos de oro y plata por vía electrolítica.

## BIBLIOGRAFIA

Lesur, Luis; "Manual de recubrimientos metálicos"; Editorial Trillas; México 1995.

Benson, Sidney Willam; "Cálculos químicos"; Ed. Limusa; México 1992.

Evans, Ulick Richardson; "Corrosiones metálicas"; Editorial Reverté S. A.; España 1987.

Lowenheim, Frederick A.; "Modern Electroplating"; 3ª Edition; Editorial John Wiley & Son; N. Y. 1994.

Blum, William; "Principles of electroplating and electroforming"; Editorial McGraw-Hill; N. Y. 1984.

Hiscox, Gardner Dexter; "Gran enciclopedia práctica de recetas industriales y fórmulas domésticas"; Editorial G. Gili; México 1989.

Kirk, Raymond E.; "Enciclopedia de tecnología química"; Editorial John Wiley & Son; N. Y. 1992.

Langford, Kenneth E.; "Análisis de baños electrolíticos"; Ediciones Aguilar-Madrid

Giudici, Elrico; "Instalaciones galvanotécnicas"; Ediciones Redé; España 1965.

Silman, H.; "Acabado químico y galvanoplástico de los metales"; Editor José Montesó; España 1955.

Balaña, J.; "Iniciación a la práctica galvánica"; Tomo 1; Ediciones CEDEL; España 1970.

Comisión Ambiental Metropolitana, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial; "Concepto de manejo de residuos peligrosos e industriales para el giro de la galvanoplastia"; México 1998.

Secretaria de Comercio y Fomento Industrial; "Catalogo de Normas Mexicanas"; México 2000.

Durney, J.; "Electroplastic engineering handbook"; 4ª Edition; Editorial Van Nostrand Reinhold Co.; N. Y. 1991.

Graham, K.; "Electroplating engineering hanbook."; 3ª Editlon; Editorial Van Nostrand Reinhold Co.; N. Y. 1985.

Harris, Daniel C.; "Análisis químico cuantitativo"; Grupo Editorial Iberoamérica; México 1994.

Maron y Prutton; "Fundamentos de Fisicoquímica"; Editorial LIMUSA; México 1995

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN