

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas de mayor envergadura a nivel productivo e industrial es la corrosión; fenómeno natural que provoca el desgaste o pérdida de material de las superficies metálicas. Imposible de eliminarlo en su totalidad.

Estas pérdidas de material ocasionan anualmente costos elevados extras en las empresas, los cuales perjudican notablemente en el desempeño de las mismas. Para contrarrestar su efecto destructivo se han desarrollado una serie de procesos. Los cuales están aplicados acorde al tipo de material base (a ser protegido), al ambiente de trabajo, así tenemos: medios húmedos, marinos, salinos, etc.

La importancia de los recubrimientos electrolíticos está dada por las distintas aplicaciones en los objetos metálicos que nos rodean, es así que, si nos detenemos por un momento a mirar a nuestro alrededor, vamos a encontrar una infinidad de artículos metálicos con diferentes usos, los cuales han pasado por un proceso de recubrimiento metálico previo al uso cotidiano, ya sea con fines decorativos o de protección para el material. Estos procesos no solo mejoran la apariencia externa de los metales, sino que, también permiten prolongar el tiempo de vida útil de los mismos y así ahorran cientos de dólares anuales, además facilitan el trabajo del hombre.

Las aplicaciones de recubrimientos electrolíticos comprenden un tema muy extenso. El presente documento desarrolla los procesos para obtener recubrimientos metálicos tales como: cobreado, zincado, niquelado, cromado, los mismos que aportan conocimiento teórico – práctico para el mejor desempeño del estudiante en el manejo de la tecnología.

Los parámetros tecnológicos para los recubrimientos metálicos a desarrollar son: densidad de corriente (A/dm^2), voltaje (V), concentración de la solución, temperatura ($^{\circ}C$), pH de la solución, agitación, los mismos que varían de acuerdo al tipo de material base y al recubrimiento a obtener.

En función de la información científica vamos a rediseñar un prototipo para laboratorio, el mismo que facilitará la ejecución de los diferentes procesos electrolíticos mencionados anteriormente. El equipo consta de un rectificador de corriente, una cuba para los baños, de un calentador para la soluciones. A través de estos elementos realizaremos los recubrimientos metálicos tales como cobreado, niquelado, zincado, cromado.

A través de las experiencias obtenidas en las prácticas podremos desarrollar las técnicas para los diferentes procesos, los mismos que reafirmarán conocimientos científicos, que den la oportunidad de valorar al estudiante dichas aplicaciones.

Además generará nuevas destrezas y habilidades acorde a las necesidades de cada recubrimiento. Permitirá aplicar los recubrimientos en función de las normas vigentes de calidad, así podremos hacer una auto- evaluación del rendimiento de dichas aplicaciones.

Un aspecto importante de resaltar es la seguridad industrial que se debe manejar en la aplicación de todos y cada uno de los recubrimientos electrolíticos, por el alto riesgo para la salud del hombre. Un adecuado manejo de los insumos necesarios para los mismos, así preservaremos el talento humano y las instalaciones donde se opera.

A pesar de todos los beneficios que pueden traer consigo los recubrimientos metálicos, hay un punto de gran importancia que suele omitirse, y es el grado de contaminación o perjuicio que causan al medio ambiente los residuos químicos e inorgánicos, producto de los procesos; por ello es de suma importancia generar una conciencia ciudadana para el tratamiento de aguas antes de su desecho.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

1.1 ELECTROQUÍMICA

Es el estudio de las reacciones químicas que producen efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes.

1.2 CORRIENTE ELÉCTRICA

Si dos cuerpos de carga igual y opuesta se conectan por medio de un conductor metálico, por ejemplo un cable, las cargas se neutralizan mutuamente. Esta neutralización se lleva a cabo mediante un flujo de electrones a través del conductor, desde el cuerpo cargado negativamente al cargado positivamente (en ingeniería eléctrica, se considera por convención que la corriente fluye en sentido opuesto, es decir, de la carga positiva a la negativa). En cualquier sistema continuo de conductores, los electrones fluyen desde el punto de menor potencial hasta el punto de mayor potencial. Un sistema de esa clase se denomina circuito eléctrico. La corriente que circula por un circuito se denomina corriente continua (c.c.) si fluye siempre en el mismo sentido y corriente alterna (c.a.) si fluye alternativamente en uno u otro sentido.

El flujo de una corriente continua está determinado por tres magnitudes relacionadas entre sí. La primera es la diferencia de potencial en el circuito, que en ocasiones se denomina fuerza electromotriz (fem), tensión o voltaje. La segunda es la intensidad de corriente. Esta magnitud se mide en amperios; 1 amperio corresponde al paso de unos 6.250.000.000.000.000 electrones por segundo por una sección determinada del circuito. La tercera magnitud es la resistencia del circuito. Normalmente, todas las sustancias, tanto conductores como aislantes, ofrecen cierta oposición al flujo de una corriente eléctrica, y esta resistencia limita la corriente. La unidad empleada para cuantificar la resistencia es el ohmio (Ω), que se define como la resistencia que limita el flujo de corriente a 1 amperio en un circuito con una fem de 1 voltio. La ley de Ohm, permite relacionar la intensidad con la fuerza electromotriz. Se expresa mediante la ecuación:

$$V = I \times R$$

V = fuerza electromotriz voltios (V)

I = intensidad de corriente amperios por decímetro cuadrado (A/dm^2)

R = resistencia ohmios (Ω)

A partir de esta ecuación puede calcularse cualquiera de las tres magnitudes en un circuito dado si se conocen las otras dos.

Cuando una corriente eléctrica fluye por un cable pueden observarse dos efectos importantes: la temperatura del cable aumenta y un imán o brújula colocada cerca del cable se desvía, apuntando en dirección perpendicular al cable. Al circular la corriente, los electrones que la componen colisionan con los átomos del conductor y ceden energía, que aparece en forma de calor. La cantidad de energía desprendida en un circuito eléctrico se mide en julios. La potencia consumida se mide en vatios; 1 vatio equivale a 1 julio por segundo (J/s). La potencia P consumida por un circuito determinado puede calcularse a partir de la expresión $P = V \times I$, o la que se obtiene al aplicar a ésta la ley de Ohm: $P = I^2 \times R$. También se consume potencia en la producción de trabajo mecánico, en la emisión de radiación electromagnética como luz u ondas de radio y en la descomposición química.

1.3 MEDIDAS ELÉCTRICAS

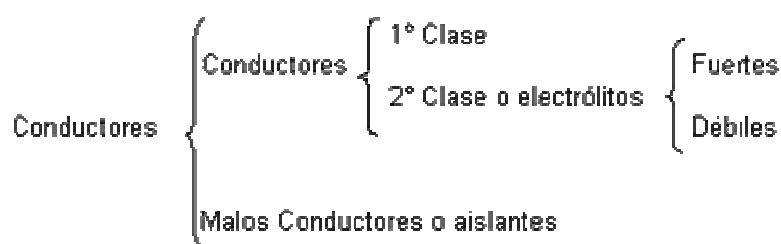
El flujo de carga, o intensidad de corriente, que recorre un cable conductor se mide por el número de culombios que pasan en un segundo por una sección determinada del cable. Un culombio por segundo equivale a 1 amperio. (C/s = 1A)

Cuando una carga de 1 culombio (C) se desplaza a través de una diferencia de potencial de 1 voltio, el trabajo realizado equivale a 1 julio. Una unidad de energía muy usada en física atómica es el electronvoltio (eV). Corresponde a la energía adquirida por un electrón acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio. Esta unidad es muy pequeña y muchas veces se multiplica por un millón o mil millones, abreviándose el resultado como 1 MeV o 1 GeV.

1.4 CONDUCTORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Cualquier material que ofrezca poca resistencia al flujo de electricidad se denomina conductor eléctrico, como las disoluciones de la mayoría de los ácidos inorgánicos, bases y sales son buenos conductores de la electricidad y todo material que impida el paso de la corriente eléctrica es denominado mal conductor o *aislador eléctrico*, como las disoluciones de azúcar, alcohol, glicerina y muchas otras sustancias orgánicas. La diferencia entre un conductor y un aislante, es de grado mas que de tipo, ya que todas las sustancias conducen electricidad en mayor o en menor medida. Un buen conductor de electricidad, como la plata o el cobre, puede tener una conductividad mil millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica. En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

En función de los conceptos anteriormente expuestos, los conductores se clasifican en:



a) Conductores de Primera Clase: Son aquellos que permiten fluir la electricidad sin sufrir alteración, a este grupo pertenecen los metales.

b) Conductores de Segunda Clase o Electrolitos: Estos se ionizan y entonces conducen la corriente eléctrica, como las soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, así también las sales fundidas. Los electrolitos se clasifican a su vez en:

I) Fuertes: Los electrolitos que proporcionan disoluciones altamente conductoras se llaman **electrolitos fuertes** (como el ácido nítrico o el cloruro de sodio).

II) Débiles: Los que producen disoluciones de baja conductividad reciben el nombre de **electrolitos débiles** como el cloruro mercurioso (HgCl_2) o el ácido etanoico ($\text{CH}_3\text{-COOH}$).

1.5 ELECTROLITOS

Los ácidos, bases y sales sólidas son malos conductores de la electricidad, pero cuando cualquiera de estas sustancias se disuelve en agua, la solución resultante es conductora.

Cuando una de estas sustancias se disuelve en agua (o se funde) se disocian en partículas con carga eléctrica (positiva o negativa) llamadas iones y a la disociación en iones se la denomina ionización. Así un ión se define como átomo o grupo de átomos con carga eléctrica. Un átomo que pierde un electrón forma un ión de carga positiva, llamado catión; un átomo que gana un electrón forma un ión de carga negativa, llamado anión.

Cualquier sustancia que produce iones en solución es un electrolito. Las sales son iónicas aún en estado sólido, pero cuando se disuelven o se funden, los iones se separan y adquieren libertad de movimiento. La conducción electrolítica se debe a la movilidad iónica en estado líquido.

Solución: Mezcla, unión de dos o más sustancias que forman un sistema homogéneo.

Solvente: Sustancia que se presenta en menor concentración en una solución.

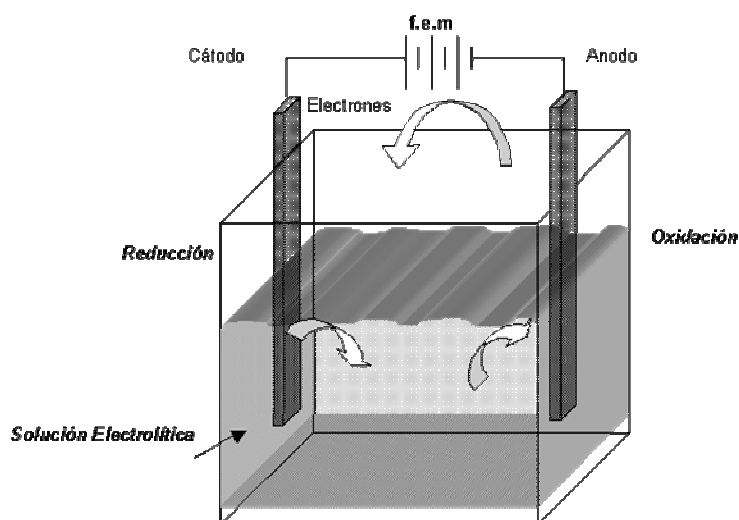
Soluto: Sustancia que se presenta en mayor cantidad en una solución.

Solución Acuosa Iónica o Electrolítica: Facilitan la conducción de corriente.

1.6 ELECTRÓLISIS

Proceso electroquímico, consiste en hacer pasar corriente continua a través de una solución de un ácido, de una base o una sal; a través de esta, se produce una descomposición química de dicha solución.

Fig. A. Proceso de Electrólisis



Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q11b01/lbq1_16a_Electrolisis.html

Los polos sumergidos de entrada y salida de la corriente en un baño constituyen los electrodos. El electrodo de entrada de corriente (positivo) se denomina ánodo y el de salida (negativo) se denomina cátodo; los productos de la descomposición llamados iones, se sitúan sobre los electrodos, dirigiéndose los aniones (iones negativos) al ánodo y los cationes (iones positivos) al cátodo. Los aniones están constituidos por un grupo de átomos llamado radical y los cationes por un metal o por hidrógeno. Ejemplos de Descomposición:

<i>Ácidos</i>	<i>Ánodo</i>	<i>Cátodo</i>
Ácido Clorhídrico	Cl^-	H^+
Ácido Sulfúrico	SO_4^-	2H^+

Bases

Potasa Cáustica KOH	OH^-	K^+
Sosa Cáustica NaOH	OH^-	Na^+

Sales

Sulfato de Cobre SO_4Cu	SO_4^{-2}	Cu^{++}
Sulfato de Níquel SO_4Ni	SO_4^{-2}	Ni^{++}
Cloruro de Sodio NaCl	Cl^-	Na^+

Los productos obtenidos a través de la electrólisis resultan diferentes según el ánodo, sea o no atacable, Para la electrólisis del sulfato de cobre, (depositándose el cobre sobre el cátodo y el radical SO_4 yéndose hacia el ánodo) si el ánodo es atacable (es decir, si es por ejemplo, de cobre), se forma nueva cantidad de sulfato de cobre que realimenta la solución y compensa la pérdida de cobre por el depósito sobre el cátodo. Por el contrario, si el ánodo no es atacable (de platino o de carbono, por ejemplo), el SO_4^{-2} se combina con el agua y el electrolito para regenerar ácido sulfúrico con desprendimiento de oxígeno. El electrolito se empobrece en sulfato de cobre y la acidez aumenta. Un ánodo puede también resultar inatacable debido a fenómenos de pasividad. Por ejemplo, sucede a menudo en los baños de niquelado que los ánodos de níquel electrolítico no son atacados o lo son defectuosamente. En estas últimas condiciones la solución se empobrece en níquel y la acidez aumenta.

Entre los fenómenos que influyen sobre la electrólisis, en función de la importancia, tenemos en primer lugar la polarización; para ello se necesita conocer que existe una diferencia de potencial entre un metal y una solución de una de sus sales en la que haya sido sumergido. Bajo estas condiciones, algunos metales muestran mayor tendencia que otros, a formar parte de la solución. Por ejemplo el cobre (Cu) que es positivo, no pasa a la solución, mientras tanto el zinc (Zn) que es negativo si lo hace.

Los metales presentan mayor o menor tendencia a formar parte de la solución, existe una clasificación de acuerdo a la fuerza electromotriz correspondiente a cada uno de ellos, estando sumergidos en una de sus sales (cloruro o sulfato), refiriéndose los resultados *al electrodo de hidrógeno* cuya fuerza electromotriz se ha considerado nula. *Tabla 1.1.*

Tabla 1.1. Fuerza Electromotriz

Metal	Voltios
Oro	+1,36
Platino	+0,90
Plata	+0,80
Mercurio	+0,79
Cobre	+0,34
Hidrógeno	0
Plomo	-0,13
Estaño	-0,14
Níquel	-0,23
Cadmio	-0,4
Hierro	-0,44
Zinc	-0,76
Aluminio	-1,33
Magnesio	-1,55

Fuente: Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos. Pág. 20

De esta tabla podemos indicar por ejemplo, el zinc y el hierro sumergidos en una solución de sulfato de cobre desplazarán a este último de la solución, serán por otra parte más fáciles de disolver, actuando como ánodos, el zinc o el hierro que el cobre o la plata. Un ejemplo representativo del fenómeno de polarización es el caso del sulfato de cobre.

En la electrólisis de esta sal, la región anódica se enriquece en iones cobre mientras que por el contrario la región catódica se empobrece en dicho metal, resultando, en consecuencia, más difícil la electrólisis.

La polarización se manifiesta a través de una tensión o fuerza electromotriz suplementaria que hay que vencer para que la electrólisis siga su curso normal, lo que conduce a elevar el potencial electrolítico o fuerza electromotriz. La polarización se atenúa por los fenómenos de difusión de una u otra zona, de emigración de los iones, 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 suficiente para vencer la resistencia óhmica del baño, para garantizar la descarga de los iones sobre el ánodo y el cátodo y para vencer la polarización.

1.7 LEYES DE FARADAY

Para poder comprender las leyes de Faraday, es necesario tener presente los siguientes conceptos:

- La cantidad de electrones (electricidad) que circulan por un conductor se mide en *Culombios*.
- La intensidad de la corriente (caudal de electrones) expresa la cantidad de electricidad que circula por un conductor por unidad de tiempo. La intensidad de la corriente se mide en Amperios.
- Cuando los electrones circulan por un conductor, se presenta una resistencia al flujo de corriente y se produce una caída de potencial. La resistencia eléctrica se mide en *Ohms*, y la diferencia de potencial en *Voltios*.

Las leyes de Faraday expresan a la electrólisis de modo cuantitativo, así tenemos:

1.7.1 PRIMERA LEY

La masa de un elemento depositada en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la solución del electrolito o del electrolito fundido.

$$m = eq \times I \times t.$$

$m = masa$

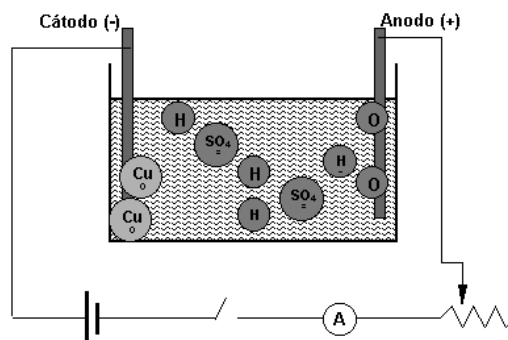
$eq = Equivalente electroquímico es una constante que depende del catión$

$I =$ intensidad de corriente

$t =$ tiempo

En la electrólisis de una solución de sulfato cúprico (CuSO_4) sucede lo siguiente:

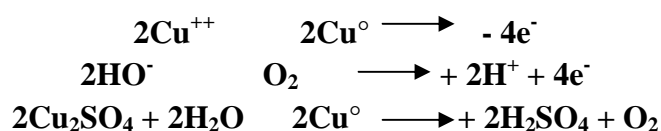
Fig. B. Electrólisis de Sulfato Cúprico



Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q1ap03/apq1_16a_Electrolisis.html



Al aplicar una diferencia de potencial a los electrodos, el ión cobre se mueve hacia el cátodo, adquiere dos electrones y se deposita en el electrodo como elemento cobre. El ión sulfato, al descargarse en el electrodo positivo, es inestable y se combina con el agua de la disolución formando ácido sulfúrico y oxígeno.



Cuando circula más corriente (más culombios) más cobre se deposita, pues más electrones han circulado permitiendo que más iones cobre (Cu^{++}) se conviertan en elemento cobre (Cu°).

1.7.2 SEGUNDA LEY

Las masas de elementos que se depositan en los electrodos son proporcionales a los equivalentes químicos.

Recordemos que el equivalente químico de un elemento es el cociente entre el peso atómico gramado de ese elemento y su valencia.

$$eq = A / V$$

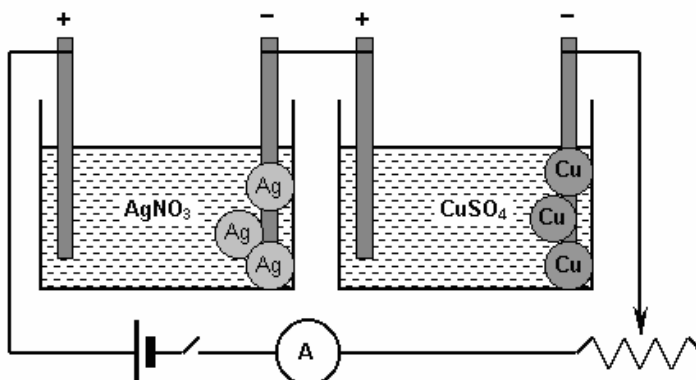
$eq =$ Equivalente Electroquímico

$A =$ Peso atómico

$V = \text{Valencia}$

Para probar esta segunda ley se hace pasar la misma cantidad de electricidad a través de varias cubas con diferentes soluciones salinas, como indica la Fig. D. Midiendo la cantidad de plata y de cobre depositados en el cátodo se llega a la comprobación de la ley:

Fig. C. Plata y Cobre Depositados en el Cátodo



Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q1ap03/apq1_16a_Electrolisis.html

m_{Ag^+} : Masa de la plata

$m_{\text{Cu}^{++}}$: Masa del cobre

eq_{Ag} = Equivalente electroquímico de la plata

eq_{Cu} = Equivalente electroquímico del cobre

$$m_{\text{Ag}^+} / m_{\text{Cu}^{++}} = \frac{eq_{\text{Ag}}}{eq_{\text{Cu}}}$$

$$m_{\text{Ag}^+} / m_{\text{Cu}^{++}} = \frac{107.8}{31.75}$$

Así tenemos que las masas de plata y de cobre depositadas en los electrodos se hallan en relación de: $\frac{107.8}{31.75}$

1.7.3 NUMERO DE FARADAY

Para depositar el equivalente químico de cualquier elemento se necesita la misma cantidad de electricidad. La constante o número de Faraday (F) es de 96500 culombios (96494).

Por ejemplo, para depositar: 1,008 g de H^+ , 107,8 g de Ag^+ , 31.75 g de Cu^{++} o 63.5 g de Cu^+ son necesarios 96500 culombios.

Se debe aclarar que: 96500 culombio = carga de $6,02 \cdot 10^{23}$ electrones, de lo que se deduce que la carga de un electrón es $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombios.

1.8 PESO DEL METAL DEPOSITADO DURANTE LA ELECTRÓLISIS

El peso del metal depositado durante el proceso de electrólisis está en función de:

- Tipo de material (equivalente electroquímico)
- Intensidad de corriente que atraviesa el electrolito
- Tiempo de duración del proceso de electrólisis

La combinación de estas tres variables se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$P = eq \times I \times t$$

P = Peso del metal depositado (mg)

eq = Equivalente electroquímico

I = Intensidad de corriente (A/dm²)

t = Tiempo (s)

1.9 EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO

El equivalente químico de una sustancia es el peso de la misma sustancia en miligramos (mg) que se deposita sobre la superficie del metal durante el proceso de electrólisis, está en función de la cantidad de electricidad y del tiempo.

En todos los casos, la cantidad de material que se deposita en cada electrodo al pasar la corriente por un electrolito sigue las leyes de Faraday. Todos los cambios químicos implican una reagrupación o reajuste de los electrones en las sustancias que reaccionan; por eso puede decirse que dichos cambios son de carácter eléctrico. Para producir corriente eléctrica a partir de una reacción química, es necesario tener un oxidante, es decir, una sustancia que gane electrones fácilmente, y un reductor, sustancia que pierda electrones fácilmente.

1.10 RENDIMIENTO ELECTROLÍTICO

Se define como rendimiento electrolítico el peso del metal efectivamente depositado sobre el cátodo en relación al peso teórico que resulta por aplicación de las Leyes de Faraday. Este rendimiento varía frecuentemente. Para el cromo por ejemplo el rendimiento no excede del 15%. Muy a menudo, sin embargo el rendimiento es del orden de un 90% o mayor. La tabla que se presenta en el *anexo 1.1* proporciona las indicaciones necesarias para los espesores depositados. Puede también distinguirse el rendimiento anódico, o sea, la relación entre el peso de metal efectivamente utilizado en la electrólisis y el peso total introducido como ánodo.

1.11 VARIABLES QUE DETERMINAN LAS APLICACIONES ELECTROLÍTICAS

1.11.1 Densidad de Corriente

La densidad de corriente, se expresa en amperios por decímetros cuadrados (A/dm^2), esta regula el espesor de la capa electrolítica. Es aconsejable utilizar densidades de corriente bastante elevadas siempre que esto sea posible; por otra parte se debe tener en consideración que la densidad de corriente influye sobre el tamaño del grano del metal depositado. De modo general, el aumento de la densidad afina el grano hasta cierto límite, puesto que los amperajes demasiado elevados implican el riesgo de obtener capas quemadas, es decir, sin regularidad. Es importante recordar que la densidad de corriente admisible varía con las condiciones del baño. Por ejemplo, en un baño de niquelado frío (a temperatura ambiente) no es posible pasar de un amperio por decímetro cuadrado ($1A/dm^2$), mientras que en un baño caliente se puede alcanzar una densidad de corriente varias veces mayor. *Anexo 1.2.*

1.11.2 Concentración

De manera general, el aumento en la concentración de las sales en solución, que constituyen el electrolito, permite elevar la densidad de la corriente, más aún si este aumento se acompaña de la elevación de la temperatura y agitación; por ejemplo en una solución de sulfato de cobre diluido no se puede pasar de la densidad de ($1A/dm^2$), mientras tanto en una solución concentrada con agitación del baño se puede alcanzar de 20 a 25 A/dm^2 . Además se debe tener en cuenta que el aumento, hasta cierto límite, de la concentración incrementa la conductibilidad de los baños.

1.11.3 Composición de los Baños

Un electrolito está formado por la sal del metal a depositar y diversas sustancias, en mayor o menor grado; la adición de estos tiene como objeto aportar mejoras; por ejemplo: aumentar la conductibilidad de la solución, afinar el grano del metal depositado, facilitar la corrosión de los ánodos, etc. Se ha comprobado que los cuerpos que presentan una fuerte disociación electrolítica (que forman gran cantidad de iones o electrones con carga) aumentan la conductibilidad, así tenemos por ejemplo el ácido clorhídrico HCl, ácido sulfúrico H_2SO_4 , etc. por el contrario, los cuerpos débilmente disociados, como el ácido bórico o acético, etc. disminuyen la conductibilidad. Pueden agregarse al electrolito, cuerpos como el sulfato sódico, que hace escasear el número de iones metálicos que llegan al cátodo en un momento dado. Los cloruros, como el cloruro de sodio, el amónico, etc., liberan cloro, que se dirige al ánodo, estos facilitan el ataque del mismo. En el *anexo 1.1* se registra la resistencia específica de las soluciones de diferentes cuerpos en función de su concentración, lo que permite localizar los cuerpos que más influyen sobre el aumento de la conductibilidad de los baños. El *anexo 1.3* indica la resistividad de algunas soluciones a 25° de temperatura.

La conductibilidad de los baños es directamente proporcional al poder de penetración de los mismos. “La inicial N indica una solución normal, es decir la que contiene una valencia-gramo por litro”. Anexo 1.3.

1.11.4 Acidez Concentración en Iones Hidrógeno

El pH es la cantidad de iones hidrógeno activos en una solución ácida, es un concepto que se debe tener claro por su importancia. Un ácido puede encontrarse más o menos disociado, por ejemplo el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico, se disocian fuertemente, mientras que el ácido bórico y el acético se disocian débilmente. El exceso de iones hidrógeno da malos resultados en diversas aplicaciones electrolíticas como las del níquel y del zinc, en estos casos el pH debe ser supervisado.

La *tabla 1.2* expresa la graduación de los pH usualmente utilizados. El pH 7 presenta el punto neutro (agua pura). A partir de 7 la solución se hace cada vez más alcalina y mientras que va regresando del 7 al 1 se hace más ácida.

Tabla 1.2. Valores de pH

I Concentración en Iones Hidrógeno	II	pH
0,1	10^{-1}	1
0,01	10^{-2}	2
0,001	10^{-3}	3
0,000 1	10^{-4}	4
0,000 01	10^{-5}	5
0,000 001	10^{-6}	6
0,000 000 1	10^{-7}	7
0,000 000 01	10^{-8}	8
.....
0,000 000 000 001		12

Fuente: Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos. Pág. 28

Las concentraciones de hidrógeno indicadas en la columna I tienen como referencia a la concentración normal (1 g. de hidrógeno en un litro de agua) y pueden ser representadas por potencias de 10, regidas por exponentes negativos, según la columna II.

Para simplificarlos, ha sido tomado como valor de pH el del exponente de dicha potencia. Es así como 0.001 que representa la milésima parte de la concentración normal en hidrógeno (1g/litro), corresponde al pH 3.

1.11.5 TEMPERATURA

La temperatura aumenta la conductibilidad del electrolito y la solubilidad de las sales que intervienen en la composición del mismo, a partir de allí se puede

obtener concentraciones más elevadas y, por consiguiente de intensidades de corriente más fuertes. Algunos baños de niquelado, concentrados en sulfato, actúan a temperaturas del orden de 50° C. De modo general la temperatura de un baño tiene gran importancia, para los baños actuando en frío no debe descender a los 15° C.

1.11.6 AGITACIÓN

La agitación es de gran importancia, pues impide el empobrecimiento de iones metálicos de la zona catódica, también restringe, en mayor o menor medida, la adherencia de burbujas gaseosas sobre el cátodo, provocando picaduras en las superficies. Pese a los beneficios de la agitación, esta pone en suspensión las impurezas del baño, las cuales hacen que el recubrimiento resulte rugoso o incluso picado; para evitar estas dificultades se procede a filtrar las soluciones agitadas.

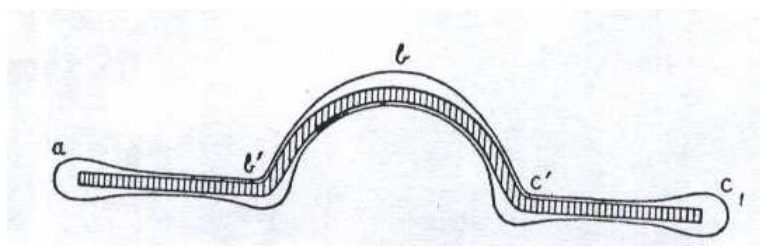
1.11.7 PODER DE PENETRACIÓN

Se conoce como poder de penetración a la propiedad de un electrolito para repartir con regularidad la capa metálica depositada sobre las superficies de un objeto de formas complejas, sobre las partes convexas (en relieve) y en las aristas, las cuales reciben siempre más densidad de corriente que las partes cóncavas. Ejemplo:

El poder de penetración es bueno, si el espesor depositado sobre las aristas y las partes salientes (a, b, c), es prácticamente el mismo o poco diferente del espesor depositado en b' y c', es decir en las zonas cóncavas.

Con frecuencia los recubrimientos distribuyen su espesor en la forma indicada en la fig. A, si se emplean electrolitos de poco poder de concentración y pueden registrarse grandes diferencias de espesor entre a, b, c, y b', c'. Este puede ser, por ejemplo, de 5 a 6 centésimas.

Fig. D. Distribución del Espesor en un Recubrimiento



Fuente: *Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos*. Pág. 30.

1.12 PROCESOS ELECTROLÍTICOS

1.12.1 Galvanoplastia: Proceso mediante el cual se reproduce piezas. Para lograrlo se sustituye el cátodo por molde recubierto con plombagina para hacerlo

conductor y establecer contacto con el baño. Los iones cargados con la sustancia metálica se dirigen al cátodo depositando el metal en el molde, hasta llenarlo y formar la pieza deseada.

1.12.2 Galvanotécnia: Proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base generalmente metálica. Los objetos se galvanizan para evitar la corrosión, para obtener una superficie dura o un acabado atractivo, para purificar metales (como en la refinación electrolítica del cobre), para separar metales para el análisis cuantitativo o como es el caso de la electrotipia, para reproducir un molde. Los metales que se utilizan normalmente en galvanotécnia son: cadmio, cromo, cobre, oro, níquel, plata y estaño. Las cuberterías plateadas, los accesorios cromados de automóvil y los recipientes de comida estañados son productos típicos de galvanotécnia.

En este proceso, el objeto que va a ser cubierto se coloca en una disolución (baño) de una sal del metal recubridor, y se conecta a un terminal negativo de una fuente de electricidad externa. Otro conductor, compuesto a menudo por el metal recubridor, se conecta al terminal positivo de la fuente de electricidad. Para el proceso es necesaria una corriente continua de bajo voltaje, normalmente de 1 a 6 V. Cuando se pasa la corriente a través de la disolución, los átomos del metal recubridor se depositan en el cátodo o electrodo negativo. Esos átomos son sustituidos en el baño por los del ánodo (electrodo positivo), si está compuesto por el mismo metal, como es el caso del cobre y la plata. Si no es así, se sustituyen añadiendo al baño periódicamente la sal correspondiente, como ocurre con el oro y el cromo. En cualquier caso, se mantiene un equilibrio entre el metal que sale y el metal que entra en la disolución hasta que el objeto está galvanizado. Los materiales no conductores pueden ser galvanizados si se cubren antes con un material conductor como el grafito. La cera o los diseños de plástico para la electrotipia, y las matrices de los discos fonográficos se recubren de esta manera.

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

1.12.3 Electrometalurgia: Proceso con el que se obtienen metales con una pureza elevada, como cobre, aluminio, plomo, etc.

1.12.4 Purificación de Metales: En electricidad es de amplio uso el cobre para conductores, purificado mediante electrólisis al que se llama cobre electrolítico.

1.13 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE

1.13.1 *Lubricación:*

Es un factor de contribución importante para la resistencia al desgaste, sobre todo en desgaste adhesivo.

En lubricación de película gruesa, una película de lubricación suficientemente gruesa elimina por completo el contacto metálico, y el desgaste metálico se reduce a una cantidad despreciable, sin embargo, ésta es la condición ideal y se da con más frecuencia la lubricación límite. Esta es la condición de contacto metálico intermitente que ocurre cuando la película de aceite no puede mantenerse continuamente. En condiciones límite el desgaste depende de la velocidad, de la presión, de la naturaleza de las superficies de apareamiento y de la eficiencia de la película residual de aceite, sin embargo, en varios casos la lubricación no es práctica, o no se necesita como en el sistema de frenos.

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

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

Muchos métodos son empleados para minimizar el peligro de adhesión. Uno de ellos es emplear capas delgadas de material duro de revestimiento. La utilización de por lo menos de un metal que forme una clase de película de lubricación o un revestimiento delgado, de óxido, sulfuro o fosforo estrechamente adherible suele ser útil.

El óxido de aluminio es bastante efectivo para evitar la soldadura. Para piezas que funcionan bajo presiones tan altas que la deformación elástica permite contacto íntimo, el mejor método preventivo es un lubricante que se convine a la superficie del metal a fin de formar un producto de corrosión de suficiente resistencia para mantener las superficies separadas. El uso de materiales de límite elástico alto minimizará la adherencia debido al contacto íntimo producido por deformación plástica.

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

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

1.14. MÉTODOS DE RESISTENCIA AL DESGASTE

El desgaste se presenta como un fenómeno nada sencillo, la resistencia al desgaste está representada por menor cantidad de pruebas estandarizadas que como en otras propiedades de la Ingeniería. Una prueba universal de desgaste no es factible, por tal motivo el equipo para ensayos de desgaste debe simular las condiciones reales de trabajo. Estas pruebas deben poder ser reproducidas, clasificar los diferentes tipos de materiales y sobre todo hacerse válidas por correlación con los datos de servicio.

Actualmente existen disponibles muchos materiales y métodos para la lucha contra el desgaste. La selección de un material y proceso específicos requiere un análisis concienzudo de las condiciones reales de servicio, un conocimiento de la aplicabilidad, limitaciones del material, procesos particulares, y datos referentes al costo implicado.

En la actualidad existen varias técnicas para proporcionar protección a la superficie contra el deterioro, entre ellas tenemos: Electrodeposición, anodizado, difusión, rociado metálico (metalizado), revestimiento con una capa de metal dura resistente a la abrasión, tratamiento térmico selectivo, etc. Técnicas que más adelante se ampliarán de acuerdo al tema que nos atañe.

1.15 TIPOS DE DESGASTE

La calidad de los productos metálicos en su gran mayoría depende de la condición de sus superficies y del deterioro de las mismas debido al uso. Este factor es determinante en el tiempo de vida útil de los productos y de los costos que esto implica, anualmente se gastan millones de dólares en investigaciones que prolonguen el tiempo de vida útil de elementos metálicos.

El desgaste puede definirse como el deterioro progresivo, no intencional de las superficies, como resultado del uso de las mismas y del medio ambiente al que se encuentran expuestas.

1.15.1 DESGASTE MECÁNICO

El desplazamiento y la separación de las partículas metálica, se produce por contacto y puede ser:

<i>Desgaste Mecánico</i>	}	Fricción
		Abrasión (Un abrasivo metálico o uno no metálico)
		Erosión (Líquidos o gases en movimiento)

Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones, incluyendo ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas que se acoplan, lubricante, temperatura, dureza, terminado de la superficie, presencia de partículas extrañas, y composición y compatibilidad de las piezas de acoplamiento implicadas.

1.15.1.1 FRICCIÓN

Este tipo de desgaste puede presentarse por fricción rodante o por fricción deslizante y, además, de acuerdo a si puede utilizar o no la lubricación.

El desgaste que implica una sola forma es muy raro, por lo general se presenta una combinación de las formas de desgaste adhesivo y abrasivo. Como en la mayoría de las aplicaciones mecánicas el desgaste rara vez puede evitarse por completo aún con la menor lubricación, es práctica común utilizar un metal duro y uno relativamente suave en forma conjunta. El material más suave se emplea (como en un cojinete) para la pieza más económica de reemplazar.

1.15.1.2 ABRASIÓN

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, o cuando una superficie dura se frota a través de otra. Las partículas desgastadas por rozamiento del objeto más duro tienden a rasguñar o acanalar el material más suave. Estas partículas duras también pueden penetrar al metal más suave y producir la violenta separación de las partículas metálicas. Un claro ejemplo del daño ocasionado por dichas partículas de suciedad con salientes agudas pueden atravesar la película lubricante cortando y rasguñando la superficie más suave en contacto.

La facilidad que presenta el metal deformado para arrancarse violentamente depende de la tenacidad, por lo tanto la dureza y tenacidad son propiedades que influyen en el desgaste adhesivo, también determinan el desgaste abrasivo. De estos dos factores la dureza es probablemente la más importante.

1.15.1.3 EROSIÓN

Conocido como desgaste adhesivo, prendimiento o ludimiento de las superficies, pequenísimas salientes producen fricción por interferencia mecánica, con movimiento relativo de las superficies en contacto que incrementan la resistencia para movimiento posterior.

Si la fuerza de impulso es suficiente para mantener el movimiento, las partículas interlazadas se deforman. Si son de un material frágil, pueden arrancarse de lo cual se llega a la conclusión que la resistencia al desgaste se mejorará evitando el contacto metal a metal e incrementando la dureza de las superficies en contacto para resistir el mellado inicial, aumentando la tenacidad para resistir la separación violenta de las partículas mecánicas, e incrementando la uniformidad de la superficie para eliminar las salientes.

1.15.2 DESGASTE QUÍMICO

El desgaste químico se origina esencialmente por reacciones de naturaleza química como su nombre lo indica, donde se presenta la pérdida progresiva de material de las superficies hasta alcanzar las partes más íntimas, en algunos casos, de las piezas, destruyendo por completo al material. Las dos formas de desgaste químico se conocen como: Corrosión y Oxidación.

1.15.2.1 OXIDACIÓN

Su nombre proviene del oxígeno, por ser este quien se combina para formar los óxidos metálicos. Aquí cabe hacer una clara diferenciación, se denomina oxidación cuando el oxígeno se combina con los metales en seco (*Anexo 1*), es decir, sin la presencia del agua, por lo general el metal se combina con el oxígeno del aire. A temperatura ambiente este proceso carece de importancia, ya que las capas de óxido formado tienen un espesor aproximado de una cienmilésima de milímetro.

En algunos casos la capa de óxido que se forma se adhiere fuertemente a la superficie impidiendo el ingreso de nuevo oxígeno y con ello detiene la oxidación a niveles más internos de los metales. Este proceso se torna de cuidado cuando se produce un incremento de la temperatura (*Anexo 2*), ya que los metales se vuelven más activos y se combinan con mayor facilidad con el oxígeno, además la capa de óxido formada a nivel superficial ya no protege del ingreso de nuevo oxígeno que continúe con la oxidación, pues esta capa se resquebraja y se tiene la consiguiente pérdida de material. Existen metales cuyos óxidos son muy protectores como el aluminio (Al_2O_3), este proceso se denomina anodizado, el cobre; y otros como el hierro cuyo óxido se forma más lentamente que el del aluminio y no tiene el carácter de protección y es por eso que los aceros y en general los materiales ferrosos están sujetos a oxidación y corrosión.

Como una alternativa para contrarrestar los problemas y gastos que implica la destrucción de los metales por causa de la oxidación se utilizan materiales

resistentes a elevadas temperaturas, así se tiene las aleaciones, que abaratan costos, por ejemplo, los aceros inoxidable (*Anexo 3*) 18/8 que están formados por un 18% de cromo, 8% de níquel y el restante de hierro; actualmente existen un sin número de alternativas en el mercado que tratan de apalea los millonarios gastos que anualmente originan los problemas de oxidación.

1.15.2.2 CORROSIÓN

Para algunos autores, la corrosión se define como oxidación en presencia de agua, O sea cuando el metal entra en contacto químico y electroquímico con el medio ambiente, su superficie se destruye. El fenómeno de corrosión puede ser definido también como el deterioro de los materiales, a causa de alguna reacción con el medio ambiente en que se encuentra expuesto. Este proceso no siempre involucra un cambio de peso o un deterioro visible, ya que muchas formas de corrosión se manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia. Para las aleaciones metálicas y particularmente el del acero el más ampliamente difundido por su aplicación; en estos casos la corrosión se debe detallar con mayor precisión, basándose en la estructura atómica del material.

La mayor parte de los metales se encuentran en estado natural, formando minerales ya sea como óxidos o metales. El mineral común de hierro se asemeja a la herrumbre, este es convertido a hierro metálico mediante el empleo de energía y esta misma energía es la que se libera cuando el hierro se convierte en herrumbre debido a al corrosión en efecto, es la energía que guarda el metal durante el proceso de refinación lo que hace posible el proceso de corrosión.

Corrosión es un proceso de destrucción o deterioro electroquímico de un metal por acción y reacción de éste con el medio que lo rodea (reacciones de oxidación y reducción simultánea). En esencia la corrosión es un proceso electroquímico que origina parte o el total del metal que está transformándose del estado metálico al iónico, Para que se de la corrosión se requiere de un flujo de electricidad entre ciertas áreas de la superficie de un metal a través un electrolito, el mismo que puede ser cualquier solución que contenga iones. Los iones son átomos o grupos de átomos eléctricamente cargados, por ejemplo el agua pura contiene iones hidrógeno cargados positivamente (OH^-) en cantidades iguales. Por tanto, el electrolito puede ser agua pura, agua salada, soluciones ácidas o alcalinas de cualquier concentración. Para cerrar el circuito eléctrico, debe haber dos electrodos, un ánodo y un cátodo, mismos que deben conectarse, los electrodos pueden ser dos diferentes clases de metales o distintas áreas sobre la superficie del metal.

La conexión entre ánodo y cátodo puede ser mediante un puente metálico, pero en la corrosión se lleva por simple contacto. Para que fluya la electricidad debe haber una diferencia de potencial entre los electrodos.

1.15.2.2.1 FORMAS DE CORROSIÓN

1.15.2.2.1.1 CORROSIÓN UNIFORME

La corrosión toma muchas formas, de las cuales la más simple es el ataque uniforme, se presenta con mayor frecuencia y se caracteriza por el adelgazamiento progresivo y uniforme de las superficies metálicas.

Es la forma más benigna de corrosión. El ataque se extiende en forma homogénea sobre toda la superficie metálica, y su penetración media es igual en todos los puntos.

Fig. E. Corrosión Uniforme.



Fuente: [http://www. metalurgia y electroquímica corrosión.html](http://www.metalurgia y electroquímica corrosión.html).

El término uniforme es aplicable a cualquier forma de corrosión en donde toda la superficie del metal se corroe en el mismo grado. Bajo estas condiciones resulta fácil estimar el tiempo de vida útil de un material determinado y no se debe temer fallas inesperadas.

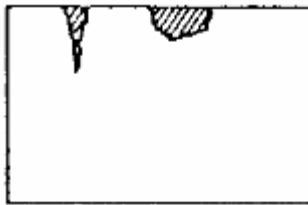
La corrosión uniforme se aprovecha en varios de los procesos de acabado de metales en los que, a través de un control cuidadoso, es posible detener la corrosión en el punto en que la superficie metálica atacada tiene una apariencia atractiva o ha adquirido una capa deseada de producto de corrosión. La dificultad surge cuando, debido a una selección inadecuada de materiales o debido a factores geométricos o de otro tipo, la corrosión surge de manera desigual. La más frecuente de estas complicaciones es el *ataque en hendiduras*, en el cual la corrosión se concentra en huecos, y de hecho en dondequiera que se tiene algún tipo de discontinuidad geométrica que influye en la disponibilidad del agente corroyente. La *aireación diferencial*, es causante de la corrosión lateral preferencial que afecta a los automóviles en pequeñas descascaradas de pintura.

1.15.2.2.1.2 CORROSIÓN LOCALIZADA

En general se presentan dos formas de ataque, la más grave expresión de corrosión, es el ataque localizado. Este aparece siempre como resultado de una heterogeneidad del sistema. Debido a ella, una zona del metal es atacada más rápidamente que las otras. La heterogeneidad puede existir en el metal o puede producirse en el medio corrosivo.

A. CORROSIÓN POR PICADO

Fig. F. Corrosión por Picado



Fuente: www.metalurgia y electroquímica corrosión.htm

Esta es una forma de corrosión desigual, resultado de las variaciones en la reactividad producida por capas superficiales, constituye la más importante; el *ataque por picado*. Una picadura es un hoyo que se desarrolla de tal manera que su ancho es comparable o menor que su profundidad. Por lo general es extremadamente localizado, es decir, las picaduras se encuentran muy separadas, pero a veces están tan cercanas que se unen y se convierten en una superficie áspera. Con frecuencia el picado sucede bajo una capa de producto de corrosión y de hecho, algunas veces iniciado debido a una forma de ataque por aireación diferencial debajo de la capa. Cuando se presenta, el picado puede provocar la falla repentina en un componente que de otra manera sería inmune al ataque. Por lo tanto, es una de las formas de corrosión más destructiva.

B. CORROSIÓN BIMETÁLICA

Esta forma de corrosión desigual (inadvertida), es causada por la yuxtaposición de dos o más metales, se denomina *corrosión bimetalica o ataque galvánico*, se caracteriza por la disolución acelerada del metal más reactivo. El ataque en los bordes del grano puede provocar el desprendimiento de granos enteros, esto es especialmente notable cuando se produce la *corrosión en capas o exfoliación*, de nuevo la disolución preferencial de un componente en una aleación, si bien es útil para mostrar variaciones en la composición de la misma a pequeña escala es indeseable en otros casos.

C. CORROSIÓN INTERGRANULAR

Fig. G. Corrosión Intergranular



Fuente: <http://www.metalurgia y electroquímica corrosión.html>.

Esta tiene lugar cuando existe una pronunciada diferencia de reactividad entre los límites de grano y el resto de la aleación. Esta diferencia se establece, para el acero inoxidable, cuando se forman carburos de cromo en los límites de grano durante el calentamiento del acero durante el intervalo de los 482 – 760 ° C (900 – 1400° F). De esta forma los límites de grano se empobrecen en cromo y se torna anódica con respecto a las regiones circundantes. Entonces puede producirse la corrosión a lo largo de los límites de grano y dar origen a serios defectos.

Regularmente las aleaciones monofásicas tienen mejor resistencia a la corrosión que las similares de dos fases. La presencia de dos constituyentes diferentes activa la corrosión electroquímica, que ataca preferentemente a uno de ellos. Así mismo en ciertas aleaciones constituidas por soluciones sólidas monofásicas puede producirse la corrosión selectiva de uno de los metales componentes.

D. CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

Desde el punto de vista de la participación de iones metálicos, todos los procesos de corrosión son electroquímicos. Sin embargo, es usual designar corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito. A este grupo pertenecen la corrosión en soluciones salinas y agua de mar, la corrosión atmosférica, en suelos, etc.

A la temperatura ambiente la velocidad de oxidación de los metales es en general lenta. Sin embargo, a esta temperatura la velocidad puede ser muy elevada. Esto se debe a la acción de un mecanismo de ataque que no se había considerado hasta ahora. A la temperatura ambiente la forma de corrosión más frecuente es de índole electroquímica.

La hipótesis de que la corrosión es un proceso electroquímico es bastante antigua. La idea surgió como resultado de los primeros trabajos con pilas galvánicas, y se supuso que durante la corrosión actuaban micropilas en el metal. La demostración cuantitativa de la relación entre corrientes eléctricas y ataque de metales en corrosión se debe a Evans; quien demostró que durante la corrosión se cumplen con las Leyes de Faraday.

E. CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA

Otra clasificación general de la corrosión corresponde a la que afecta a los metales enterrados, por ejemplo, a las redes de tuberías. En la mayor parte de las condiciones del suelo, este tipo de corrosión se produce por medio de uno de los mecanismos electroquímicos usuales, pero en suelos inundados, puede tener lugar la corrosión microbiológica. Ciertas bacterias anaeróbicas pueden hallar entonces condiciones apropiadas de desarrollo y producir una intensa corrosión local del hierro y del acero por despolarización de la capa de hidrógeno atómico. La corrosión puede acelerarse debido a la presencia de organismos microbianos, ya sea porque estos fabrican especies agresivas o porque actúan como catalizadores de las reacciones. La mayoría de los organismos activos son bacterias que reducen u oxidan compuestos de azufre como parte de su metabolismo.

Como los microorganismos que participan en este proceso habitan en gran variedad de sistemas naturales en condiciones ambientales muy diversas sobreviviendo en presencia de niveles de nutrición muy bajos, los casos de corrosión debido a ellos son muy variados. Puede decirse que salvo en aquellos casos en que las características físico - químicas del medio son incompatibles con la vida (altas temperaturas, bajo pH, concentración salina inhibitoria, etc.), es factible encontrar casos de corrosión microbiana en ambientes tan diferentes como suelos, agua dulce, sistemas de enfriamiento, tanques de almacenaje de combustible, estructura de piedra, etc. La corrosión microbiológica está directamente vinculada con la electroquímica. En todos los casos se encuentra una zona anódica donde se produce un proceso de oxidación que conduce a la disolución del metal (corrosión); mientras transcurre simultáneamente la reducción de algún otro componente del medio a través de la correspondiente reacción catódica. Los microorganismos participan del proceso en forma activa sin modificar la naturaleza electroquímica del fenómeno.

F. CORROSIÓN EN PLACAS

Fig. H. Corrosión por Placas

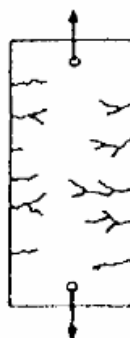


Fuente: <http://www.metalurgia y electroquímica corrosión.html>.

Abarca los casos intermedios entre la corrosión uniforme y la corrosión localizada. En este caso la corrosión se extiende más en algunas zonas, pero se presenta regularmente como un ataque general.

G. CORROSIÓN FISURANTE O BAJO TENSION

Fig. I. Corrosión Bajo Tensiones



Fuente: <http://www.metalurgia y electroquímica corrosión.html>.

Puede presentarse cuando un metal esta sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas de tracción. Se forman fisuras que pueden ser transgranulares o intergranulares y que se propagan hacia el interior del metal, hasta que las tensiones se relajan o el metal se fractura. La velocidad de propagación puede oscilar entre 1 y 10 mm. / h. La corrosión bajo tensión es un tipo de corrosión muy acelerada que se produce en ciertos medios cuando los metales contienen tensiones internas de tracción. Son ejemplos conocidos con el season cracking (agrietamiento longitudinal) que se produce en los latones en presencia de humedad y de trazas de amoníaco, y la fragilización cáustica del acero expuesto a soluciones que contienen hidroxilo de sodio. El control más efectivo es la eliminación de tensiones de tracción. Normalmente este control se lleva a cabo por medio de un recocido de eliminación de tensiones, que no debe disminuir demasiado el efecto de endurecimiento producido por una operación anterior de deformación en frío.

La fatiga por corrosión es la acción combinada de la corrosión y de tensiones repetidas y su efecto es mucho más perjudicial que la suma de estos dos factores actuando en forma individual. Para expresar la influencia de la corrosión sobre la resistencia mecánica a la fatiga, se utiliza frecuentemente la relación de deterioro:

$$\text{Relación de deterioro} = \frac{\text{resistencia a la fatiga por corrosión}}{\text{resistencia a la fatiga normal}}$$

Esta relación considerando el agua salada como medio corrosivo, es de aproximadamente 0.2 para aceros al carbono, 0.5 para los aceros inoxidable, 0.4 para las aleaciones de aluminio y 1.0 para el cobre. Entre las medidas de protección convenientes contra la fatiga por corrosión, se incluye el tratamiento del medio corrosivo y la protección superficial del metal.

Las tensiones mecánicas acentúan el daño. Una superficie que de otra manera sería protectora puede ser fracturada por tensiones de tracción, por impacto y por fricción. La primera de estas, el agrietamiento por corrosión bajo tensión puede considerarse como una forma especial de ataque en hendiduras, puesto que las grietas que se desarrollan constituyen una región que perpetua por si mismo el ataque localizado. La segunda forma de fractura de capas se encuentra más comúnmente en el *ataque por colisiones* (corrosión - erosión), que es consecuencia de las colisiones de las partículas inmersas dentro de un agente corroyente o pasta fluida, un mecanismo alternativo de ruptura de la capa superficial es la cavitación causada por la explosión de burbujas de baja presión en la fase líquida. Los efectos de la tensión mecánica se manifiestan también en la fragilización por hidrógeno y el la corrosión - fatiga. Normalmente los metales se seleccionan para su uso, de tal manera que la acción corrosiva del medio ambiente sea moderada. Al mismo tiempo estos metales están sometidos a tensiones mecánicas, cuyo signo y magnitud suelen variar con el tiempo.

Mediante una adecuada selección de materiales y un diseño conveniente es posible conseguir que dicha acciones no tengan efectos en la vida útil del material. Sin embargo, se ha comprobado que en condiciones especiales, un metal sometido

a la acción de tensiones mecánicas y a una acción corrosiva, puede presentar el fenómeno llamado corrosión bajo tensión. En este caso, aparecen en el metal fisuras que se propagan con el tiempo a su interior. La velocidad de propagación de tales fisuras puede variar entre unos pocos mm. Por año hasta varios mm./hora. La corrosión bajo tensión es una de las formas más insidiosas de ataque localizado conocidas. Se la reconoció como forma particular de ataque a fines del siglo pasado.

1.16. MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE LOS METALES CONTRA LA CORROSIÓN

1.16.1 PROTECCIÓN POR ALEACIÓN

Al hablar de un metal o aleación resistente a la corrosión, sugiere de inmediato pensar en los metales nobles, platino, rodio, oro, plata, etc., o en los metales muy resistentes, como el tantalio. Pese a que los metales nobles ofrecen la ventaja de poder ser recuperados en su totalidad y por métodos no muy costosos, su elevado precio los hace inaccesibles en la mayoría de las aplicaciones prácticas. De este modo surge la necesidad de buscar otros metales o aleaciones resistentes en cierto grado a la corrosión.

Al dejar de lado los metales nobles descubrimos que el término resistencia a la corrosión es demasiado vago para ser útil. No existen las aleaciones resistentes a la corrosión. Sólo existen aleaciones resistentes a ciertas formas de corrosión. Para ilustrar esto cabe mencionar el caso de las aleaciones de Fe-Cr-Ni. De esta familia de aleaciones las que han encontrado uso más amplio son los aceros inoxidable austeníticos con aproximadamente 18% Cr y 8% Ni. La amplitud de sus aplicaciones proviene de sus propiedades mecánicas, su resistencia a la oxidación en aire a temperaturas de hasta 800° C y de su excelente resistencia a la corrosión en medios acuosos levemente oxidantes. Sin embargo, cuando hay peligro de corrosión bajo tensión, se descubre que dicha elección no ha sido muy apropiada. Un estudio realizado mostró que de los aceros inoxidable austeníticos, el que presenta menos resistencia a la corrosión bajo tensión es precisamente el Fe-18% Cr-8% Ni.

Otro ejemplo interesante es el de las aleaciones de aluminio. A temperatura ambiente la corrosión del aluminio es acelerada si está aleado con metales tales como el cobre, el níquel, hierro, platino, etc. Se observa también que cuanto más puro es el aluminio tanto más resistente es a la corrosión electroquímica a temperatura ambiente. Sin embargo, cuando se utiliza aluminio en agua pura a alta temperatura, alrededor de 200° C, se encuentra que el comportamiento del metal es totalmente opuesto al anterior. Se observa en dichas condiciones que su aleación o contacto con metal es como los anteriormente mencionados, favorable y reduce la velocidad de corrosión del aluminio. Además se observa que en agua a alta temperatura cuanto más puro es el aluminio tanto más pronto se corroe.

Por medio de los ejemplos indicados se demuestran que al mejorar la resistencia a la corrosión de una aleación en un cierto medio puede ocurrir que se la empeore

en otro. Por esto, al hablar de aleaciones resistentes a la corrosión, debe tenerse presente el tipo de corrosión y el medio al que se refiere.

EFEECTO DE LOS ALEANTES

Aparte de la temperatura y la presión de oxidante, hay otros medios de variar la concentración de defectos en un óxido. El NiO puede disolver cantidades apreciables de óxido de litio (Li_2O). Por tener un radio parecido al del ion Ni^+ , el ión Li (litio) puede entrar en la estructura sin causar mucha distorsión. Por cada ion Li que entra se debe formar un ión Ni a fin de mantener la neutralidad eléctrica. Se obtiene así un óxido negro, buen conductor de la electricidad. Como el equilibrio de la concentración de defectos debe mantenerse, la entrada de Li^+ produce un aumento de la conductividad electrónica, pero disminuye la concentración de defectos iónicos, vacancias catiónicas. El resultado es que la velocidad de oxidación del níquel ligeramente aleado con Li, o con Ag (plata), u otro metal monovalente, es mucho menor que la del níquel puro. En cambio, si se agregan iones de mayor valencia que el níquel (Cr_3 , Mn_3 , Mn_4) el número de vacancias catiónicas aumenta, lo que acelera la velocidad.

En óxidos tipo-n, como el ZnO, el efecto de los iones hetero valentes es, por las mismas razones, el opuesto. El agregado de iones de menor valencia, Li^+ , aumenta el número de defectos iónicos y da óxidos menos protectores; en tanto que iones de mayor valencia, Al_3 , disminuyen el número de defectos iónicos y producen un material microorganismos más resistente.

Se tiene así un método de acrecentar la resistencia a la oxidación de un metal. Conociendo el tipo de óxido que se forma, es posible aumentar la resistencia a la oxidación aleando el metal con aleantes adecuados: aleantes de menor valencia para óxidos tipo ~ p y de mayor valencia para óxidos tipo-n.

Por las razones antes mencionadas, la adición de cromo acelera la oxidación del níquel. Sin embargo con elevados contenidos de cromo el comportamiento varía. La velocidad de oxidación del níquel en aire a 1000°C aumenta constantemente al aumentar el contenido de cromo hasta contenidos del orden de 6% Cr. Hasta este punto la acción del cromo está concentrada en el aumento del número de vacancias catiónicas en el *NiO*. A mayor contenido de cromo la velocidad de oxidación comienza a disminuir y alcanza el valor del níquel puro para Ni-10% Cr, haciéndose despreciable para Ni ~ 20% Cr. La observación metalográfica explica el comportamiento de la aleación. A bajo contenido de cromo, el óxido formado es prácticamente todo NiO, con algunas inclusiones de NiCr_2O_4 . En cambio, en las aleaciones de alta resistencia a la oxidación se observa capas continuas del NiCr_2O_4 y Cr_2O_3 que son las que determinan la elevada resistencia de la oxidación de estas aleaciones.

Tenemos así otro medio de controlar la oxidación de aleaciones. Se produce como resultado de la oxidación selectiva de uno de los aleantes. La formación de una capa continua de óxido de alta resistencia define el comportamiento del material. Un fenómeno similar se observa en el cobre con más del 2% (de berilio), y en el

hierro con más de 8% de aluminio, o de 12% de cromo. En todos estos casos, adiciones muy pequeñas de aleantes no ejercer efecto benéfico alguno y es necesario superar un cierto valor mínimo de concentración de aleante para obtener un material resistente en grado aceptable.

1.16.2 PROTECCIÓN POR PELÍCULAS DE ÓXIDO

La protección con películas de óxido se realiza formando sobre la superficie de la pieza una capa protectora por medio de la oxidación o fosfatación, la cual preserva muy bien a la pieza contra la corrosión. Los recubrimientos de óxido se efectúan por tratamiento de la pieza en agentes oxidantes fuertes, por ejemplo, en solución acuosa de sosa cáustica, salitre, etc. Corrientemente, por medio de la oxidación se recubren piezas de hierro o de aleaciones de aluminio. El fosfato (parkerización) de piezas se hace en soluciones calientes de fosfatos de ácidos de hierro y manganeso. La capa de óxido y de fosfato es un buen empaste para la lubricación protectora (vaselina, parafina), pintura, barniz, etc.

ESTRUCTURA Y ESTEQUIOMETRÍA DE ÓXIDOS

Para poder comprender el mecanismo según el cual se produce la difusión a través de los óxidos conviene hacer una revisión acerca de la estructura de los mismos:

Se ha observado que, en general, tanto en sulfuros como en óxidos, los aniones se presentan como un apilamiento muy compacto de esferas de igual diámetro. Los cationes se hallan distribuidos en los intersticios de dicho apilamiento compacto. Se sabe también que estas estructuras no son perfectas, y que la relación entre cationes y aniones, en estos sólidos, no corresponde exactamente a lo indicado por la ecuación química común); en otras palabras, estos compuestos no son estequiométricos.

Cuando un óxido metálico está en contacto con alguno de sus componentes (metal u oxígeno, no se puede llegar al equilibrio termodinámico a menos que el óxido deje de ser estequiométrico (es decir que tenga alguno de sus componentes en exceso respecto a lo indicado por la fórmula química). A pesar de que al introducir un componente en exceso se consume energía, hay) también un aumento rápido de la entropía del sistema. El resultado de ambos procesos hace que la energía libre presente un mínimo para un cierto grado de no estequiometría. En dicho punto se alcanza el equilibrio termodinámico.

El grado de no estequiometría varía al variar la temperatura. Así, por ejemplo, el NiO a 800° C es verde, aislador, soluble en ácidos y casi estequiométrico. En cambio, a 1200° C el NiO es negro, semiconductor electroquímica insoluble en ácidos. Su composición presenta sin exceso de O²⁻ (o deficiencia de Ni²⁺). Otro ejemplo de no estequiometría lo ofrece el óxido de cinc, que puede, obtenerse de modo que contenga mayor número de átomos de cinc que los dados por la fórmula ZnO. Se puede llegar hasta un exceso 0,033% de Zn. En estas condiciones, el ZnO, normalmente blanco, aparece amarillo o anaranjado brillante.

ÓXIDOS TIPO-p Y TIPO-n. DIFUSIÓN EN ÓXIDOS

En el caso de ZnO el exceso de Zn puede acomodarse como intersticial en la red de óxido.

Pero en el caso del NiO los iones O^- son demasiado grandes para acomodarse en sitios intersticiales, y la presencia de un exceso de oxígeno conduce a la formación de vacancias de Ni^{++} .

Durante el crecimiento del óxido al formarse una nueva capa de óxido sobre el NiO, el O adsorbido toma electrones electroquímica iones de Ni del interior del cristal de NiO. De esta manera, el oxígeno que se incorpora a la red de óxido crea huecos en la red cristalina, o sea, produce vacancias de cationes en la red, y vacancias o huecos de electrones en el cristal.

Óxidos de este tipo conducen la electricidad por movimiento de huecos de electrones (portadores o huecos positivos) y se los denomina óxidos tipo-p. En todos los óxidos del tipo-p la concentración de defectos, y por ende la conductividad, aumenta al aumentar la presión de oxígeno. Pertenecen a este tipo los siguientes óxidos: FeO, CoO, Ag₂O, MnO, Bi₂O₃, Cr₂O₃, Ti₂O, etc.

En cambio el óxido de cinc contiene un exceso de iones metálicos, los que se encuentran distribuidos en intersticios de la red cristalina. El ZnO no estequiométrico conduce la electricidad por movimiento de electrones libres (portadores negativos) y la conductividad es del tipo-n. Los óxidos del tipo-n presentan una disminución en la conductividad eléctrica al aumentar la presión de oxígeno. Pertenecen a este tipo también los siguientes óxidos: TiO₂, CdO, Al₂O₃, V₂O₅, ThO₂, SnO₂, MoO₃, BeO, Fe₂O₃, etc.

A alta temperatura los defectos cristalinos no permanecen estáticos en sus posiciones en la red. Una vacancia catiónica se mueve siempre que un catión vecino salta a dicha vacancia. Del mismo modo se tienen movimientos de huecos de electrones y de electrones libres. Movimiento de un hueco positivo. El movimiento de una vacancia catiónica como el movimiento de huecos positivos y de electrones libres es mucho más fácil que el movimiento de iones, la oxidación estará controlada principalmente por la difusión iónica. De lo visto hasta ahora resulta que sin óxido protector será tanto más eficaz cuanto menor sea el número de defectos iónicos que contenga y cuanto más difícil sea el movimiento de los mismos. Así, por ejemplo, el FeO presenta una concentración de defectos muy grande, y su capacidad protectora a alta temperatura es pobre. En cambio, el NiO tiene una escasa concentración de defectos, y el Cr₂O₃ y Al₂O₃ son muy buenos protectores debido a su ínfimo contenido en defectos.

1.16.3 PROTECCIÓN POR TRATAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE

Algunas veces puede reducirse mucho la velocidad de corrosión por medio de pequeñas modificaciones en el medio corrosivo. Como la velocidad de la corrosión es usualmente una función exponencial de la temperatura, una ligera

disminución en la temperatura del agente corrosivo puede producir una disminución pronunciada en el grado de corrosión. También se puede disminuir la velocidad del medio corrosivo variando las condiciones de trabajo o de diseño, se disminuye corrientemente la velocidad de la corrosión. Este factor es importante cuando se produce corrosión-erosión. Consiste en eliminar los componentes perniciosos que originan la corrosión, por ejemplo: del agua se elimina el oxígeno disuelto que contribuye a la corrosión, o para reducir la actividad del agua se le añaden cerca del 0.5 % de bicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ en los sistemas de refrigeración del motor de combustión interna, con esto se elimina prácticamente la corrosión.

1.16.4 PROTECCIÓN POR RECUBRIMIENTO METÁLICO

Es de amplia aplicación a nivel industrial, se distinguen dos tipos de protección: la anódica y la catódica.

1.16.4.1 PROTECCIÓN ANÓDICA

En la protección anódica el metal del recubrimiento posee un potencial de electrodo menor que el potencial del metal base. El recubrimiento protege al metal de un modo electroquímico, en este caso al formarse el par galvánico, el metal juega el papel de cátodo y se destruye solamente el metal de recubrimiento, que hace papel de ánodo.

El Sn, Pb, Cu, Ni se emplean como recubrimiento catódicos para el hierro y hacer; como recubrimientos anódicos se emplean el Zn, Al, Ca, K. En la industria se hace uso de distintos procedimientos de recubrimientos metálicos; por medio de la inmersión en el metal fundido, por galvanizado, por medio de difusión, por pulverización y por plaqueado.

1.16.4.2 PROTECCIÓN CATÓDICA

En la formación de pilas galvánicas, al introducir una estructura metálica en un electrolito, la destrucción de la estructura proviene de la disolución de las zonas anódicas frente a las catódicas, por aportación de electrones desde aquellas a éstas y disolución del ión metálico.

Este mismo proceso nos da idea del método a seguir en la protección catódica, convirtiendo la estructura metálica a proteger en el cátodo de una pila galvánica o circuito eléctrico. Esto se puede realizar recurriendo a la serie electroquímica de los metales y escogiendo para actuar como ánodo un metal más electronegativo que el que tratamos de proteger o bien conectando la estructura al polo negativo de un generador de corriente continua, cuyo polo positivo se introduce en el electrolito en cuestión, mediante un ánodo que generalmente no se disuelve o sufre una disolución muy lenta. Con este método es posible comunicar a la estructura a proteger una tensión controlable en cualquier momento de la vida de la instalación.

El primer método se conoce con el nombre de protección por ánodos de sacrificio y el segundo por el de corriente impresa. En la protección catódica por ánodos de sacrificio, la corriente polarizante, la suministran los ánodos que se desgastan en beneficio de la estructura (cátodo) que permanece inalterable.

El metal del recubrimiento tiene un potencial de electrodo mayor que el potencial del metal base. Para asegurar una buena protección se necesita que el recubrimiento sea continuo y no poroso. Si no se cumple esta condición (ranuras), se provoca la corrosión, ya que el par galvánico se forma, el metal base (que se protege) sirve de ánodo y se destruye.

La protección catódica se obtiene colocando el metal que normalmente sería corroído en contacto eléctrico con uno que este encima de el en la serie galvánica. De este modo, el metal más activo llega a ser el ánodo lo cual es esencialmente una batería galvánica en la que el metal corrosible se hace para funcionar como el cátodo. Los metales utilizados generalmente para proporcionar este tipo de protección son el zinc y el magnesio. En algunos casos la corriente directa protectora se obtiene por medio de una fuente de voltaje externa. En este caso el ánodo suele consistir en un material relativamente inerte, como carbón, grafito o platino. Las estructuras más frecuentemente protegidas por este método son las tuberías subterráneas, los cascos de barcos y las calderas. Para la protección de tubería subterránea los ánodos a 8 a 10 pulgadas del tubo, la profundidad del auguelo debe ser suficiente para localizar al ánodo en terreno permanentemente húmedo. Los ánodos individuales están conectados a un alambre colector, el cual a su vez está soldado fuertemente a la tubería. Las descargas de corriente desde el ánodo hasta el terreno se juntan en la tubería y regresan al ánodo a través del alambre de conexión. Para la protección catódica de los cascos de los barcos, los ánodos de zinc o de magnesio se sujetan al timón y al propio casco en la región alrededor de la hélice.

Son diversos los materiales utilizados por ánodos de sacrificio, sin embargo, las aleaciones de magnesio, zinc y aluminio son las más corrientes. El magnesio sin alear no puede utilizarse en sistemas de protección catódica en agua de mar, debido a su rápido deterioro, aunque sí se emplean algunas de sus aleaciones. También se usan ciertas aleaciones de Aluminio, pero los ánodos de Sacrificio más utilizados son los de Zinc, que no es necesario controlar y que, además, suministran una corriente continua y eficiente. Un imperante de este tipo de ánodos es la pureza del metal base; la composición debe de estar acorde con las especificaciones que actualmente hay al respecto. El hierro es una de las impurezas más perjudiciales para la actividad anódica del Zinc; se tolera un máximo de 50 ppm (partes por millón) de Fe si al mismo tiempo existen ciertos contenidos de Cd y Al. Los ánodos de magnesio se han utilizado ampliamente para proporcionar protección catódica en los calentadores de agua domésticos e industriales elevados de almacenamiento de agua.

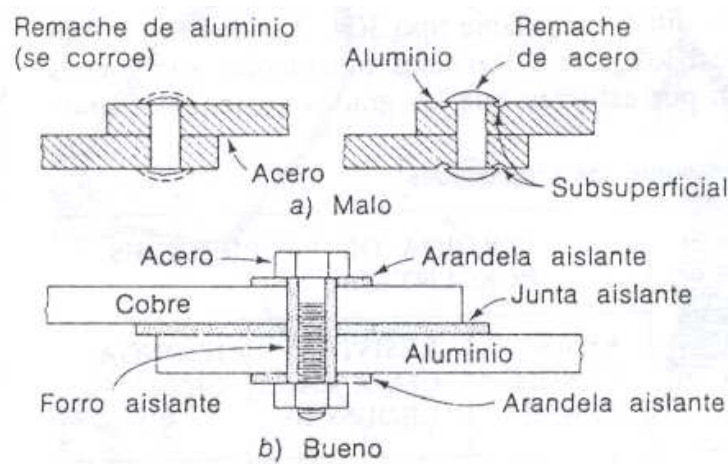
Aplicaciones de la Protección Catódica

- buques
- tuberías submarinas
- boyas
- cadenas
- pantalanes
- torres metálicas
- tanques
- condensadores
- tuberías enterradas
- depósitos de agua

1.17. DISEÑO PARA MINIMIZAR LA CORROSIÓN

Cuando se sujetan dos metales no similares se recomienda seguir las instrucciones que aparecen en la gráfica:

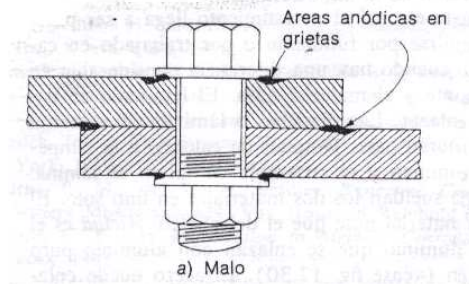
Fig. J. Diseño para Minimizar la Corrosión

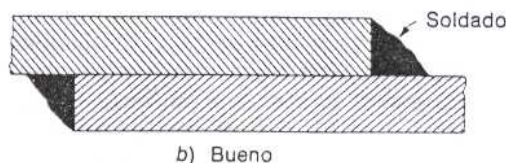


Fuente: Metalurgia Física

- a) corrosión de Remaches de aluminio en placas de acero de aluminio cuando se sujetan con un remache de acero.
- b) Práctica recomendada de usar materiales aislantes entre el tornillo de acero y las placas de cobre y aluminio.

Fig. K. Corrosión entre Placas





- a) *Corrosión por grietas entre placas cuando están sujetadas conjuntamente.*
 b) *Una práctica recomendada, si es posible, es sujetar las placas por soldadura*

Fuente: Metalurgia Física

1.18. MÉTODOS DE LIMPIEZA

Posteriormente al proceso de manufactura los productos deben someterse a un proceso de limpieza previo al recubrimiento metálico. El tratamiento térmico, el trabajo en caliente y la soldadura producen oxidación y formación de escamas por la alta temperatura en presencia de oxígeno. Si el producto proviene de una fundición con moldes de arena puede tener granos fundidos o adheridos a la superficie. El residuo de fluidos enfriadores como la taladrina, lubricantes y otros materiales es común para muchos procesos productivos. Películas de grasa, aceite o ceras especiales se utilizan como protección contra la corrosión y herrumbre, en productos almacenados por cierto tiempo antes de ser utilizados. Rara vez las partes están limpias al término de la manufactura, aun así el contacto con el medio ambiente hace que colecten aceite, polvo, virutas, suciedad en las superficie. Para realizar procesos adicionales se debe hacer limpieza de las superficies de la pieza o producto.

El término limpieza es asociado con la mejora del acabado superficial. Métodos como el cepillado, maquinado, pueden producir características no satisfactorias como aristas agudas, rebabas, marcas de la herramienta; mismas que pueden afectar la manipulación y presentación del producto. Mejorar las calidades de la superficie puede lograrse con la eliminación de puntos altos por corte o por flujo plástico conforme se realiza la limpieza.

1.18.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE LIMPIEZA

Antes de elegir un método de limpieza se debe tener en consideración las siguientes variables: la clase de suciedad, el material de la superficie, el tamaño y forma de la superficie y número de piezas, costo de operación, etc. Todos estos factores se conjugan en el momento de realizar la elección.

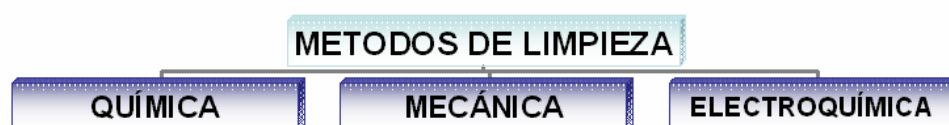
Existen muchos métodos de limpieza, la elección del más adecuado depende regularmente del costo, esta es una variable de gran influencia, pero la razón de la limpieza es la que determina la elección. La conveniencia en la manipulación, mejora de la apariencia, eliminación de material extraño que puede afectar la función o el establecimiento de una superficie químicamente limpia como un paso intermedio en el proceso, todas pueden requerir métodos diferentes. Además al momento de la elección se debe tomar en cuenta las condiciones iniciales, el grado de mejora deseado (Calidades superficiales) o requerido.

Es importante resaltar que la aplicación de ciertos métodos de limpieza no dan los mismos resultados en diferentes materiales, por ello es indispensable analizar cuidadosamente todos los factores mencionados antes de proceder a la limpieza.

Los métodos de limpieza y protección contra la corrosión algunas veces están asociados. Varios métodos proporcionan beneficios múltiples. Nunca se debe restar importancia a la limpieza previa a un recubrimiento electrolítico, pues de esta dependerá en gran parte el éxito del mismo.

1.18.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS LIMPIEZA

Los métodos de limpieza se los ha clasificado de según su origen y así tenemos:



1.18.2.1 LIMPIEZA QUÍMICA

La limpieza química se la realiza como su nombre lo indica a través de sustancias químicas que reaccionan con las partículas en la superficie y remueven residuos indeseables. Podemos clasificar los métodos de limpieza química en: Baños de Vapor, Aspersión, Chorro. Cada uno de estas formas de limpieza se desarrolla a continuación:



A. BAÑOS DE LÍQUIDOS Y DE VAPOR

Usualmente se utilizan solventes en forma de líquidos y de gases. Los métodos más aplicados hacen uso de un medio limpiador en forma de un líquido o vapor. Estos métodos dependen de una acción solvente o química entre los contaminantes de la superficie y los elementos del material de limpieza. En el mercado tenemos a disposición muchos limpiadores de acuerdo al material base, el tipo de contaminantes que se pretende eliminar, la importancia y el grado de limpieza requerido a nivel superficial.

Los solventes de petróleo son buenos para eliminar grasas y aceites. A nivel industrial la eliminación de grasas y aceites de las superficies como residuo de la manufactura o como protección intencionada es muy común.

Uno de los métodos más eficientes es el uso de solventes, que disuelven residuos de grasas, aceites, ceras, no así la suciedad inorgánica, no reaccionan con los elementos

del metal base, por tanto no se produce cambios en la estructura del mismo. Son relativamente caros pero eficientes desengrasadores que no dañan la mayoría de superficies. Solventes derivados del petróleo tales como el Stoddard y la Kerosina se emplean regularmente para este propósito, estos presentan riesgo de incendio por lo que suelen ser remplazados con solventes como tricloroetileno, nafta, resina, o hidrocarburos clorinados, que disminuyen riesgos de incendios; estos deben manejarse bajo normas de seguridad industrial pues implican peligros para la salud del operador.

El tricloroetileno en el fondo de un tanque se vaporiza a 45 hasta 125 ° C (100 a 250 ° F) Los serpentines en la parte superior condensan el vapor y lo contienen en el tanque. El vapor se condensa en una pieza de trabajo relativamente fría, el condensado disuelve la grasa y escurre removiendo la suciedad y las virutas. El residuo se colecta en el fondo y no se arrastra con el trabajo. Las piezas se secan cuando salen del tanque. La acción es rápida para la remoción de sustancias orgánicas.

Los limpiadores líquidos pueden aplicarse de diferentes modos. El desengrasado sobre todo en partes pequeñas, con frecuencia se hace en un baño de vapor. Esto permite un excelente trabajo en la eliminación de la grasa, pero tiene la desventaja de que no es capaz de eliminar virutas y otras clase de impurezas que pudieran estar presentes.

El desengrasado por vapor usualmente se realiza en un tanque especial, que calienta en el fondo para vaporizar el solvente y enfriarse en la parte superior para condensar el solvente. El trabajo frío se suspende en el vapor y causa la condensación del solvente, el cual disuelve la grasa y gotea cayendo al fondo del tanque. La diferencia en volatilidad entre el solvente y las grasas permite que el vapor permanezca sin cambio y que realice un trabajo uniforme de limpieza.

Con frecuencia el trabajo mecánico se combina con la acción química. La aspersion, cepillado y métodos de sumersión también se usan con los limpiadores líquidos. En casi todos los casos, el trabajo mecánico para causar la rotura de la película en la superficie y el movimiento de partículas se combina con la acción química y de solventes. El trabajo mecánico puede ser de agitación en un baño, el movimiento del agente de limpieza como en la aspersion o el uso de un tercer elemento tal como el frotado o el cepillado. En varios casos se utiliza vibración sónica o ultrasónica ya sea a la solución o a las piezas de trabajo para acelerar la acción de limpieza. La actividad química se aumenta con temperaturas más altas y concentración del agente limpiador; variables que deben ser controladas con mucho cuidado.

Eliminar Productos Químicos de las Superficies:

Es importante eliminar por completo los residuos químicos de las superficies, a través del lavado y el enjuagado pues estos producen manchas y películas. El secado rápido de las soluciones acuosas en los productos de acero es necesario para evitar la formación de herrumbre, dependiendo de la masa de la pieza el calor captado en el baño de limpieza es suficiente para ocasionar el secado rápido. De otra manera se

debe recurrir a fuentes de energía externa, que faciliten el secado rápido e las superficies.

B. ASPERSIÓN

La aspersion de cualquier clase de fluido actúa con fuerza para poder desalojar suciedad sólida. La aspersion puede dirigirse a mano a través de pistolas con presión, o puede ser parte de un sistema automático.

C. INMERSIÓN

El agua sola no es un buen agente limpiador, pero es el solvente universal para los agentes de limpieza, y se usa libremente para enjuagado; el cual debe hacerse siempre después del lavado para una perfecta limpieza. El agua tratada o acondicionada es de bajo costo, por ello uno de los materiales más económicos para limpieza es el agua, rara vez se utiliza sola sin una preparación previa aún si el contaminante es totalmente soluble en agua, esta puede contener impurezas que contaminen las superficies de trabajo. Los acondicionadores como suavizadores, agentes humectantes y detergentes hacen soluciones acuosas eficientes. Los tres detergentes básicos son solventes emulsificados, detergentes ácidos y alcalinos. Las emulsiones en agua de solventes orgánicos combinan las ventajas de un solvente con las de un agente que dispersa la suciedad. Trabajan en frío y son económicas para desengrasado ligero y para limpieza preliminar para ahorrar tiempo y aliviar la contaminación en las operaciones subsiguientes de limpieza alcalina.

D. DECAPADO

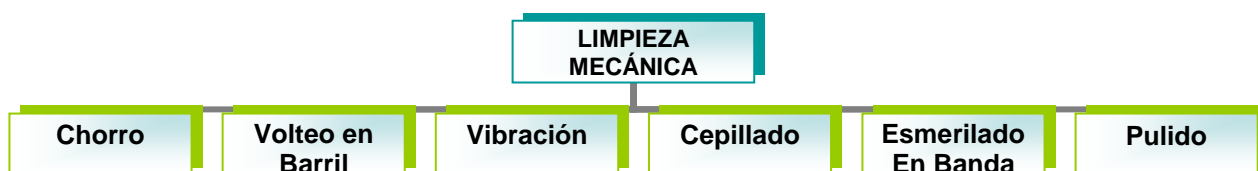
El decapado apropiado consiste en la eliminación de óxidos de hierro en el acero a través de una solución de agua con ácido sulfúrico en una concentración del 10–25 % a una temperatura aproximada de 65 ° C. Se sumerge las piezas en la solución contenida en grandes tanques por un periodo determinado después del cual se enjuaga para detener la acción química. Las variables que intervienen en este proceso son: concentración de la solución, temperatura, tiempo; si no se realiza un seguimiento adecuado a estas tres variables el baño de decapado puede terminar por picar las superficies debido a una reacción desigual, ocasionando la pérdida de material. En la mayoría de baños de decapado se utilizan inhibidores químicos que disminuyen el efecto químico del ácido sobre el material base pero que no disminuyen su efecto sobre los óxidos.

Muchos aditivos para agua son mezclas de marcas registradas en el mercado. Muchos de los líquidos comunes de limpieza se componen 95% de agua que contiene limpiadores alcalinos tales como sosa cáustica (NaOH) Carbonato de Sodio (NaCO_4), silicatos, fosfatos y boratos, con frecuencia combinados con materiales coloidales jabones y otros agentes humectantes comúnmente están disponibles en resistencias suficientes para remover cualquier suciedad pero atacan algunas superficies; tienen el más amplio uso en los detergentes industriales; los ácidos suaves se usan para materiales atacados por álcalis para eliminar escamas, óxidos y fundentes. Los baños de sales fundidas son capaces de arrancar depósitos tenaces de

arena, escama, etc. de las forjas, colados. Las proporciones de concentración se varían de acuerdo al propósito y se encuentran bajo diferentes marcas para aplicaciones específicas.

Algunos lavados se hacen en frío, pero la mayoría particularmente con detergentes alcalinos debe hacerse en caliente. La forma más fácil de limpiar y la que puede realizarse con cualquier fluido es la inmersión. Por si sola no es suficiente para desalojar la suciedad alojada en las superficies, debe agregarse agitación vuelco en barril o frotado. Un tanque para lavado se contamina con el tiempo y, por lo tanto se vuelve menos efectivo. La inmersión del trabajo en una serie de tanques es de alguna ayuda. Todos los métodos de limpieza pueden ser manuales o automatizados para producción en serie.

1.17.2.2 LIMPIEZA MECÁNICA



A. CHORRO

El chorro proporciona acción mecánica. El término chorro es utilizado para todos aquellos métodos de limpieza en el que se acelera a alta velocidad el medio de limpieza y choca contra las superficies del metal. La alta velocidad puede ser producida por agua o por aire dirigidos a través de una boquilla o por medio de medios mecánicos a través de una lanzadora giratoria. El agente de limpieza puede estar ya sea en medios sólidos, húmedos, o secos como arena, abrasivo, granos de acero o granalla o también solventes líquidos o vapores combinados con material abrasivo. Esta limpieza brusca normalmente es seguida por el lavado y desengrasado antes del revestimiento electrolítico.

Como en todo proceso de limpieza se debe tener muy presente la seguridad del operador. Los medios sólidos se usan para eliminar la contaminación frágil de la superficie tal como la escama del tratamiento térmico que se encuentra en las piezas provenientes de forja y fundición. Los granos de acero han remplazado la arena y otros abrasivos en ciertas condiciones debido al riesgo de contraer silicosis; la arena puede usarse sin riesgo para el operador cuando las partes son suficientemente pequeñas para manipularse a mano en el interior de una cámara con un diseño especial que recolecte el polvo.

La superficie se fatiga y se endurece por trabajo. Además de la limpieza, las partículas sólidas pueden mejorar el acabado y las propiedades de las superficies del material en el cual se usan. El chorro tiende a aumentar el área de la superficie y

establecer esfuerzos a compresión que pueden causar un alabeo en las secciones delgadas, pero que en otros casos, puede ser provechoso al reducir la probabilidad de falla por fatiga. Cuando se usa para este último propósito el proceso comúnmente se conoce como martillado con granalla.

Los solventes líquidos o vapores pueden ser lanzados a alta velocidad en chorro contra una superficie para limpiar películas de aceite o grasa con dos acciones combinadas química y mecánica. El agua que contiene productos químicos inhibidores de herrumbre puede llevar o no en suspensión, partículas abrasivas finas que proporcionan una acción del tipo de corte para mejorar el acabado al mismo tiempo que la limpieza. Al método de chorro que utiliza este proceso se le conoce comúnmente como pulimento líquido.

B. VOLTEO EN BARRIL

Consiste en introducir y hacer girar las partes que se desean limpiar en un cilindro o tambor con ciertos medios de limpieza; estos medios pueden ser abrasivos (finos o gruesos), estrellas de metal, trozos o bolas, piedras, viruta de madera, aserrín o cereales; puede utilizarse cualquier material capaz de causar acciones abrasivas y de pulimento. El trabajo puede hacerse en húmedo o en seco; dependiendo de los materiales con que se trabajará, la clase de acabado superficial, y tipo de equipo disponible. Antes de realizar el proceso de limpieza con cualquier medio abrasivo se debe tener en consideración estas tres variables. Este es un método ampliamente utilizado por su bajo costo. Dependiendo de las tres variables antes mencionadas este proceso puede durar de una a diez horas o más, aún así sigue siendo un método relativamente barato por cuanto se puede someter a la limpieza grandes cantidades de elementos o piezas. Volteo en barril, acabado en barril, tambor giratorio son términos que se usan en operaciones similares.

El proceso de barrilado o tambor giratorio es dirigido a piezas provenientes de la fundición, permite eliminar escama, arena adherida, defectos menores como protuberancias en aleaciones ferrosas y no ferrosas. Para ayudar a la limpieza se suele introducir limallas o trozos de metal, conforme gira el barril, las partes se deslizan unas contra otras se debe tener cuidado de no introducir piezas de secciones pequeñas o medianas con diferentes formas y tamaños, las cuales usualmente se introducen para completar la carga del barril. Aquí suelen producirse daños en las superficies, para ello es necesario utilizar medios de sujeción que eviten estos inconvenientes.

C. CEPILLADO

Para operaciones de limpieza rápidas, se utiliza un cepillo de cerdas metálicas que gira a elevadas velocidades. Además de la limpieza el contacto y el movimiento de los extremos del alambre a través de la superficie de trabajo producen una mejora a nivel superficial, por una acción del tipo de bruñido.

Las aristas agudas, rebabas, puntos gruesos, imperfecciones mecánicas pueden mejorarse, por el flujo plástico del material, el cual también tiende a endurecer la

superficie del material. Este proceso suele realizarse de forma manual pero para aplicaciones a gran escala es necesaria la automatización del trabajo.

Las aplicaciones comunes de cepillado son limpieza de fundiciones, ferrosas y no ferrosas, salpicaduras de soldadura, escoria, limpieza de herrumbre, corrosión y limpieza de pintura de cualquier tipo de material base capaz de soportar el cepillado de sus superficies.

D. VIBRACIÓN

Esmerilado en Banda: En diversas clases de máquinas se puede impulsar bandas de tela continua reeducativas con abrasivo para proporcionar un movimiento cortante en línea recta para rectificado, alisado y pulido de las superficies de trabajo. Las superficies planas son las más comunes que se trabajan con las bandas de tela. Para esta superficie una mesa o platina detrás de la banda proporciona el soporte para producir una superficie plana cuando se mantiene el trabajo contra la banda. Pueden trabajarse algunas superficies curvas cuando la banda pasa sobre un tambor o polea, y las aristas algunas veces se desbarban contra una banda suelta que no tiene respaldo de soporte. La mayoría del pulimento en banda abrasiva se opera manualmente, aunque se pueden acabar grandes láminas de acero, bronce, aluminio, plástico y de otros materiales en máquinas completamente automáticas.

La velocidad de corte y la calidad del acabado de la superficie obtenido con revestimientos abrasivo, depende principalmente en el tamaño del abrasivo que se utilice, El tipo de abrasivo y la velocidad de corte también muestran cierta influencia. Cuando se desean acabados finos, como un pulimento metalúrgico, se usa una sucesión de abrasivos cada vez más finos y cada uno elimina marcas de arañazos del abrasivo precedente hasta que se alcanza la calidad deseada. Los abrasivos finos se usan sobre todo cuando el objetivo principal es mejorar el acabado. Cuando se usan granos gruesos pueden eliminarse cantidades significativas de material.

Las superficies planas iniciales en las fundiciones, forjas, conjuntos soldados y otros objetos de trabajo algunas veces se establecen por el esmerilado en banda. Sin embargo es más común cuando el objetivo es principalmente eliminar material, usar ruedas de esmeril de construcción sólida. Las aletas de las líneas de partición en las fundiciones y las forjas con frecuencia se eliminan y las condiciones de puertas, imperfecciones, o puntos sobresalientes, en todas las clases de partes, se disminuyen mediante ruedas de esmeril. Las rebabas y las aristas agudas también se eliminan por esmerilado, aunque esto se limita usualmente a lotes pequeño tamaño debido a que están disponibles métodos más económicos cuando las cantidades son suficientemente grandes.

E. PULIDO

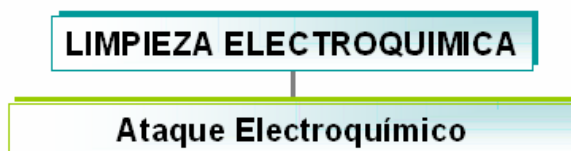
El pulido se utiliza para: mejorar el acabado para la presentación de las superficies, además consiste en un paso previo al recubrimiento electrolítico, el cual tiene capacidad limitada en la calidad de las superficies a obtener. También mejora la capacidad de las superficies de soportar fatiga. El pulido es un proceso para igualar o

emparejar superficies. Usualmente se realiza de forma manual, excepto cuando la cantidad de piezas sometidas a este proceso de limpieza es grande.

El término pulido se utiliza para cualquier forma de limpieza que proporciona una superficie brillante; por lo general se refiere a un proceso de acabado superficial que utiliza una rueda abrasiva flexible, las ruedas pueden ser de fieltro o de hule con una banda abrasiva o de discos múltiples revestidos con abrasivos u hojas revestidas con abrasivos, de fieltro o telas a las cuales se agrega un abrasivo suelto conforme se necesita, o de abrasivos en una matriz de hule. Las ruedas utilizadas en este proceso difieren de las ruedas del esmeril en que son flexibles y se puede aplicar presión relativamente uniforme a la superficie de trabajo. Esto facilita la formación de la nueva superficie. Pulimento: La diferencia entre el pulido y el pulimento, es que se utiliza un abrasivo fino como cera o alguna sustancia similar en medio de la rueda flexible. A través del abrasivo más fino se obtienen superficies de calidad más elevada y lustre. Permite la eliminación de pequeñas cantidades de metal. La combinación de los dos procesos suele dar resultados más favorables, sobre todo en materiales suaves, donde el flujo plástico facilita la eliminación de poros, rayas, etc. Para mejorar tanto apariencia como resistencia a la corrosión.

1.18.2.3 LIMPIEZA ELECTROQUÍMICA

La limpieza electrolítica es una forma de inmersión en una solución alcalina con la pieza de trabajo como el cátodo en un circuito eléctrico. El gas liberado en la superficie ayuda a desalojar las sustancias extrañas y puede depositarse en una delgada capa de estaño.



Ataque Electroquímico: Si una pieza de trabajo se suspende en un electrolito y se conecta el ánodo en un circuito eléctrico, suministrará metal al electrolito en un proceso inverso al del revestimiento electrolítico. El material se eliminará con mayor rapidez de los puntos altos de la superficie que de las depresiones y, por lo tanto, aumentará la textura promedio. El costo del proceso es prohibitivo para mejorar el acabado de la superficie del que sería necesario para el mismo grado de mejora por pulido mecánico. El electropulido es económico únicamente para mejorar una superficie que ya está buena o para pulir formas irregulares y complejas, las superficies de las cuales no son accesibles al pulido mecánico y al equipo de pulimento.

CAPÍTULO II

2.1. RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

INTRODUCCIÓN

Los procesos de recubrimientos electrolíticos o químicos consisten en depositar por vía electroquímica finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de iones metálicos o electrolito. En este proceso se usan productos químicos relativamente puros, sales y metales, de forma que durante la operación se depositan completamente los metales empleados sobre las piezas.

Los recubrimientos electrolíticos son aplicados con distintas finalidades así tenemos: para la decoración, protección, o modificación física de las superficies. *Anexo 4.*

2.1.1. FORMAS DE PROTECCIÓN

2.1.1.1. Protección con Efecto Decorativo:

Se da a la superficie un aspecto agradable a la vista con una protección frente a los agentes corrosivos. Estos acabados son frecuentes, por ejemplo: recubrimientos de níquel-cromo en la industria del automóvil y en el mueble de tubo.

2.1.1.1.2. Decoración sin Efecto de Protección

Dentro de esta gama ingresa la decoración de piezas por recubrimiento con una débil capa metálica (conseguida frecuentemente sin corriente, como el dorado y plateado), sea por formación sobre la superficie de una sal coloreada (coloración patina). Estos acabados se emplean frecuentemente en bisutería.

2.1.1.1.3. Protección sin Efecto Decorativo

Se busca únicamente la protección contra la corrosión. El zincado, cadmiado y el estañado se utilizan a este fin. Ante ciertos agentes físicos y químicos se utilizan recubrimientos de cromo duro, níquel o plomo. Los depósitos de cobre se utilizan para la protección parcial de piezas contra la cementación.

2.1.1.4. Modificaciones de las Propiedades Físicas

- Se busca por este depósito o tratamiento de conversión, obtener propiedades distintas del sustrato.
- Endurecimiento superficial por deposición de cromo duro o níquel químico.
- Auto lubricación de la superficie por cromado poroso.
- Mejoramiento de las condiciones de formación por fosfatación.
- Lubricación sobre las superficies sometidas a rozamiento. Para evitar los gripados en los engranajes se les recubre con cobre o latón y los cojinetes con plomo o estaño-plomo.

- Revestimiento y tratamiento de conversión para aumentar la adherencia y la protección con pinturas y lacas.
- Para la adherencia de hierro – caucho. Si sobre el acero se da una capa de latón o de fosfato, se logra esta adherencia.
- Aprovechamiento de piezas mecánicas desgastadas por el uso, por deposición de cromo duro o níquel a espesor.

La deposición de un determinado metal se obtiene a partir de baños o electrolitos de diferente composición. Las propiedades específicas de los recubrimientos están en función de los componentes del electrolito utilizado. La calidad de recubrimiento exigida para un campo de aplicación específico se cumple cuando las condiciones de trabajo son constantes, definidas y realizando un seguimiento periódico de los mismos. La estabilidad a largo plazo de los electrolitos es de gran importancia, para minimizar la generación de baños electrolíticos contaminados a tratar, requiere un seguimiento continuo de concentraciones de los compuestos básicos, las condiciones físicas y las contaminaciones orgánicas e inorgánicas. Así también no se debe omitir un mantenimiento y una limpieza del baño para eliminar partículas y sustancias contaminantes.

Antes de proceder a realizar el recubrimiento se debe considerar los siguientes factores:

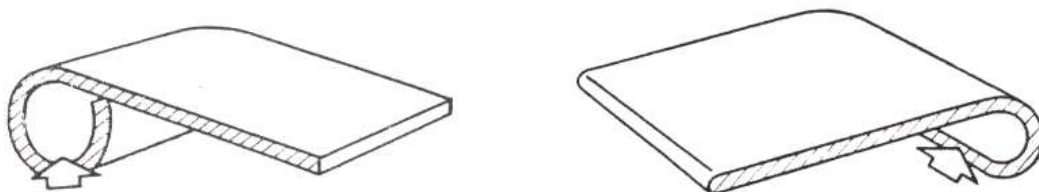
1. *Forma de Fabricación:* Piezas fundidas, embutidas o ensambladas.
2. *Metal Base:* Aluminio, cobre, hierro o zinc.
3. *Calidad del Material Base:* Con poros, grietas, orquedades, etc. Estado físico del metal. Tratamiento térmico (forjado, recocido, etc.).
4. *Dimensiones de las Piezas a Recubrir:* Pequeñas piezas metálicas, piezas de automóvil o mueble de tubo, pequeñas piezas de precisión, tortillería, etc.
5. *Forma de las Piezas:* dificultad de tratamiento (ánodos auxiliares). Dificultad de lavado (forma de las piezas). Dificultad de escurrido (ensamblajes).
6. *Tolerancia de Fabricación:* Piezas rectificadas, tornillería (protección y tolerancias), etc.
7. *Atmósfera de Trabajo:* Clima rural, industrial, marino, tropical, o productos químicos.
 - Temperatura de trabajo (utilización)
 - Espesor mínimo
 - Calidad del recubrimiento: Adherencia, porosidad, continuidad, etc.
 - Precio, costo

Cuando aún no se tienen las piezas a recubrir electrolíticamente, se debe tener presente los siguientes aspectos para el diseño de las mismas.

2.1.2. DISEÑO DE PIEZAS A RECUBRIRSE ELECTROLÍTICAMENTE

1. Especificar el metal base de superficie adecuada para obtener un acabado de buena calidad.
2. Evitar el empleo de distintos metales en una misma pieza, a menos, que se facilite el recubrimiento por separado.
3. Evitar el ensamblaje antes del recubrimiento, siempre que sea posible.
4. Cuando sea necesario recurrir a la soldadura con estaño para ensamblar antes del acabado, evitar que aquélla quede al descubierto en las juntas.
5. Evitar agujeros ciegos, cavidades, uniones o bordes enrollados en los que puedan quedar ocluidas porciones de las soluciones empleadas en la limpieza en el acabado (*Fig. A*).

Fig. A.



Fuente: Proyecto Racional de Piezas que deben ser acabadas electrolíticamente o por pintado.

6. Para construcciones de forma tubular, asegurar que los tubos se podrán obturar completamente o bien escurrir fácil y totalmente: por ejemplo: disponiendo, si es necesario, orificios convenientemente situados (*Fig. B*).

Fig. B

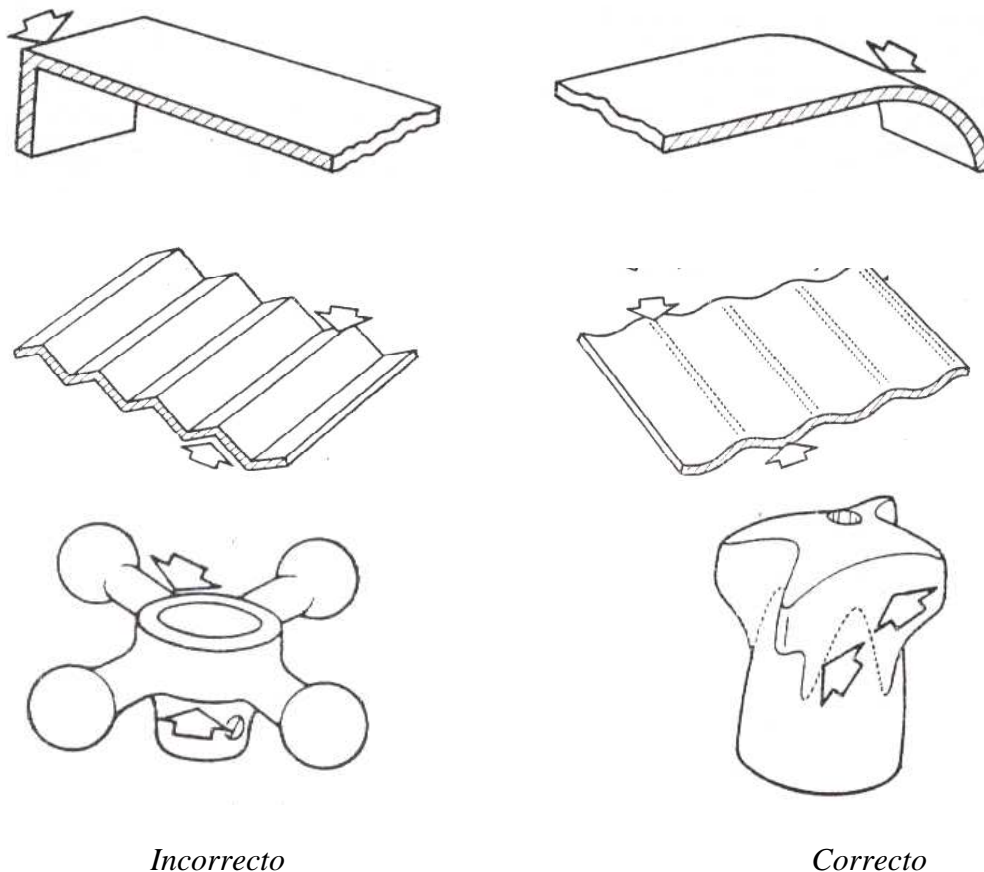


Fuente: Proyecto Racional de Piezas que deben ser acabadas electrolíticamente o por pintado.

7. Para la suspensión y buen contacto eléctrico prever algún punto (tal como un taladro, rosca, patilla o una superficie interior), donde el espesor del recubrimiento no sea esencial;
8. Evitar bordes de aristas vivas, rincones, protuberancias acusadas, cavidades profundas o porciones bruscamente entrantes y en las partes de las piezas en las que

se exija que el recubrimiento resista al desgaste o a la corrosión, con cavidades que no pueden tocarse con una bola de una pulgada de diámetro (25.4 mm). (*Fig. C*).

Fig. C



Fuente: Proyecto Racional de Piezas que deben ser acabadas electrolíticamente o por pintado.

9. Prever que las piezas puedan rodar juntas libremente sin entrelazarse cuando, por ser de tamaño demasiado reducido o muy numeroso, sea necesario recubrirlas en tambor.

10. Establecer claramente la especificación y clasificación a la que el recubrimiento deberá acomodarse.

Los procesos de recubrimiento superficial más utilizados en el país los podemos resumir en el *Anexo 5*. Sin embargo aquí desarrollaremos algunos de ellos.

2.2. ZINCADO

2.2.1 INTRODUCCIÓN

El zincado es el método de recubrimiento superficial para mejorar la resistencia a la corrosión del acero (y de las aleaciones de hierro).

Existe diferencia en la aplicación de los términos zincado y galvanizado; el zincado consiste en recubrir las superficies mediante vía electrolítica. Mientras el galvanizado permite el recubrimiento de piezas de acero o de hierro fundido mediante su inmersión en un baño de cinc fundido; De acuerdo a las características que deba presentar la protección anticorrosiva con zinc, se aplican diferentes técnicas de protección. *Anexo 6.*

2.2.2. PROPIEDADES DEL ZINC

Densidad: 7.1 Kg/dm³

Punto de Fusión: 419° C

Temperatura Límite de Empleo: 350° C

- El zinc presenta un buen comportamiento contra la corrosión en atmósfera rural y marina salvo en niebla salina, su resistencia es menor en las atmósferas industriales. Buena resistencia en contacto con agua de mar. El zinc resiste a las sales minerales y orgánicas neutras. El zincado también se utiliza como tratamiento superficial antes de un recubrimiento de pintura. Su resistencia al agua natural es débil. No resiste a los ácidos y bases.

2.2.3. PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL ZINCADO

Del cumplimiento de condiciones básicas depende en gran medida el éxito del recubrimiento, así las piezas a galvanizar deben estar exentas de contaminantes, tales como: restos de pintura, escoria de soldadura, productos anti-salpicaduras (soldadura), grasas y aceites, etc.

Limpieza: En primer lugar se realiza la inspección del material, con objeto de clasificarlo para programar el trabajo. Las sustancias contaminantes más corrientes son grasas, aceites, jabones, polvo, restos de capas de pintura y residuos de productos utilizados en operaciones mecánicas o de soldadura. *Anexo 7.*

El decapado en ácido clorhídrico diluido, elimina por completo los productos de corrosión, pero no así algunas de las sustancias contaminantes. Por otra parte, las irregularidades superficiales del acero, tales como araños, indentaciones, etc., pueden ocasionar una reacción más intensa del zinc con el metal de base, dando lugar en estas zonas a recubrimientos más gruesos o que resaltan más a la vista. Es aconsejable que los fabricantes eviten la contaminación de las piezas con aceites o grasas y, si esto fuera inevitable por ser necesario para el proceso de fabricación, se recomienda la utilización de aceites y grasas fáciles de retirar. Los restos de aceites y grasas que queden sobre la superficie del acero pueden ocasionar defectos en el recubrimiento zincado (zonas sin recubrir). Los residuos producidos por la soldadura con electrodos recubiertos producen escorias que se deben eliminar para que no originen defectos en el recubrimiento zincado. *Anexo 7.*

Rugosidad Superficial:

La composición química del acero influye decisivamente sobre el espesor y la estructura de los recubrimientos zincados, pero también tiene una influencia notable la rugosidad superficial, aunque, con frecuencia, no se toma este factor en consideración. Las superficies con elevado grado de rugosidad superficial, como la que se produce al chorrear con materiales abrasivos, dan lugar normalmente a espesores más gruesos de recubrimientos zincados, debido a que estas superficies presentan mayor área de reacción con el zinc y, retienen más zinc fundido cuando las piezas se extraen del baño de zincado.

Las superficies que hayan sido sometidas a algún tipo de tratamiento de deformación en frío, como esmerilado, pulido o estirado, pueden producir también recubrimientos más gruesos, debido a que las tensiones residuales superficiales que provocan estos tratamientos favorecen la formación de cristales más gruesos de aleaciones zinc-hierro.

Materiales: El empleo de distintas clases de acero en una misma construcción metálica puede dar lugar a diferencias en el aspecto del recubrimiento que se obtiene sobre cada una de ellas, debido a las diferencias de composición química.

2.2.4. NORMALIZACIÓN Y CONTROL

El espesor de los recubrimientos zincados es uno de los criterios fundamentales para establecer la calidad de los mismos, se expresa normalmente en micrómetros (μm), aunque también puede hacerse en g/m^2 (masa de recubrimiento por metro cuadrado de superficie del mismo). En la norma UNE, en ISO 1461 se especifican los valores mínimos admisibles del espesor de los recubrimientos zincados en función del espesor del material de base. *Anexo 8.*

Los pequeños defectos de continuidad del recubrimiento producidos durante el proceso, o por algún daño mecánico posterior, pueden subsanarse por metalización con zinc o mediante aplicación de pintura rica en zinc. Las piezas pequeñas presentan dificultades de manejo de acuerdo al tipo de instalaciones y la calidad superficial de los recubrimientos que se obtienen sobre las mismas, suele ser muy variable y no siempre la adecuada. Por estas razones este tipo de piezas son tratadas utilizando una variante de dicho procedimiento, consistente en introducir las mismas en cestas metálicas que se someten a un proceso de centrifugación inmediatamente después de su retirada del baño de zinc. De esta manera se consigue que el espesor y el aspecto superficial sea uniforme en todas las piezas que componen la carga. Este procedimiento se utiliza especialmente para el recubrimiento de clavos, tuercas, arandelas, tornillos, etc. *Anexo 9.* Las etapas fundamentales de este procedimiento son básicamente las mismas para cualquier aplicación, sin embargo con frecuencia se modifican algunos parámetros operativos para mejorar los resultados. Así por ejemplo, las piezas pequeñas son zincadas frecuentemente a temperatura elevada, $560\text{ }^\circ\text{C}$ o superior, en lugar de a $440 - 460\text{ }^\circ\text{C}$. Inmediatamente después de su electrolisis se centrifugan *Anexo 9*, para escurrir bien el zinc sobrante y mejorar la uniformidad y el aspecto del recubrimiento. Normalmente se enfrían sobre agua, para

evitar que las piezas se peguen entre sí. El tamaño de las piezas a zincar y el peso de la carga de cada cesta viene condicionado por la capacidad de la centrifuga. Cuando se trabaja a temperatura elevada es necesario utilizar un crisol de material cerámico.

Las normas no definen generalmente los tamaños de las piezas que se consideran como "piezas pequeñas" pero, en la práctica, esta denominación se aplica a las piezas que se van a zincar preferentemente en cestas y se centrifugan una vez extraídas del baño. La norma UNE en ISO 1461 contempla también recubrimientos galvanizados que se obtienen sobre estas piezas pequeñas, con o sin partes roscadas, especificando valores mínimos para su espesor medio que están comprendidos entre 25 y 55 micrómetros (μm) según sea el espesor del material base. Las piezas de este tipo deben fabricarse con acero adecuado para zincar y su forma debe ser también apropiada para las características del proceso. Así, por ejemplo, no son adecuadas para este procedimiento las piezas en forma de cápsulas o codos tubulares y, en general, todas aquellas que tengan orificios ciegos o zonas cóncavas en las que pueda quedar retenido el zinc.

Aspecto y Calidad Superficial:

La centrifugación elimina casi por completo la capa de zinc puro del recubrimiento (denominada también capa eta), razón por la cual la pieza centrifugada tiene recubrimientos más delgados que las que no se centrifugan. Por ello el aspecto de estas piezas no es plateado brillante, como el de la mayoría de los artículos zincados en discontinuo, sino que es gris más o menos oscuro. Esta diferencia de aspecto es puramente estética y no afecta a la calidad de protección frente a la corrosión. El aspecto de los recubrimientos de zinc depende principalmente de la composición del acero y del tipo de pieza. Las piezas pequeñas estampadas o estiradas en frío pueden presentar algunas veces una menor adherencia del recubrimiento.

La norma UNE 35-507 especifica a detalle las características de los recubrimientos zincados sobre los elementos de fijación y establece reglas para el mecanizado a sobre medida de las partes roscadas. En la práctica usualmente se trabaja los tornillos con sus roscas ya mecanizadas a sus dimensiones y tolerancias normales. Las roscas de las tuercas, sin embargo, se suelen mecanizar una vez zincadas las tuercas, con una sobre medida suficiente para compensar el aumento del diámetro de la rosca del tornillo debido al recubrimiento. Las roscas de las tuercas se cubren con grasa o aceite neutros como protección temporal hasta su acoplamiento. Una vez montadas en sus correspondientes tornillos, las roscas de las tuercas quedan protegidas por contacto con el recubrimiento de los tornillos.

Existe gran variedad de clavos, escarpas, ganchos, etc. que se someten a zincado con centrifugación. A pesar de las precauciones que se toman en el zincado de estos artículos, no es extraño que se suelden entre sí algunas unidades de los mismos. Existen muchos artículos de acero estampado y chapa con una gran variedad de formas. Ejemplos típicos son los pestillos, bisagras, grapas, abrazaderas, etc. En la fabricación de estos artículos hay que cuidar los materiales a utilizar y el diseño de las piezas, con objeto de facilitar el baño. Las cadenas también se suelen centrifugar

a su salida del baño de zincado, con objeto de impedir la soldadura de los eslabones y mejorar la uniformidad del recubrimiento.

2.2.5. ELECTRÓLISIS

2.2.5.1. BAÑOS CON CIANURO DE ZINC

Cianuro de Zinc:	33.5 g/l
Cianuro de Sodio:	44.5 g/l
Hidróxido de Sodio (Sosa Cáustica):	80 g/l
R- Cianuro de Sodio/Zinc Metal:	2.3 – 2.4
Brillo BZN-03(Aditivo):	3.5 ml /l

2.2.5.2. BAÑOS CON ÓXIDO DE ZINC

Óxido de Zinc:	32 g/l
Cianuro de sodio:	56 g/l
Hidróxido de Sodio:	80 g/l
R-Cianuro de Sodio / Zinc Metal:	2 -2.1
Brillo BZN-03 (Aditivo):	3.5 ml /l

Durante el proceso de electrólisis en el zincado se presentan un sin número de impurezas, las cuales deben ser eliminadas del baño; existe en el mercado purificadores que mantienen las soluciones de baños de zinc en perfectas condiciones, eliminando impurezas metálicas de cobre, plomo y cadmio que ingresan en el baño ya sea por los ánodos, por las sales o por residuos de material.

Además del purificador para el baño de zinc, encontramos en el mercado un producto conocido como brillo de zinc, el cual suple la necesidad de crear superficies de buena calidad y excelente brillo; se puede utilizar para baños de piezas colgadas o en tambor. Contribuye al recubrimiento permitiendo mayor adherencia de la película y un excelente poder de penetración. Además recibe fácilmente cualquier tipo de tratamiento cromatizante.

ADITIVOS

1. BRILLO DE ZINC BZN-03

Este abrillantador fue desarrollado para baños de zinc alcalino – cianurados, esta solución suple las necesidades de acabados de buena calidad y excelente brillo, logrando un mayor rendimiento con relación a productos similares existentes en el mercado. Puede ser utilizado para piezas colgadas como a tambor.

Además ayuda al recubrimiento, permitiendo mayor adherencia de la película y un excelente poder de penetración. También recibe fácilmente cualquier tipo de tratamiento cromatizante. Para baños que estén funcionando con otro tipo de

abrillantadores se puede agregar el BRILLO BZN-03 sin ningún tratamiento previo del baño, ni ajustes en formulaciones.

2.3. COBREADO

2.3.1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones electrolíticas del cobre están bien realizadas cuando presentan un color rosa salmón. A partir de un espesor de $10\ \mu\text{m}$ (micrón, equivalente a un a milésima de milímetro), su porosidad es muy débil. El cobre expuesto al aire seco, en una habitación por ejemplo, se empaña con bastante lentitud, pero en presencia del aire húmedo se cubre con mayor o menor rapidez de verdete. Sometido a la acción del calor, el cobre se oxida a partir de temperaturas bastante bajas (del orden de 200°C).

Las aplicaciones electrolíticas del cobre son especialmente utilizadas en forma de primera capa (inicial en el acero o el hierro fundido) destinada por lo general a recibir una posterior aplicación de níquel. Además se realizan estas aplicaciones para proteger las partes de las piezas a cementar que no haya de ser tratadas.

2.3.2. PROPIEDADES DEL COBRE

El cobre es por excelencia un buen conductor de calor. Sus principales características físicas son:

Densidad: $8.9\ \text{Kg}/\text{dm}^3$

Punto de Fusión: 1080°C

Calor Específico: $0.09\ \text{cal}/\text{g}\ ^\circ\text{C}$ (0 a 100°C)

Conductibilidad Térmica: $0.93\ \text{cal}\ \times\ \text{cm}.\ / \text{cm}^2/^\circ\text{C}\ \times\ \text{s}$

Resistencia Específica: $1.7\ \mu\Omega\ \text{cm}^2/\text{cm}$.

Dureza Brinell: 40 a 50

Temperatura límite de empleo: 300°C .

2.3.3. NORMALIZACIÓN Y CONTROL

Es necesario antes de proceder al recubrimiento conocer el espesor de cobre que formará una primera capa, o que protegerá algunas partes de los objetos a cementar. Para la cementación se estima que el espesor de cobre a aplicar sobre un acero debe ser como mínimo de $12\ \mu$; sobre el zinc que haya de cobrarse antes de un niquelado en baño corriente, es necesario un espesor de cobre de por lo menos $5\ \mu\text{m}$.

El método de Clarke determina el espesor de las aplicaciones de cobre y níquel por medio de una solución cuya composición es:

Cloruro férrico: 150g/l

Sulfato de Cobre Cristalizado: 100g/l

Acido acético cristalizable: 250g/l

Esta solución se vierte por un orificio capilar calibrado como se indica en el *Anexo 10*. A través de este se determina las velocidades de disolución de las capas de cobre depositadas, además Maeder ha determinado que la una capa de $13\ \mu\text{m}$ (0.0005 pulgadas) constituye un espesor suficiente para la protección contra la cementación y es atacada en un tiempo de 45 a 50 segundos por gota de litro de ácido nítrico.

La porosidad de un recubrimiento de cobre puede determinarse a través de la prueba de ferricianuro. Se aplica un papel (papel poroscópico) impregnado en una solución conteniendo 10g / litro de cloruro sódico y 1 g de ferricianuro que se humedese con agua antes de aplicarlo sobre la pieza a probar, que debe estar meticulosamente desengrasada. Se puede comprobar como aparecen manchas azules en los sitios en que hay porosidades; esta prueba sirve también por otra parte, para la determinación de otras aplicaciones electrolíticas, como las del níquel.

2.3.4. ELECTRÓLISIS

El cobre es, según sean las sales, monovalente o bivalente. En la práctica, las dos sales más utilizadas para la preparación de los baños de cobreado son el sulfato cúprico, SO_4Cu , $5\text{H}_2\text{O}$ (cobre bivalente), y el cianuro cuproso, CuCN (cobre monovalente). El cobre puede depositarse a partir de baños ácidos a base de sulfato o de soluciones alcalinas a base de cianuro. Conviene advertir que los baños ácidos al sulfato no son directamente utilizables para las aplicaciones de cobre sobre hierro, zinc u otros metales situados por encima del cobre en la serie de fuerzas electromotrices, puesto que se obtienen recubrimientos esponjosos y sin adherencia. Se emplean, pues, muy ampliamente baños al cianuro, que permiten obtener buenas aplicaciones sobre el acero, el hierro fundido, etc. Estos recubrimientos pueden, por otra parte, ser reforzados por electrólisis en los baños al sulfato, cuyo rendimiento es mejor.

2.3.4.1. BAÑOS ALCALINOS AL CIANURO

Una fórmula usual es la siguiente:

Cianuro cuproso	CuCN 22,5 g/l
Cianuro Sódico	NaCN 16 g/l
Carbonato Sódico	CO, Na , 15g/l

La densidad de corriente es de $0,5\ \text{A/dm}^2$ a la temperatura ordinaria. El pH se mantendrá entre 11,5 y 12,5. El rendimiento de este baño no excede del 70 %, pero con un baño más cargado de cianuro se puede alcanzar rendimientos próximos al 100 %. He aquí una fórmula:

Cianuro cuproso	CuCN	53g/l
Cianuro potásico	KCN	98g/l
Potasa cáustica	KOH	42g/l

Existen otras fórmulas interesantes de señalar. Indicaremos particularmente el baño a base de tartrato doble de potasio y de sodio o sal de Seignette (también conocida por sal de Rochelle).

Cianuro cuproso	26g/l
Cianuro sódico	35g/l
Carbonato sódico	30g/l
Sal de Seignette	45g/l

El pH es aproximadamente de 12,5. El baño se utiliza a la temperatura de 70° aproximadamente, con una densidad de corriente catódica de 6-7 A/dm³. Se agita mecánicamente y debe filtrarse con frecuencia. Este tipo de baño es poco utilizado en Europa, y muy usual en los Estados Unidos.

Un exceso de corriente en los baños al cianuro provoca recubrimientos oscuros y rugosos. Cuando a la solución le falta cianuro se obtiene un recubrimiento marcado de vetas oscuras, pero el exceso de cianuro o la falta de cobre conduce a aplicaciones lentas e incluso polvorientas.

2.3.4.2. BAÑOS ÁCIDOS

Los baños de sulfato de cobre son muy estables y su rendimiento es prácticamente del 100 %. Damos a continuación fórmulas de baños usualmente empleadas:

Sulfato de cobre (SO ₄ Cu ₅ H ₂ O)	200g/l
Acido sulfúrico (S ₀ ₄ H ₂)	50g/l

Este baño funciona a temperaturas que oscilan entre 20° y 50° C con una densidad de corriente de 1 a 4 A/dm². Con agitación por aire y a la temperatura de 45 a 50° C se pueden alcanzar densidades de corriente del orden de 10 A/dm². A la temperatura de 20° C (sin agitación) la densidad a admitir es de 1 a 1,5 A/dm². La fórmula de baño que a continuación se indica, más cargada de sulfato y de ácido sulfúrico, da también buenos resultados y es en particular empleada cuando se trata de lograr aplicaciones muy espesas.

Sulfato de cobre (SO ₄ Cu ₅ H ₂ O)	250g/l
Acido sulfúrico (S ₀ ₄ H ₂)	75g/l

Se utiliza con una densidad de corriente de 2 a 10 A/dm², una temperatura de 20 a 50° C y agitación por aire. A la temperatura de 20° C apenas se puede sobrepasar la densidad de corriente de 2 A/dm². Las densidades de corriente del orden de 10 A/dm² son alcanzadas con temperaturas de 30 a 50° C. Para una cantidad dada de sulfato de cobre el aumento de la proporción de ácido sulfúrico incrementa la conductibilidad de la solución. El *Anexo II*, indica la resistencia específica de diversas soluciones de sulfato de cobre. Una densidad de corriente muy elevada provoca recubrimientos deslucidos, estriados de negro e incluso granulados, pero esto también puede ser provocado por una porción insuficiente del ácido sulfúrico si la densidad de corriente es negativa.

2.3.4.3. BAÑOS DE FLUOBORATO

Este baño es muy interesante en el sentido de que permite lograr rápidamente espesas capas de cobre. Se trabaja con densidades de corriente superiores a las que se pueden admitir en un baño de sulfato. La concentración en fluoborato de cobre puede variar de 225 a 450 g/l, con una adición de 2 g de ácido fluobórico. El pH varía de 1,2 a 0,5, la temperatura de 25 a 75° C y las densidades de corriente pueden ser, en baño agitado, del orden de 30 A/dm², y en baño no agitado del orden de 15 A/dm². El máximo de densidad es obtenido con los baños más concentrados, es decir, dosificando 400 a 450 g de fluoborato de cobre por litro, con un pH de 0,6, con agitación y con temperatura aproximada de 80 °C. No interesa aumentar el porcentaje de ácido fluobórico, puesto que el límite superior de densidad queda rebajado. El baño al fluoborato no puede ser utilizado para el cobreado directo del acero y del zinc.

2.3.4.4. RECUBRIMIENTOS SOBRE PIEZAS A CEMENTAR

Las superficies que no van a ser cementadas se recubren de cobre. Se procede de la siguiente manera:

Después de haber protegido la parte a cementar por medio de una mano de una materia protectora (cera, barniz especial) se someten las piezas a un desengrase electrolítico, y después, previo lavado, a un cobreado alcalino. Tras un nuevo lavado, se efectúa por fin un cobreado con baño ácido. El tiempo de electrólisis en baño ácido debe ser suficiente para que el recubrimiento tenga un espesor superior a 12u.

2.3.4.5. BAÑOS BRILLANTES DE COBRE

Este tipo de aplicación constituye un excelente depósito intermedio para niquelado y posterior cromado de varios metales, además de protección directa contra diversos agentes corrosivos.

El espesor del depósito dependerá de los fines que se desee dar al objeto a tratar o de su recubrimiento posterior (niquelado, niquelado – cromado). Cuando se utiliza el cobre como elemento protector contra la corrosión del aire húmedo, se recomienda un espesor mínimo de 0.020 – 0.050 mm, si bien es mejor sobre pasar este límite de dos a tres veces, ya que, debido a la irregularidad de la superficie a tratar, en algunas partes el espesor indicado ha quedado notablemente disminuido.

Cuando es necesario la eliminación del depósito de cobre, por defectos superficiales o para restaurar el depósito desgastado parcialmente, esta eliminación se realiza por medio de vía química, el objeto es descobreado por inmersión en una solución fría o caliente con 300-400 g/l de CrO₃ y 40 g/l de H₂SO₄ cuando la base es hierro o aleación de este metal y en una solución conteniendo 180-200 g/l de SNa₂ poli sulfurado, también en frío o en caliente, cuando la base es zinc o sus aleaciones. Por vía electroquímica el depósito de cobre se elimina tratando las piezas en un baño de

CrO₃, cuando la base es de hierro o acero y en un baño de SNa₂ cuando la base es zinc o aleación.

2.3.4.6. ÁNODOS

Se recomienda la utilización de ánodos de cobre electrolítico fundido o laminado. Los mejores resultados se obtienen con los ánodos laminados, pues presentan una estructura más homogénea y más fina.

Cuando los ánodos funcionan bien en baño ácido, presentan una apariencia clara y mate. Los ánodos brillantes indican un exceso de ácido, de igual modo que los ánodos oscuros indican una densidad de corriente muy elevada. Cuando los ánodos trabajan bien en un baño de cianuro, se recubren de un ligero verdete, que es, por otra parte, fácilmente soluble en un exceso de cianuro.

Para los baños brillantes los ánodos deben ser extremadamente puros, no debiendo contener metales pesados sobre todo Zn, Fe, Cd, Ni o Pb, ya que la presencia de estos en pequeñas cantidades pueden producir depósitos mates y de mala calidad, además de alterar la composición del electrolito al provocar una excesiva disolución de los ánodos o bien una pasivación de los mismos. Los ánodos utilizados se acostumbra a protegerlos en sacos de nylon o algún tejido similar, con esto se evita que las impurezas de los mismos pasen a la solución – electrolito.

2.4. NIQUELADO

2.4.1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones electrolíticas del níquel son ampliamente difundidas en el aspecto decorativo de las superficies, por lo general se complementan con una ligera capa de cromo que conserva su brillo, ya que, el níquel con el tiempo tiende a empañarse cuando está solo. Los recubrimientos de níquel decorativos son siempre de poco espesor, en un rango de 1-40 μ aproximadamente. También se hacen aplicaciones gruesas de níquel, que pueden alcanzar varios milímetros de espesor, esta aplicación se realiza para proteger a las piezas contra la corrosión, el desgaste ó cuando se trata de rellenarlas (alabes de turbinas, hélices, ejes de bombas, varillas de émbolos, etc.).

2.4.2. PROPIEDADES DEL NÍQUEL

El níquel ofrece una buena resistencia a la corrosión. Resiste muy bien a los álcalis (sosa y potasa), a las sales alcalinas (carbonato sódico, sulfato potásico) y a las soluciones de sales orgánicas (ácido acético, ácido tartárico, etc.). En caliente prácticamente no se oxida antes de alcanzar temperaturas en el orden de 700° C.

Densidad:	8.9 Kg /dm ³
Punto de Fusión:	1450° C
Calor Específico:	0.11 cal / g ° C

Coefficiente de Dilatación:	13.1×10^{-6}
Conductibilidad Térmica:	$0.16 \text{ cal} \times \text{cm} / \text{cm}^2 \times ^\circ \text{C} \times \text{s}$
Resistencia Específica a 20° C:	$7 \mu \Omega \times \text{cm}^2/\text{cm}$.
Módulo de Elasticidad a la Tracción:	2100

La dureza de los recubrimientos de níquel varía de 130-425 Brinell aproximadamente, según el tipo de baño que haya sido utilizado. Para una dureza de 120-130 Brinell la carga de rotura a la tracción es de 35 Kg/ mm² y un alargamiento de 30-35 %. Para una dureza de 400 Brinell, la carga de rotura es de 100Kg / mm² y el alargamiento de aproximadamente un 6%.

2.4.3. PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL NIQUELADO

Los recubrimientos de níquel requieren una buena preparación de las piezas, de acuerdo al tipo de aleación a recubrir, especialmente cuando se requieren espesores grandes y complementados con un recubrimiento electrolítico de cromo.

Latón: Además del desengrase al tricloroetano, y del desengrase electrolítico en solución alcalina (con piezas en el cátodo) se aconseja un tratamiento electrolítico alcalino con las piezas en el ánodo, durante algunos segundos (se utilizan los mismos baños que para el desengrase de tipo catódico). Posterior al lavado se sumergen las piezas en una solución de ácido clorhídrico del 10 al 15% a la temperatura (aproximadamente) de 60° C y durante un tiempo de 20 a 30 segundos.

Cobre: Igualmente que el latón después del desengrase alcalino (con piezas en el cátodo), se efectúa un tratamiento anódico y se sumergen en una solución de cianuro sódico al 5 %, a la temperatura ordinaria, durante algunos segundos. Finalmente después del lavado, se sumerge en una solución de ácido sulfúrico al 5 – 6 %, a la temperatura aproximada de 60° C durante un instante.

Acero: Después de pasar por desengrase al tricloroetileno, realizar desengrase alcalino en el cátodo y tratar en el ánodo, y tras efectuar el lavado, se sumergen las piezas en una solución clorhídrica del 10 al 15%, a temperatura aproximada de 60° C, durante un periodo de 20 a 30 segundos.

Hierro Fundido: Posterior al desengrase al tricloroetileno se procede a un desengrase catódico alcalino seguido de un tratamiento anódico. Se lavan y se colocan las piezas en el ánodo de un baño sulfúrico con una dosis aproximada del 15% de ácido sulfúrico y a temperatura ordinaria. La densidad de corriente es de 15 a 20 A/dm² y durante aproximadamente 5 minutos.

Cuproníquel Monel: Se aplica el mismo tratamiento que para el hierro fundido.

Aleaciones de Hierro-Níquel: Se aplica el mismo procedimiento que para el hierro fundido.

Aleaciones Níquel-Cromo. Acero Inoxidable: Después de pasar por desengrase al tricloroetileno, las piezas pasan a un desengrase catódico alcalino, se efectúa un tratamiento anódico alcalino, se procede al lavado y se realiza el tratamiento anódico durante 2 minutos, con una densidad de corriente de 3 a 4 A/dm², en el baño que a continuación se indica, a una temperatura de 20° C y utilizando ánodos de níquel:

Cloruro de níquel	240 g/l
Ácido clorhídrico	86 cm ³ /l

Durante 6 minutos se invierte la corriente en el mismo baño, convirtiéndose así la pieza en cátodo. La presencia de níquel así conseguida impide que la pieza se vuelva pasiva cuando esta transportada (con rapidez) al baño de niquelado.

2.4.4. ELECTRÓLISIS

El níquel es bivalente. Las sales de níquel más utilizadas para la preparación de baños de niquelado son:

Sulfato de níquel	SO ₄ Ni 7H ₂ O
Cloruro de níquel	NiCl ₂ 6H ₂ O
Sulfato doble de níquel y de amonio	SO ₄ Ni, SO ₄ (NH ₄) ₂ , H ₂ O

El sulfato de níquel es el más utilizado. Sin embargo, actualmente hay cierta tendencia en emplear baños de niquelado a base de cloruros. En general, el baño de niquelado corriente contiene de 100 a 400 g de sulfato de níquel por litro, de 10 a 40 g de cloruro de níquel o de cloruro sódico y de 20 a 30 g de ácido bórico. La concentración en sulfato de níquel se incrementa con la densidad de la corriente. El cloruro facilita la corrosión de los ánodos y el ácido bórico hace el papel de tampón oponiéndose a las variaciones del pH. En ciertos casos se añaden sulfates alcalinos, como el sulfato sódico, el sulfato magnésico o también el sulfato amónico en estado de sulfato doble, para aumentar la conductibilidad de las soluciones y de disminuir la concentración de iones de níquel. Los diversos baños de niquelado actúan generalmente con muy débil acidez (pH de 4,8 a 6,5). En ciertos casos, la acidez puede ser más fuerte: pH de 1,5 a 2, como en los baños de cloruros.

El pH es un factor muy importante en los baños de niquelado. Su valor óptimo dependerá de la composición de electrolito, de su temperatura y de la densidad de corriente. Así para cada baño existe un valor límite del pH. La acidez debe ser verificada con frecuencia. Para ello pueden seguirse diversos métodos: el método electrométrico, el método colorimétrico y el método basado en papeles muy sensibles que viran a un color determinado y permiten localizar el pH. Los dos últimos métodos son, en la práctica, los más utilizados en los talleres. El método colorimétrico hace uso de las propiedades de ciertos indicadores, como la púrpura del bromocresol y el azul de bromotimol, cuyo color varía según la concentración en hidrógeno de las soluciones. La púrpura de bromocresol cubre una extensa gama de pH: 5,3 a 7, intervalo en que varía de un amarillo a un rojo púrpura.

2.4.5. BAÑOS DE NÍQUEL FRECUENTEMENTE EMPLEADOS

- Baños de Níquel Blanco o Mate
- Niquelado en Tambor
- Baños de Níquel en Caliente (Watts)
- Baño de Cloruro de Níquel

- Baño de Níquel para Recubrimientos Duros
- Baños de Fosfato de Níquel
- Baño de Fluorato de Níquel

En la práctica se distinguen los siguientes tipos de baños: fríos, calientes sin agitación, calientes con agitación y brillantes.

2.4.5.1. BAÑOS FRÍOS:

Actúan a una temperatura ordinaria, con densidades de corriente bajas en el rango de 0,2 a 1 A/dm². Los baños fríos son cada vez menos aplicados y remplazados por los baños calientes que representan la tendencia moderna. En la constitución de estos baños entran, usualmente, además del sulfato de níquel, el sulfato doble de níquel y amonio, cloruros, ácido bórico y a veces sulfato sódico y sulfato de magnesio. He aquí a continuación algunas fórmulas anteriormente aplicadas:

Sulfato de níquel	100 g/l 100 a 150 g/l
Sulfato doble de níquel y amonio	50
Cloruro sódico	10
Sulfato sódico	50
Acido bórico	15

Las densidades de corriente utilizadas en estos baños no exceden corrientemente de 0,5 A/dm². Las capas obtenidas son de poco espesor, a menudo frágiles y son en consecuencia poco aptas para recibir recubrimientos de cromo. Con las siguientes formulaciones se puede alcanzar mejores resultados a través de las cuales es posible alcanzar de 0,8 a 1 A/dm²:

1.

Sulfato de níquel	250 g/l
Cloruro sódico	10 g/l
Acido bórico	20 g/l
pH clorimérico	5.5 - 5.8

2.

Sulfato de níquel	150g/l
Cloruro sódico	10g/l
Sulfato de sódico anhidro	30g/l
Sulfato amónico	15g/l
pH colorimétrico	6 - 6.5

2.4.5.2 BAÑOS CALIENTES SIN AGITACIÓN

Sin agitación, trabajan con densidades de corriente de 2 a 5 A/dm². Los baños calientes permiten obtener rápidamente recubrimientos de níquel espesos para proteger eficazmente al acero, las aleaciones de cobre, etc. La composición de estos baños varía dentro de ciertos límites, en general, los siguientes:

Sulfato de níquel	200 a 300 g/l
Cloruro de níquel	20 a 30 g/l
Acido bórico	10 a 20 g/l

Para las concentraciones más bajas la densidad de la corriente es de aproximadamente 2 A/dm² y para las más elevadas (es decir, de 250 a 300 g/l de sulfato de níquel) es de aproximadamente 5 A/dm². La temperatura del baño se mantiene hacia los 40° C y el pH entre 5.2 - 5.7. En este tipo de baños las técnicas americanas indican las siguientes fórmulas (baños de Watts):

1.

Sulfato de níquel	240g/l
Cloruro de níquel	45g/l
Ácido bórico	30g/l

Estos baños actúan con un pH de 4.5-5.5 y a la temperatura de 45-55° C. La densidad de corriente puede oscilar entre 2 y 7 A/dm²)

2.

Sulfato de níquel	330g/l
Cloruro de níquel	45g/l
Acido bórico	38g/l

El rango de pH es de 1.5-4.5 y a la temperatura de 45-60° C. La densidad de corriente es de 2.5 a 8 A/dm².) Las ventajas de este baño con débil pH comparadas con las anteriores, son las siguientes: Pueden emplearse densidades más elevadas de corriente, con un poder de distribución bastante bueno, sin temor de quemar el recubrimiento; además, el rendimiento anódico es mejor. Existe, no obstante, una cierta tendencia al picado para ciertos pH y el rendimiento catódico es más débil. El baño con, bajo pH proporciona aplicaciones de níquel de las llamadas blandas, es decir, de una dureza que no pasa de 150 a 160 Vickers.

3.
Para obtener recubrimientos de níquel duros tenemos:

Sulfato de níquel	180 g/l
Cloruro Amónico	25 g/l
Ácido Bórico	30 g/l
pH:	5.6 a 5.9
Temperatura:	45 - 60 °C
Densidad de Corriente:	2.5 – 5 A/dm ²
Dureza:	425 ° Vickers (<i>aproximadamente</i>)

Se aplican para recargar piezas que se mecanizan mejor que los recubrimientos de cromo y no presentan la tendencia a la formación de fisuras, sin dejar de presentar una buena resistencia a la corrosión.

2.4.5.3. BAÑOS CALIENTES CON AGITACIÓN

Actúan con densidades de corriente que van de 5-12 A/dm². En un baño frío, por ejemplo, con una densidad de corriente de 0,5 A/dm² se requiere de dos horas para efectuar una aplicación electrolítica de 1/100 milímetros de espesor, mientras que en un baño caliente, admitiendo 3 A/dm², son necesarios veinte minutos. Para estos baños se tiene una composición que varía dentro de los siguientes límites:

Sulfato de Níquel	300 - 400 g/l
Cloruro de Níquel	20 - 45 g/l
Ácido Bórico	20 - 40 g/l
Densidad de corriente:	5 - 12 A/ dm ²
Temperatura:	45 - 65° C
pH:	4.8 - 5.7

La agitación se realiza a través de aire comprimido o por desplazamiento de las piezas. La máxima densidad de corriente, de 10 a 12 A/dm², se logra con la concentración de 400 - 450 g/l de sulfato de níquel, trabajando aproximadamente a una temperatura de 60° C y con un pH de 5. Con una concentración de 350 g de sulfato de níquel se puede trabajar con una densidad de corriente de 7 - 9 A/dm², siendo la temperatura de 50 a 55° C y un pH de 5.5 aproximadamente.

Otro baño que interesa recordar es el de cloruro, utilizando hasta el presente, especialmente en los Estados Unidos, baño en que el sulfato de níquel queda sustituido por el cloruro de níquel. De utilización relativamente reciente, este baño ofrece diversas ventajas. Su composición es la siguiente:

Cloruro de Níquel	300 g/l
Ácido bórico	30g/l
pH:	2
Temperatura:	50 – 60° C
Densidad de Corriente:	5 – 10 A/dm ²

Para densidades de corriente superiores, las piezas se agitan en el baño. El baño al cloruro aporta ahorro de energía, ya que permite trabajar con un pH más bajo, resultando nula la tendencia al picado. Proporciona recubrimientos de grano fino y más duros que los obtenidos con los baños a base de sulfato mencionados anteriormente (240 a 450 g/l de sulfato de níquel), su dureza es aproximadamente de 250° Vickers, lo que corresponde a una carga de ruptura a la tracción de 65-70 Kg²/mm y un alargamiento de 20-25%. El baño al cloruro presenta el inconveniente de ser muy corrosivo. Necesita cubas forradas de caucho, con accesorios de karbata, ebonita² o incluso de vidrio.

² *EBONITA: Caucho vulcanizado. Materia negra y dura de propiedades aislantes.*

2.4.5.4. NIQUELADO BRILLANTE

Por lo general los baños brillantes de níquel se encuentran protegidos por patentes. Pueden distinguirse dos tipos de baño:

- Los que contienen sales metálicas, como las sales de cadmio, zinc o de cobalto.
- Baños que contienen productos orgánicos como resinas, aminas sulfonadas, aldehídos y diversos cuerpos muy complejos.

El baño al cobalto Weisberget Stoddard, muy conocido y patentado. Su fórmula es la siguiente:

Sulfato de níquel	240 g/l
Cloruro de níquel	30 g/l
Formiato de níquel	45 g/l
Acido bórico	30 g/l
Sulfato de cobalto	2.6 g/l
Sulfato de amonio	0.8 g/l
Aldehído fórmico	2 g/l

El pH es de 3,5 a 4,5 y la temperatura de 55 a 60° C. El baño se agita y en estas condiciones la densidad de corriente admitida es de 5 a 6 A/dm². Los ánodos son de níquel-cobalto. Este baño ha sido ampliamente difundido, en Inglaterra y en los Estados Unidos, actualmente va siendo remplazado por los baños orgánicos; si resulta relativamente fácil preparar un baño de niquelado que produzca recubrimientos brillantes, puede decirse por el contrario que la puesta a punto de un baño de niquelado brillante es muy delicada, pues hay que tener en cuenta la mayor o menor velocidad de agotamiento del abrillantador, su estabilidad y su sensibilidad ante las impurezas que pueden existir o formarse en el electrolito y cuyas consecuencias pueden ser nefastas. Es conveniente realizar operaciones de filtrado y de depuración para separar los cuerpos no eliminables por filtrado. Muchos de los baños de niquelado brillante actúan dentro de estrechos límites y no dan buenos resultados en la práctica. Esta es la razón porque los buenos baños no abundan, se requiere de investigaciones adecuadas y sus respectivas patentes.

2.4.5.4. NIQUELADO DE PIEZAS PEQUEÑAS O NIQUELADO AL TAMBOR

Esta forma de niquelado se emplea con frecuencia para piezas de tamaño pequeño. Se desengrasan meticulosamente las piezas (paso por tricloretileno, por sosa caliente (solución al 20 %), e inmersión en solución clorhídrica al 20 %). La siguiente formulación da buenos resultados:

Sulfato de níquel cristalizado	250 g/l
Cloruro sódico	15 g/l
Sulfato sódico anhidro	50 g/l
Sulfato amónico	10 g/l

El pH se mantiene entre 6.5 y 6.8 y la temperatura entre 20 y 30° C. El niquelado por tambor permite obtener débiles espesores, de algunas micras como máximo. La protección es, en consecuencia, muy débil. Se recomienda utilizar la máxima densidad de corriente posible, para lo que se requiere una tensión bastante elevada, de 15 - 20 voltios. Se advierte a veces un tono grisáceo en las piezas, debido a que la solución se convierte en alcalina. En este caso conviene añadir ácido sulfúrico, con el fin de conseguir el pH requerido.

2.4.5.5. NIQUELADO NEGRO

El niquelado negro, es a veces, practicado con fines decorativos. Las siguientes soluciones generan buenos resultados:

1.		
	Sulfato doble de níquel y amonio, cristalizado	60 g/l
	Sulfato de zinc cristalizado	7.5 g/l
	Sulfocianuro sódico	15 g/l
2.		
	Sulfato de níquel cristalizado	75 g/l
	Sulfato doble de níquel y amonio, cristalizado	45 g/l
	Sulfato de zinc cristalizado	37 g/l
	Sulfocianuro sódico	15 g/l

Los ánodos empleados son de níquel o de carbón. La densidad de corriente de trabajo es muy débil, de 0,2 A/dm² (tensión de 1-1.5 voltios). El pH se mantiene aproximadamente en 5.8. Durante la operación el baño muestra tendencia a acidificarse. Para contrarrestar se debe agregar de vez en cuando amoníaco.

2.4.5.6. BAÑOS DE NÍQUEL SOBRE DIFERNTES MATERIALES

Además de realizar baños sobre acero o sus aleaciones es posible realizarlo sobre piezas de distintos materiales como:

2.4.5.6.1. NIQUELADO DEL ZINC

El zinc sumergido en un electrolito de niquelado, desplaza al níquel de esta solución, en forma de poso pulverulento. El niquelado del zinc requiere de especiales precauciones. Para ello tenemos los siguientes métodos:

1. Niquelado después de cobreado
2. Niquelado en baños especiales

El primer método es el más usual, las piezas deben prepararse a través de un desengrase al tricloretileno, desengrase electrolítico seguido de una ligera corrosión, pudiendo obtenerse esta corrosión por medio de una solución fría al 1 % de ácido fluorhídrico, o de una solución fría de ácido clorhídrico al 5 %.

Niquelado Directo: La obtención de un buen niquelado por este sistema, requiere especial cuidado. Para ello es necesario contar a partir del momento de la inmersión en el baño, con una densidad de corriente uniformemente distribuida sobre las piezas y para esto se recomienda aplicar sobre éstas una corriente bastante elevada al principio de la operación. Si no se toma tal precaución se corre el riesgo de ver aparecer manchas negras en las zonas cóncavas de las piezas. Sin embargo debe tenerse en cuenta que si la corriente es excesivamente fuerte puede quemar la capa depositada en las zonas salientes. Se debe acondicionar bien los ánodos con el fin de obtener una densidad de corriente lo más regular posible. Los baños para el niquelado directo de zinc contienen, generalmente, sulfato sódico o citrato sódico. Así tenemos las siguientes fórmulas:

1.	
Sulfato de níquel	70 g/l
Sulfato sódico anhidro	110 g/l
Cloruro amónico	15 g/l
Acido bórico	15 g/l
2.	
Sulfato de níquel	75 – 100 g/l
Cloruro amónico	15 g/l
Acido bórico	20 g/l
Citrato sódico	100 g/l

Estos baños trabajan a temperatura ordinaria con un pH de 5.8 - 6.2 y una densidad de corriente de 0.7 - 1 A/dm², pero se comienza el niquelado con una densidad de 4 - 5 A/dm² durante un minuto. Se recomienda agitar el baño o las piezas con esto no es necesario calentar el electrolito.

2.4.5.6.2. NIQUELADO SOBRE COBREADO

El cobreado se ejecuta en baño alcalino. El espesor del cobre debe ser como mínimo de 0.005 mm si se requiere obtener posteriormente recubrimientos de níquel de buena calidad. Sobre un buen cobreado es posible niquelar en cualquier baño corriente de niquelado.

2.4.5.6.3. NIQUELADO DEL ALUMINIO

Para realizar niquelado de aluminio se requiere una especial preparación de este metal. El aluminio, se halla recubierto de una película de alúmina que impide la adherencia del níquel. Dos procedimientos son empleados para lograr el niquelado sobre aluminio:

1. Se sumergen las piezas en una solución que contiene iones metálicos desplazables por el aluminio. Se forma una película metálica que sustituye a la alúmina y sobre la que puede depositarse el níquel. Para ello existen dos métodos:

a) Método del Percloruro de Hierro: Antes de ser sumergidas en el percloruro, las piezas han de estar perfectamente desengrasadas, es decir, han de someterse a la acción de un disolvente orgánico y tratarse después electrolíticamente como cátodos, con una solución alcalina. La siguiente fórmula da muy buenos resultados:

Carbonato sódico anhidro	20g/l
Fosfato trisódico anhidro	100g/l
Solución de silicato sódico concentrado a 35° Bé	5g/l

La densidad de corriente es aproximadamente de 10 A/dm². El tiempo de inmersión ha de regularse mediante ensayos previos. Los ánodos han de ser de acero dulce. Posterior al desengrase se pueden recubrir fácilmente las piezas con una capa de hierro adherente, sumergiéndolas en la siguiente solución:

Agua	100 l
Acido clorhídrico a 22° Be	3 l
Solución de percloruro de hierro a 45° Be	8 l

Esta solución se emplea en caliente, casi en ebullición. La solución presenta en tales condiciones un color rojo. El tiempo de inmersión oscila entre 20 - 40 segundos, valor que también conviene regular, previos ensayos, si se quiere obtener una aplicación de hierro bien adherente. Entre las aleaciones de aluminio hay algunas fáciles de niquelar, como el ³alpax, mientras que otras, como el ⁴duraluminio, crean dificultades. Desde el punto de vista de la adherencia y según la aleación a tratar es necesario variar las concentraciones de ácido clorhídrico y de percloruro de hierro, oscilando la de este último, por ejemplo, entre 4 y 8 litros por 100 litros de agua. En general, si el tratamiento es ejecutado satisfactoriamente, el procedimiento por el percloruro de hierro permite recubrimientos de níquel bien adherentes. No hay que olvidar, la acción corrosiva de la solución, para lo que se recomienda utilizar cubas esmaltadas o revestidas de caucho, calentándose generalmente al baño María (baño de aceite). El niquelado sobre una capa previa de hierro puede efectuarse en cualquier baño de niquelado corriente. Se aconsejan especialmente baños calientes, que proporcionan recubrimientos espesos y dotados de buenas propiedades mecánicas (baño de 250 g/l de sulfato de níquel, por ejemplo).

b) Método del Zincato Sódico: Las piezas, bien desengrasadas, se sumergen en una solución de zincato sódico. Por desplazamiento se produce un recubrimiento adherente de zinc. Se puede cobrear a continuación y acto seguido niquelar en baños corrientes o bien niquelar directamente sobre el zinc en baños especiales (los indicados para el niquelado del zinc). Se recomienda, sobre todo, el previo cobreado en baño de cianuro, puesto que la capa de zinc depositada por desplazamiento es muy delgada y el baño de niquelado podría atravesarla y atacar el aluminio.

³ **ALPAX:** Aleación eutéctica compuesta de aluminio y silicio.

⁴ **DURALUMINIO:** Aleación ligera de aluminio y cobre con pequeñas cantidades de magnesio, manganeso, y silicio de gran dureza, ligereza y resistencia

He aquí a continuación un proceso que da buenos resultados tras adecuado desengrase (método recomendado en los Estados Unidos):

- a) Inmersión de las piezas durante un tiempo de 1-5 minutos en una solución sulfocrómica conteniendo 172 g/l de ácido sulfúrico y 35 g/l de ácido crómico, calentada a la temperatura de 80° C;
- b) Inmersión de las piezas durante un tiempo de 3 - 5 segundos en una solución nitrofluorhídrica, conteniendo tres partes de ácido nítrico concentrado y una parte de ácido fluorhídrico comercial al 48 %, a la temperatura ordinaria;
- c) Nueva inmersión en la mezcla sulfocrómica durante 1 minuto;
- d) Inmersión durante un tiempo de 2 - 5 minutos en la solución de zincato de sosa, que contiene:

Óxido de zinc	100 g/l
Sosa comercial al 67 %	525 g/l

A la temperatura ordinaria para las aleaciones de aluminio que contienen cobre, se aconseja sustituir el óxido de zinc por sulfato de zinc (350 g/l de SO_4Zn , 7 H_2O). Las piezas de aluminio, una vez recubiertas de zinc son cabreadas. Se recomienda, en la práctica americana, el baño siguiente:

Cianuro de cobre	41 g/l
Cianuro sódico	51 g/l
Carbonato sódico	30 g/l
Sal de Rochelle (o de Seignette)	3 g/l

Temperatura ordinaria y pH de 10,5.

A continuación las piezas se someten al baño electrolítico de niquelado. Son importantes algunas indicaciones sobre las precauciones a tomar cuando se efectúe el tratamiento en baño de zincato:

Por la viscosidad del baño hay que las piezas al sacarlas del mismo. En el momento de la introducción de la pieza hay que agitarla para eliminar rápidamente la película superficial de agua. Los elementos de tacto eléctrico con las piezas de aluminio también deben ser de dicho metal, puesto que los otros metales pueden ser atacados cuando se efectúa el decapado.

Método de Oxidación Anódica:

Las piezas de aluminio se oxidan en una solución de ácido fosfórico, se forma así una película porosa de óxido que permite el niquelado. Se opera de la siguiente manera:

Posterior al desengrase con disolventes orgánicos, con piedra pómez húmeda o por procedimiento electrolítico en una solución que no ataque al aluminio, se sumerge la pieza durante un tiempo de 3 - 10 segundos en una solución de sosa cáustica al 5 % y a la temperatura de 65 - 70° C; a continuación se sumerge en una solución de ácido nítrico concentrado durante 10 segundos y a la temperatura ordinaria. Finalmente se efectúa la oxidación anódica en una solución conteniendo 500 g/l de ácido fosfórico a la temperatura ordinaria, durante 10 minutos y con una densidad de corriente de 1.3

A/dm² y una tensión de 20 voltios. Se agita la solución. El porcentaje de 500g/l de ácido fosfórico es idóneo para el aluminio puro, pero para las aleaciones conteniendo magnesio, silicio o cobre la concentración de ácido fosfórico ha de ser de 350g/l. Después de la oxidación anódica se efectúa el niquelado, comenzando durante medio minuto con una densidad de corriente bastante leve (1A/dm²) que se elevará seguidamente a 4 A/dm².

2.4.6. ÁNODOS

Los ánodos de níquel pueden ser: ánodos fundidos, laminados corrientes, o despolarizados. Anexo Sus dimensiones por lo general son de: espesor 6 a 15 mm; ancho de 100 a 150 mm; longitud varía de acuerdo a la profundidad de las cubas. Los ánodos despolarizados son presentados en forma elíptica, en la actualidad, todos los ánodos se presentan en metal de elevada pureza y contienen por lo menos 99% de níquel. Según la British Standard Specification, en su especificación número 558, indica la siguiente composición:

Níquel + Cobalto	≥ 99%
Níquel	≥ 98.5 %
Hierro	≤ 0.75 %
Cobre	≤ 0.25 %
Silicio	≤ 0.1 %
Manganeso	≤ 0.1%
Carbono	≤ 0.3 %
Zinc	≤ 0.01 %

El buen funcionamiento de un ánodo en un baño de niquelado tiene gran importancia. En primer lugar, su rendimiento ha de ser el más elevado posible, no debe introducir en los baños impurezas o partículas, que puedan dirigirse a las piezas y provocar rugosidades o picados. Por lo tanto un ánodo debe corroerse de manera uniforme y permanecer limpio, es decir, no debe cubrirse, como ocurre a veces, de una capa negra (carbonilla) compuesta por un tipo de óxido de níquel y de ciertas impurezas. Este parámetro es de suma importancia para los baños calientes y agitados, en que el desplazamiento de las impurezas es rápido. En este último caso, por otra parte, los ánodos van rodeados de fundas de algodón o materia similar, incluso nylon. Estas fundas de algodón deben estar completamente limpias para evitar contaminación de los baños por productos orgánicos.

Los ánodos fundidos son atacados con facilidad, muestran cierta tendencia a disgregarse debido a su grosera estructura, lo que puede provocar recubrimientos de níquel rugosos. Los ánodos laminados son de un grano más fino que los fundidos, dan por lo general mejor resultado, especialmente cuando el trabajo se efectúa bajo fuertes densidades de corriente. Cuando los ánodos laminados están constituidos por níquel muy duro suelen presentar a veces el inconveniente de la pasividad. Esta pasividad puede, no obstante, anularse por corrosión en una solución clorhídrica al 35 %. Los ánodos despolarizados están formados por níquel muy puro laminado y conteniendo óxido de níquel muy finamente repartido por la masa del metal. La presencia de óxido de níquel regulariza la corrosión sin introducir materias extrañas.

Los ánodos despolarizados dan muy buenos resultados en los baños calientes con densidad media o elevada. En Estados Unidos las aplicaciones se las realizan con ánodos llamados al carbono, bajo forma fundida o laminada, su contenido de carbono esta entre 0.2 -0.3 %. En el transcurso del trabajo los ánodos se recubren de una película adherente de carbono y silicio, hallándose el silicio presente en una proporción aproximada al 0.2%. Esta película es lo suficientemente tenaz como para impedir que las incidentales partículas de metal pasen a la solución de níquelado. Cuando se utilicen baños agitados por aire se recomienda recubrir los ánodos con fundas.

2.4.7. NORMALIZACIÓN Y CONTROL

El espesor de níquel aplicado para recubrir acero, hierro fundido, aleaciones no ferrosas, aluminio, etc. han sido establecidos en diferentes normas como por ejemplo las normas francesas, que están reguladas por la Asociación Francesa de Normalización; así la norma A-91 – 101 que habla sobre recubrimientos electrolíticos de cromo y níquel y níquel con espesores de 2μ a 5μ . Las calidades se designan con los siguientes símbolos:

N2	
N5	
N10	NC10
N20	NC20
N30	NC30
N40	NC40
N50	NC50

Las cifras indican el espesor mínimo del recubrimiento en micras. El símbolo N se refiere al recubrimiento de níquel únicamente, y el símbolo NC indica un recubrimiento formado por una capa de cobre recubierta de níquel, para este caso el espesor mínimo de níquel en micras debe ser por lo menos igual a la mitad del espesor total mínimo. Así tenemos:

Níquelado de Calidad N10: Recubrimiento formado únicamente de níquel, en ningún punto de la pieza el espesor de la aplicación debe ser inferior a 10μ , la calidad N10 proporciona una buena protección a las aleaciones cuprosas colocadas en atmósfera exterior, pero su protección en el acero es muy mediana.

Níquelado de Calidad NC20: Recubrimiento compuesto de cobre y una capa de níquel. El espesor total cobre níquel no debe en ningún punto ser inferior a 20μ . En ningún punto el espesor del níquel debe ser inferior a 10μ . La calidad NC20 es aplicable para los recubrimientos sobre acero, garantiza una buena protección de este metal, como también del hierro fundido.

En general, una buena protección del acero y del hierro fundido se logra con un espesor de 20μ , de níquel (En la industria automovilística de los Estados Unidos, los espesores son de 40 y 50 u.). Tanto para el cobre y las aleaciones cuprosas debe

contarse con 10μ . Para aleaciones de zinc y de aluminio con 20μ . Un aspecto importante de no olvidar, es que, en ningún punto de la pieza el espesor debe bajar de los índices establecidos en la distribución de las capas electrolíticas. El anexo 2.4 muestra la tabla 2.1 donde se presenta una recopilación de datos importantes sobre dicha distribución:

Las normas ASTM (*American Society for Testing*) también regulan la calidad del niquelado en función del empleo de las piezas. Para el acero existen cuatro calidades, con 11, 19, 31 y 51μ de níquel ó de níquel y cobre. Por ejemplo para espesores de niquelado en la industria del automóvil americana:

Piezas en acero	Servicio muy duro	51 a 76 micras
Piezas en acero	Servicio exterior	38 micras
Piezas en acero	Servicio interior	13 micras
Piezas en latón	Servicio exterior	13 micras
Piezas en latón	Servicio interior	8 micras
Piezas en zinc moldeado a presión	Servicio exterior	31micras
en zinc moldeado a presión	Servicio interior	6 micras

Según la British Standard 1224-1953 (Electroplated Coatings of níquel and chromium), los espesores locales mínimos del níquel sobre acero, cobre y zinc tenemos:

Níquel sobre Acero	Níquel sobre cobre o sobre Aleaciones de cobre	Níquel sobre Zinc
0.03	0.012	0.015 sobre 0.0075 de cobre
0.02	0.0075	0.0075 sobre 0.0025 de cobre
0.015 sobre 0.0075 de cobre		
0.01	0.0025	
0.05		

Prueba de la Gota

Para un control rápido y eficiente de los recubrimientos de níquel dentro de un taller, la norma A91-101 de la AFNOR indica la prueba de la gota con el siguiente reactivo:

Agua Destilada	40 cm^3
Ácido Sulfúrico	$(d= 1.83) = 20\text{cm}^3$
Ácido Nítrico concentrado	$(d= 1.49) = 80\text{cm}^3$

Este reactivo debe mantenerse en un lugar exento de luz y bien tapado con esmeril. El proceso consiste en: La pieza se desengrasa con una mezcla éter-alcohol, a continuación por medio de un gotero se deposita una gota del reactivo sobre un punto de la pieza, se deja reposar durante un minuto y se limpia con un paño seco. Si el metal recubierto, o el cobre intermedio, no es visible, se deposita en el mismo punto una segunda gota, a la que se deja actuar durante un minuto, y así, sucesivamente. Para una temperatura de 20° C el espesor del níquel electrolítico disuelto es aproximadamente de 2μ por minuto. Para temperaturas no muy distantes de 20° C la corrección es de $\pm 0.1 \mu$, según la temperatura suba o baje de 20° C.

Conviene advertir que esta velocidad de ataque corresponde a los recubrimientos realizados en baños corrientes, conteniendo sulfato de níquel, cloruro de níquel y ácido bórico, o también sulfato de níquel y sulfato amónico. Pero para recubrimientos brillantes de níquel, logrados en baños provistos de abrillantadores, la velocidad de ataque puede ser muy diferente y conviene determinarla con anterioridad y por medio de pruebas.

En el Fig. Podemos observar la influencia de la temperatura sobre la velocidad de disolución de una cinta de níquel fundida en vacío y laminada ($e = 18.5 \mu$). El control del espesor puede realizarse utilizando el método de Clarke, para este caso se usa la misma solución que para el cobreado. La siguiente Fig. indica la velocidad de disolución en la prueba de Clarke. La norma AFNOR indica que la medición del espesor local se realiza disolviendo (2cm^2 aproximadamente) de recubrimiento y dosado el níquel contenido en la solución resultante del ataque. Para medir el espesor medio, se puede disolver la totalidad del recubrimiento electrolítico y dosar el níquel, de igual modo, en la solución. Se obtiene así el espesor medio del recubrimiento de níquel:

$$\text{Espesor Medio} = \frac{P}{s * d}$$

P = metal

s = superficie del recubrimiento

d = densidad del recubrimiento

Los reactivos convenientes para los ataques varían con el metal base. Para el niquelado sobre hierro fundido, acero y aluminio, se emplea el ácido nítrico concentrado, y para el niquelado sobre cobre y latón se realiza el ataque electrolítico con cátodo de platino en una solución de ácido clorhídrico al 5 %. La norma AFNOR indica dos métodos de verificación de la adherencia. Así tenemos: Por corte del recubrimiento empleando un buril de grabador y el segundo por la prueba de la lima. Par el primero conviene para los recubrimientos delgados y el segundo para los de orden de 20μ o más. La norma indica para el control de la continuidad, una prueba con papel poroscópico impregnado de la siguiente mezcla:

Agua destilada	1000 g
Cloruro sódico	60 g
Ferricianuro potásico	10g
Ferrocianuro potásico	10g

Una vez aplicado el papel humedecido, las partes en que el hierro esté al desnudo aparecen en azul. Para el cobre y las aleaciones cuprosas, la coloración que se presenta es parda. La continuidad puede verificarse por medio de una solución de agar-agar y contenido igualmente los cuerpos indicados en la precedente fórmula.

2.4.8. EFECTOS DE LAS IMPUREZAS EN LAS SOLUCIONES DE NÍQUEL Y MÉTODOS DE PURIFICACIÓN

Uno de los defectos más usuales es el del picado. El picado puede ser debido a una agitación insuficiente o a la contaminación procedente de cuerpos orgánicos o inorgánicos. El exceso de corriente y de acidez, también puede producir un picado. El picado puede combatirse manteniendo una gran limpieza del baño o añadiendo un agente oxidante (agua oxigenada o ácido nítrico, este último en forma de nitrato de níquel). La adición de un oxidante debe realizarse en débil proporción y muy paulatinamente. Para el nitrato de níquel se emplea una solución al 20 % de esta sal por litro, y se añade tan sólo cada vez una dosis de 0,2 cm³. Un exceso de oxidante rebaja el rendimiento catódico y el poder de penetración.

Los recubrimientos rugosos provienen a menudo de materias en suspensión en los baños o por una mala preparación de las piezas, pero pueden asimismo ser provocados por un pH demasiado elevado, por fuertes densidades de corriente en las zonas con tendencia a quemarse o por una agitación insuficiente. Los recubrimientos frágiles pueden ser debidos a un exceso de oxidante, a una contaminación por materia orgánica o a un contenido demasiado bajo de ácido bórico. A continuación algunas indicaciones sobre la influencia de diversas impurezas:

Hierro: Recubrimientos duros, frágiles, con tensiones internas; deficiente poder de distribución y sombras blancuzcas a grises en zonas de baja densidad de corriente. Para su descontaminación se realiza una oxidación y precipitación del hierro con 1-3 ml/l de peróxido de hidrógeno a temperatura de 65°C y subsiguiente filtración con carbón activado. Además tratamiento de láminas corrugadas y electrolisis a 0.3 A/dm² de 6 - 12 horas con pérdida de brillos y algo de níquel.

Zinc: Picados; recubrimientos oscuros; recubrimientos presentando franjas brillantes o negras. Deficiente poder de distribución; débil rendimiento catódico. Para su eliminación se hace un tratamiento con láminas corrugadas y electrolisis a 0.3 A/dm² con pérdida de brillo y níquel.

Cobre: Genera depósitos oscuros en zonas de baja densidad de corriente, si la contaminación es alta produce depósitos rosados y ásperos; débil rendimiento catódico. Para su eliminación se hace un tratamiento con láminas corrugadas y electrolisis a 0.2 A/dm², con pérdida de brillo y níquel.

Cromo: Produce débil rendimiento catódico, depósitos ásperos, blancuzcos (a cierta concentración), se incrementa la dureza y cristalización del depósito, produciendo fragilidad y descascaramientos. Para su descontaminación es casi imposible eliminar por electrolisis, hay que reducir Cr^{+6} a Cr^{+3} con níquel metálico $\text{pH} < 3$ y agitación. Luego de un tiempo elevar la temperatura a más de 75°C por varias horas y precipitar el Cr con carbonato de níquel elevando el $\text{pH} > 5$. Filtrar bien con carbón.

Plomo: Produce depósitos oscuros en zonas de baja densidad de corriente; en zonas de alta, presenta depósitos grises, además dureza en el depósito. Para su eliminación se realiza un tratamiento con láminas corrugadas y electrolisis a 0.1 A/dm^2 con pérdida de brillo y níquel. También se puede agregar aditivos que ayudan a descontaminar la solución.

Exceso de Gas Carbónico: Tensiones internas; recubrimientos agrietados.

Compuestos Orgánicos Sulfurados: Recubrimientos frágiles.

2.4.9. DESNIQUELADO

Para retirar la capa de níquel o desniquelar el acero y el aluminio se atacan con ácido nítrico concentrado. Para desniquelar las piezas de acero recubiertas de capas espesas ($\geq 25 \mu$) se colocan las piezas en el ánodo en una solución sulfúrica al 50 % en volumen, bajo la débil tensión de 2 voltios. Para el latón se coloca la pieza en el ánodo, en una solución conteniendo un 5 % en volumen de ácido clorhídrico, bajo la tensión de 5 a 6 voltios. El zinc se ataca con la solución que a continuación se indica:

Agua	1 parte
Acido sulfúrico	2 partes
Acido nítrico	1 parte
Acido clorhídrico	1/10 partes

2.4 CROMADO

2.4.1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones electrolíticas de cromo tienen un aspecto blanco con reflejos azulados de gran dureza (400-1000 Brinell), ofrecen buena resistencia al empañamiento. Existen recubrimientos muy delgados, destinados a la decoración, y recubrimientos espesos para diversas aplicaciones industriales. El cromado electrolítico para decoración es por lo general depositado sobre una capa de níquel que garantiza la protección de las piezas contra la corrosión atmosférica, al mismo tiempo que la delgada película de cromo se opone al empañamiento. A consecuencia del débil rendimiento de los baños de cromado, no puede depositarse cromo de forma económica, sino en capas muy poco espesas y haría falta un espesor de por lo menos 0,03 mm para obtener una buena resistencia contra los agentes atmosféricos. El

espesor de los recubrimientos de cromo para la decoración no sobrepasa la milésima de milímetro (1μ).

El cromo posee buena resistencia a la oxidación a elevada temperatura; a los compuestos de azufre, resiste al ataque de los ácidos nítrico, acético, cítrico y fosfórico, el cromo resiste a la mayor parte de los agentes químicos: ácidos, bases, sales, no resiste al ácido clorhídrico y sulfúrico caliente. Se recomienda su aplicación como revestimiento para resistencia a diversos agentes químicos, dureza, resistencia al desgaste, como superficie de frotamiento, presenta buen aguante ante el petróleo y sus derivados se les pueden emplear en medio oxigenado, vapor de agua, en presencia de gas carbónico, de gas sulfuroso hasta 1000°C . Cuando se depositan capas espesas las aplicaciones son industriales que requieren resistencia al desgaste, la mejora de las condiciones de rozamiento, resistencia a la corrosión, etc., como en matrices de estirado, cilindros de laminadora, ejes de bombas, émbolos, etc., pudiendo oscilar, en estos casos, el espesor entre una centésima de milímetro y unas décimas. Hay que diferenciar los depósitos decorativos inferiores a una micra, y los depósitos decorativos se dan sobre una capa de níquel para evitar su deslucimiento o empañadura. Los depósitos de cromo micro sulfurado mejoran grandemente la resistencia a la corrosión. Los depósitos de cromo duro se caracterizan por un espesor que puede ir de algunas micras a varias décimas de milímetro.

2.4.2. PROPIEDADES DEL CROMO

Densidad:	7.14 Kg /dm ³
Punto de Fusión:	1800° C
Dureza del Depósito:	1000 Vickers
Temperatura Límite de Empleo:	800° C
Coefficiente de dilatación lineal a	0 ° C: 0,8 mm/m. °C
Conductibilidad térmica:	0,8 cal x cm. /cm. x °C x s
Resistencia específica:	40 $\mu\Omega$ cm ² /cm.
Módulo de elasticidad:	25000 kg/mm ²

El coeficiente de conductibilidad térmica es elevado, lo que es de gran interés para la evacuación de las calorías. El cromo resiste bien a la oxidación en presencia del aire, se presenta a temperaturas elevadas, del orden de 800°C . El índice de reflexión del cromo es del 65 %.

2.4.3. NORMALIZACIÓN Y CONTROL

La norma AFNOR A 91-101 para los recubrimientos decorativos indica los espesores del orden de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 y 1μ , así como métodos de verificación del espesor, de la adherencia y de la continuidad. La prueba de la gota permite un control rápido del espesor. Para esto se utiliza la siguiente solución:

Agua destilada: 40 cm³
 Acido clorhídrico: 60 cm³
 d= 1 .18

Sobre la pieza previamente desengrasada con una mezcla de éter-alcohol, se deposita una gota de reactivo por medio de una pipeta. La velocidad de ataque es aproximadamente de $0,006 \mu$ por segundo a 20°C y la corrección a hacer es de $\pm 0,0003$ por $^\circ\text{C}$, según que la temperatura se eleve o baje, dentro de la gama calorimétrica que va de 10 a 30°C .

Han de adoptarse distintas precauciones para la conservación de la solución de ataque. Debe mantenerse ésta en un frasco taponado al esmeril y mantenido al abrigo de la luz; además, la pieza a probar habrá de permanecer durante 30 minutos en un local después del desengrase. Debe conocerse con exactitud la temperatura en el momento de efectuar la prueba. No ha de contarse el tiempo sino a partir del momento en que la gota se vea invadida por las burbujas gaseosas y se advierta desprendimiento en la superficie. El final del ataque es señalado por la aparición, a través del reactivo, de la superficie clara y amarillenta del níquel.

Al margen del espesor puede verificarse la continuidad de los recubrimientos de cromo. Después del desengrase efectuado con una mezcla éter-alcohol (cuando la pieza es importante se la protege con una mano de temple), se sumerge la pieza durante un minuto en el siguiente reactivo:

Cloruro sódico cristalizado	120 g
Cloruro cúprico cristalizado	170 g
Agua destilada	1 litro

La acidez libre se satura introduciendo en el frasco que contiene la solución una cantidad en exceso de óxido cúprico. Tras la acción del reactivo, se lava con agua corriente y se seca con un trapo limpio. Los lugares en que el níquel se halla al desnudo toman un aspecto mate y lechoso fácil de distinguir.

La medida del espesor de los recubrimientos de cromo puede hacerse por disolución química del recubrimiento aplicando, sobre una superficie exactamente medida, una solución al 50 % de ácido clorhídrico, con posterior dosado del cromo contenido en la misma. Para el cromo espeso (o cromo duro), al margen de la verificación por medición de las cotas antes y después de la electrolisis, pueden obtenerse buenos resultados por método magnético. La medida por disolución química no resulta conveniente dado el espesor, demasiado importante, de los recubrimientos.

2.4.4. ELECTRÓLISIS

El cromo puede ser bivalente, trivalente o hexavalente. Podrá, pues, parecer oportuna la utilización, por ejemplo, del sulfato de cromo $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, o del cloruro de cromo, CrCl_3 . *Anexo 12.*

El cromado busca esencialmente el brillo de las superficies, como la capa es extremadamente delgada, la velocidad de obtención del recubrimiento no cuenta mucho e interesa utilizar baños de buena conductibilidad con el fin de economizar

corriente. Los baños empleados contienen ácido crómico en la posición indicada en el *Anexo13*.

Ácido Crómico / litro:	300 a 400 g
Ácido Sulfúrico:	3 a 4 g
Densidad de corriente:	7 – 15 A/dm ²
Temperatura:	35 – 45 °C

La relación CrO₃ / H₂SO₄ debe coincidir o apartarse un poco de la proporción indicada (el ácido crómico no debe contener ácido sulfúrico); el rendimiento catódico es, óptimo para la reacción 100, como se observa en el *Anexo12*.

En la gráfica #2 indica la conductibilidad de las soluciones en función de su concentración en CrO₃ y de la temperatura.

La siguiente *Tabla A* proporciona la relación existente entre la densidad del baño, en grados Baumé, a 20°, su peso específico a 20° C y su contenido en CrO₃.

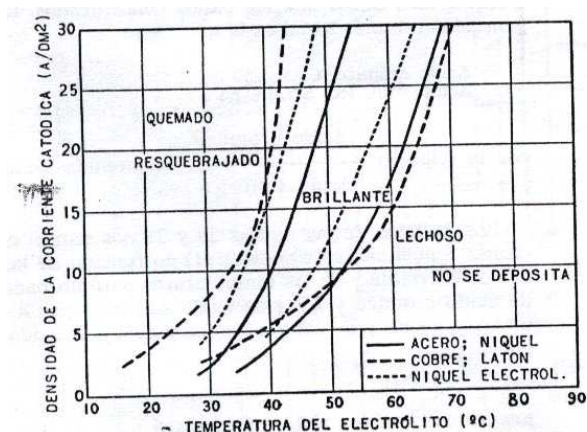
TABLA A:

Contenido en CrO ₃ (g/l)	Densidad de Corriente a 20° C (° Bé)	Peso específico del baño a 20° C
170	15	1,11
200	18	1,14
225	20	1,16
250	22	1,18
300	25	1,21
330	27	1,23
360	29	1,25
390	30	1,27
420	33	1,29

Para que el rendimiento de cromo ostente el brillo requerido en decoración, es ante todo necesario que la capa previa de níquel tenga una superficie bien preparada (es decir, que sea, especialmente, muy bien pulida), y por otra parte que las densidades de corriente como las temperaturas estén bien estudiadas para que caigan en la zona de obtención del cromo brillante.

La siguiente gráfica indica un baño de 250g/l de CrO₃, el aspecto de los recubrimientos en función de la densidad de corriente de la temperatura. Estos gráficos nos muestran también la zona de brillo es más amplia para las aplicaciones realizadas sobre cobre y latón que para aquéllas realizadas sobre níquel o acero.

Gráfica # 3:



Cuando se realizan recubrimientos de cromo espeso (o cromo duro) se emplean baños con una concentración inferior a 300g/l de ácido crómico. Estos baños son de mejor rendimiento, tanto desde el punto de vista de la energía eléctrica consumida como desde el punto de vista de la cantidad de metal depositado. Proporcionan recubrimientos más duros que los baños concentrados. La fórmula generalmente empleada es:

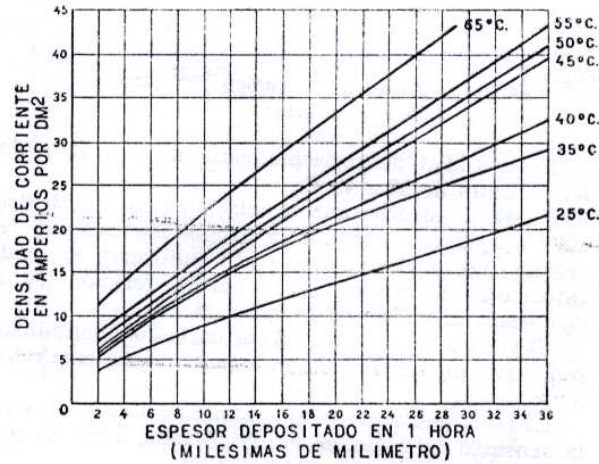
Ácido crómico CrO_3 : 250 g/l
 Ácido sulfúrico SO_4H_2 : 2.5g

Con la relación: $\frac{\text{ácido crómico}}{\text{ácido sulfúrico}}$ mantenida siempre a 100.

Con las siguientes gráficas podemos determinar el espesor de cromo depositado en una hora en función con las densidades de corriente y de las temperaturas para un baño de 250g de ácido crómico y 2.5g de ácido sulfúrico por litro y para un baño de 400g de ácido crómico y de 4g de ácido sulfúrico por litro.

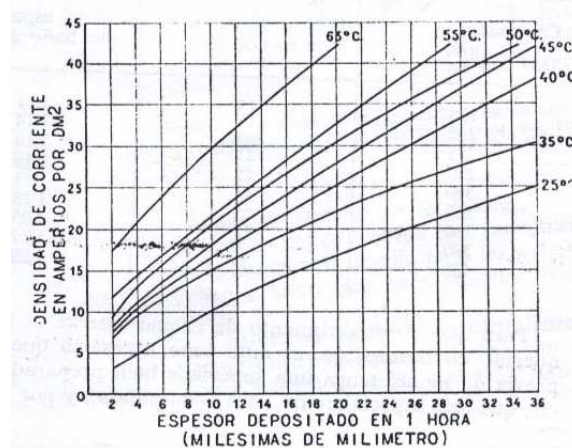
Gráfica # 4:

Baño de Cromado con 250g/l de ácido crómico y 2.5 g/l de ácido sulfúrico



Gráfica # 5:

Baño de Cromado con 400g/l de ácido crómico y 4g/l de ácido sulfúrico



2.4.4.1. RENDIMIENTO DE LOS BAÑOS DE CROMADO

Cuando se trabaja con baños fríos el rendimiento es débil. Para recubrimientos brillantes, a temperaturas de 40 a 55° C, el rendimiento es mucho más débil, es decir, que no excede del 10 al 15%. La práctica más común cuando se tiene que cromar piezas de forma irregular, es importante trabajar con un amplio margen de densidades de corriente, siempre que no se abandone la zona de brillo. Para este fin suelen utilizarse densidades de 10 a 20 A/dm² y tensiones de voltaje que van de 5 a 8 voltios para soluciones relativamente poco concentradas y de 4 a 6 voltios para soluciones más concentradas. Los gráficos anteriormente observados nos permiten estudiar el rendimiento. Así en el baño de 400 g CrO₃, una corriente de 10 A /dm² depositará en una hora, a la temperatura de 35 – 40 °C, aproximadamente 5 μ, lo que corresponde a un rendimiento de 11% aproximadamente (según Faraday el peso depositado debería corresponder al espesor de 46 μ).

2.4.4.2. PODER DE PENETRACIÓN

El poder de penetración del cromo es débil, es decir, que las partes salientes de las piezas reciben mucho metal mientras que las partes en hueco reciben muy poco y a veces ninguno, y esto obliga a condiciones especiales de trabajo para los baños de cromado. El poder de penetración crece rápidamente con la densidad de corriente, pero decrece con la elevación de la temperatura, siendo no obstante débiles las variaciones ocasionadas por esta causa. El aumento de la proporción de ácido crómico hace disminuir el poder de penetración, mientras que, por lo contrario, el aumento en ácido sulfúrico lo mejora.

2.4.5. MANTENIMIENTO DE LOS BAÑOS DE CROMO

Una solución de baño de cromo cuando está nueva generalmente tiene un color rojizo transparente, pero con el transcurso del tiempo y debido a varios factores, el baño va perdiendo ese color transparente y empieza a tomar un color oscuro y a ponerse espeso. Estos factores pueden ser ocasionados por:

- ***Pasivación de los ánodos:*** Con lo cual el baño pierde su relación de ánodo - cátodo y se va produciendo el cromo trivalente (por reducción del cromo hexavalente) este Cr^{+3} reduce la penetración del depósito y torna el baño más oscuro.
- ***Material caído en la solución:*** Este se va disolviendo (cobre, bronce, zinc, etc.) y espesando la solución.
- ***Contaminaciones propias del ambiente:*** Todos estos factores dificultan la relación de un análisis exacto en cuanto a la cantidad de sales en la solución. Para la penetración, se verifica realizando el test de Celda Hull, la cual nos da un diagnóstico exacto de como se encuentra el baño,

El baño de cromo tiene una aceptación máxima de trivalente (Cr^{+3}) hasta 40 g/l, presentando ya deficiencia en el depósito. Este trivalente se puede reoxidar siguiendo estos pasos:

- Se niquelan varillas de cobre o hierro de 6 mm de diámetro y se colocan en el baño a una distancia de 10cm cada una, luego se pone a trabajar con una corriente de 3,5-4 voltios durante el tiempo necesario, sabiendo que en 8 horas de trabajo se reoxidan 4 g/l de trivalente (Cr^{+3}).
- Además se utiliza un sistema de cromo a base de catalizadores fluorados y sulfurados, los cuales estabilizan el cromo y mantienen bajo el nivel de Cr^{+3} (trivalente); es así que podemos trabajar la solución a temperatura ambiente manteniendo la penetración alta por mucho más tiempo.

CATALIZADORES Y ADITIVOS PARA LOS BAÑOS DE CROMO

1. SISTEMA DE CROMO DI-CO

Actualmente existen en el mercado nuevos sistemas de catalizadores adecuados para procesos de cromo decorativo y cromo duro, basados en sales de cromo hexavalente. Estos sistemas trabajan con dos catalizadores, el primero es la base para mantener el contenido de Ión sulfato; y el segundo a base de fluoruros mantiene la solución estable, libre de manchas y ayuda a la penetración. Estos nuevos sistemas pueden facilitar el trabajo.

Ventajas:

- Se puede trabajar desde 18° hasta 40° C, cambiando la concentración de los aditivos.
- Son de simple manejo para el operador.
- Menos frecuencia de test de laboratorio
- Ayudan a mantener el cromo trivalente en su nivel normal, si se mantiene la relación ánodo-cátodo de 2:1.
- No es necesario analizar el sulfato por los métodos usuales.
- Fácil de evaluar y mejorar el poder de penetración.

Desventajas:

- El ácido crómico usado debe ser de muy buena calidad.
- Cuando se utilizan baños que utilizan sulfatos es demoroso más no imposible su arreglo.

Debe utilizarse cubas de hierro o acero revestido de PVC o resina antiácida; existen cubas fabricadas en polipropileno, si se trabaja con temperatura se necesitará calefactores de cuarzo, los ánodos usados son los mismos que para el cromo convencional (aleación de plomo).

Instrucciones de Uso para Cromo Decorativo y Duro:

Las cantidades de catalizadores a continuación indicadas son exclusivamente para soluciones nuevas. Debido a la concentración de ácido crómico y a la calidad del mismo, se hace necesario un ajuste que se realiza bajo pruebas de laboratorios especializados. Además se puede convertir un baño de cromo existente a este sistema, para ello se debe proceder a realizar test bajo laboratorio.

BAÑO DE CROMO DECORATIVO		
Ácido Crómico	250 - 255 g/l	
Densidad de Corriente	3 - 20 A/dm ²	
Temperatura	18 - 25° C	32 - 40° C
Aditivo CRA	8 ml / l	15 ml / l
Aditivo CRB	30 ml / l	5 ml / l
Aditivo CRC	2 ml / l	4 ml / l

BAÑO DE CROMO DURO	
Ácido Crómico	200 - 220 g/l
Densidad de Corriente	15 - 50 A/dm ²
Temperatura	55° C
Aditivo CRA	15 ml / l
Aditivo CRB	2,5 ml / l
Aditivo CRC	4 ml / l

2. SUPER CROMO ANTISPRAY

Este producto produce una fina capa de espuma en los baños de cromo, la cual evita el excesivo desprendimiento de gases nocivos para los operarios y contaminaciones de los baños electrolíticos.

Para dar un mayor rendimiento y evitar la descomposición y formación de natas de en el baño.

Recomendaciones de Uso:

La cantidad a utilizarse diariamente depende de varios factores.

- Volumen de producción.
- Cuidado al retirar las piezas de baño. para que se escurra suficientemente bien el líquido.
- Temperatura del baño (a menor temperatura menor consumo de super cromo antiespray)

La cantidad a utilizarse durante el día, depende del volumen de producción y el tamaño de la cuba, se debe diluir una parte de Supercromo Antiespray en 3 ó 4 partes de agua, esta solución se debe adicionar al baño en pequeñas proporciones durante el día; siempre y cuando el baño de cromo esté en funcionamiento. En horas de la mañana es aconsejable hacer una pequeña activación al baño, colocando láminas corrugadas o un tubo de hierro de bastante diámetro y hacerlo trabajar con este cátodo, cambiándolo de posición durante la electrólisis por un tiempo aproximado de 5 minutos. Durante este tratamiento se debe chequear que todos los ánodos hagan contacto y si alguno no lo hace, buscar las fallas eléctricas o cepillar el ánodo, de esta forma notaremos que se activa la espuma del supercromo antiespray.

2.6 ANODIZADO

La oxidación anódica se emplea para la producción de films o capas protectoras y decorativas sobre el aluminio. En el procedimiento de anodizado se incrementa, a un grosor considerablemente superior, la fina e invisible capa de óxido de aluminio que se forma naturalmente sobre la superficie y que proporciona algo de protección contra la corrosión para el aluminio.

En el anodizado, las piezas actúan como ánodo en una solución diluida de ácido; no hacen de cátodo, como ocurre en la electro deposición, y el oxígeno que se libera en la superficie del ánodo se traduce en la formación de un film de óxido coherente que resulta muy adherente a la base metálica.

PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR EL ANODIZADO

Los principales procedimientos para la oxidación anódica del aluminio emplean como electrólitos a soluciones de ácido sulfúrico, de ácido crómico o una mezcla a base de ácidos sulfúrico y oxálico.

Anodizado en Medio Sulfúrico:

Es el proceso anódico más utilizado universalmente, constituido de ácido sulfúrico, cuyo costo es relativamente bajo. En función de la temperatura y el voltaje presenta una gran versatilidad en cuanto a la calidad de la capa formada

Parámetros que influyen en la Capa de Anodizado:

Los parámetros más importantes que afectan las propiedades de la capa de anodizado son:

1. Concentración del Ácido sulfúrico

Los límites de concentración de ácido sulfúrico usados a nivel industrial incluidos el anodizado brillante y el destinado a fines arquitectónicos, permanecen dentro del 5 – 22 % en volumen. Algunas aplicaciones utilizan una concentración del 15% en volumen cuando el film tiene que ser coloreado a una tonalidad intensa. Para una concentración de 165 g/l (8.5% en volumen) de H₂SO₄ opera con altas temperaturas combinada con bajas densidades de corriente de 0.8 -1.0 A/dm².

2. Temperatura de Anodizado

Para una fabricación corriente se utiliza una temperatura de 20 – 25 ° C, si es necesario conseguir un acabado bastante duro y más resistente al desgaste. Para la producción de films anodizados duros se emplea la solución del ácido sulfúrico a una temperatura limitada entre – 5 y +5 ° C

2.7. TROPICALIZADO

El Tropicalizado consiste en un baño de inmersión, posterior al zincado, el cual le da a la superficie un aspecto decorativo brillante. Comercialmente existen soluciones preparadas como:

1. CROMATIZADO CI-12

La película producida con cromatizado CI-12, tiene un color y espesor uniforme. Esta película tiene una elevada resistencia a la corrosión que puede ir de 100 a 200 horas de resistencia a la prueba de chorro sal neutro, además forma una base excelente para pintura y tiene una apariencia agradable para muchas aplicaciones decorativas. Esta solución se disuelve en agua (CROMATIZADO CI-12), dependiendo de la concentración de la solución, el color amarillo puede cambiar de amarillo- iridiscente claro a amarillo oscuro, dependiendo también del tiempo de inmersión y del trabajo. Una concentración muy fuerte o un exceso de tiempo producen desprendimiento.

Instrucciones de Operación:

Equipo: Tanques de acero revestidos con PVC o resina antiácida

Temperatura: 18-35 °C

Tiempo de Inmersión: 10- 30 segundos.

pH: 1.4 – 1.5

Preparación de la solución por cada litro:

	<i>Suave</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Fuerte</i>
CROMATIZADO CI-12	6 cc / l	12 cc / l	20 cc / l

2. CROMATIZADO B-7 AZUL

El cromatizado B-7 es un producto concentrado, en forma de polvo que produce una película convertidora de cromato azul claro sobre piezas galvanizadas electrolíticamente. Este proceso de cromato tiene una protección a la corrosión que puede ir de 30 a 100 horas de resistencia a la prueba de chorro sal neutro. Además forma una base excelente para pintura y tiene una apariencia agradable para aplicaciones decorativas.

Preparación y Condiciones de Trabajo:

Cromatizado B-7:	5-10 g/l
Acido nítrico:	10 – 15 cc/l
Temperatura:	Ambiente
Tiempo de inmersión:	5-60 s (agitando)

Condiciones de Operación:

La concentración es controlada con adiciones regulares de Cromatizado B-7 y ácido nítrico. Estos materiales son adicionados al baño en misma proporción de la fórmula inicial, pero en cantidades menores según las necesidades. Este procedimiento no debe efectuarse más de dos veces en la misma solución de cromatizado, luego es aconsejable cambiarla.

2.8. SEGURIDAD INDUSTRIAL

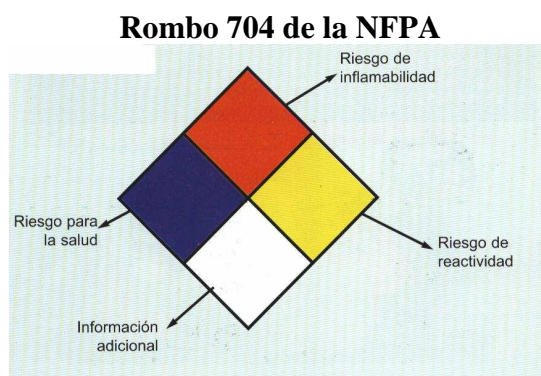
La seguridad industrial nos da parámetros fundamentales para el buen manejo de los elementos utilizados en los recubrimientos electrolíticos.

También nos ayuda a evitar accidentes, daños permanentes en la salud del operario y nos orienta sobre el manejo de los desechos químicos. Anexos.

En un incendio, los materiales se comportan de distinta manera que en el estado natural, estos comportamientos han sido estudiados por la Asociación Nacional de Protectores contra Incendios NFPA (siglas en inglés), quienes han desarrollado un sistema de información sobre el comportamiento de los materiales y su grado de riesgo para con relación a la salud de las personas su nivel de inflamabilidad o reactividad al igual que otro tipo de reacciones que pueden ser peligrosas.

El Rombo 704 de la NFPA

De la misma forma que el sistema anterior, el grado de riesgo o peligro está valorado entre 0 y 4. Siendo 0 el valor asignado cuando no hay riesgo y 4 cuando el riesgo es el más grave. La calificación de los riesgos se indica en la siguiente figura, conocida como rombo 704 de la NFPA:



Fuente: Galvanoplastia. Prácticas de Seguridad y Salud. Pág. 19

Cromo:

Toxicología: Cuando se trabaje con soluciones de cromo se deberá tener presente que estas contienen productos oxidantes fuertes. Se debe evitar el contacto con materiales orgánicos y agentes reductores. Evitar el contacto con los ojos y la piel; en caso de contacto accidental, lavar con abundante agua y consultar inmediatamente con el médico.

Tratamiento de Efluentes: Las aguas de enjuagues y desechos deben ser recogidas y tratadas en una planta de neutralización. Por tener un alto contenido de cromo hexavalente y ser ácidas, el pH de la solución debe ser regulado entre 6-10 para su tratamiento posterior de acuerdo a las normas vigentes.

Aditivo Supercromo Anti spray

Toxicología: Por ser un proceso a base de cromatos y sustancias altamente oxidantes, recomendamos mantenerlo alejado de productos reductores y evitar el contacto con la piel, ojos y mucosa; ya que causaría graves daños. Utilizar el equipo protector completo para su manejo.

Níquel:

Toxicología: Los abrillantadores de níquel son productos tóxicos por ingestión y por largos periodos de contacto con la piel, irritan la piel, los ojos y mucosas nasales. Para el manejo de los mismos se recomienda el uso de guantes, gafas para los ojos y ropa de trabajo adecuada.

CAPITULO III

MATERIALES Y EQUIPOS PARA ELECTRÓLISIS

El material utilizado en la electrólisis debe encontrarse en perfectas condiciones. Cualquier anomalía en los materiales a emplearse, puede producir serias dificultades en las aplicaciones y resultados deseados.

Dentro de los materiales a utilizarse tenemos: equipo eléctrico de generación, distribución y control de la corriente, tinas o cubas de para el baño, solución de acuerdo al recubrimiento a obtener, calentador, ganchos para sujetar las piezas, ánodos de acuerdo a cada proceso. Así tenemos:

3.1. MATERIAL ELÉCTRICO

Un requerimiento esencial para obtener recubrimientos electrolíticos es disponer de corriente continua. Por lo general, para lograrlo se transforma la tensión o corriente alterna de 110, 220 ó 380 voltios, según la red, en continua a bajo voltaje. Esta transformación se logra a través de grupos convertidores o rectificadores, sistemas de aplicación práctica para obtener dicho requerimiento.

3.1.1. Rectificadores



Rectificador del Proyecto

La corriente empleada en un proceso electrolítico debe ser continua, para ello se requiere convertir la corriente alterna, para realizar esta transformación se utiliza aparatos llamados rectificadores, preferentemente del tipo seco, los cuales dejan pasar únicamente la mitad de la onda senoidal de la corriente alterna. Los rectificadores llevan además del elemento o elementos de rectificación, un transformador de baja tensión y un regulador de corriente, formando un conjunto, dos instrumentos de control de la corriente: un amperímetro y un voltímetro. Otros rectificadores, de tamaño mayor carecen de estos dispositivos de control, estando situados los elementos de media y regulación independiente, sobre un panel, a alguna distancia del rectificador

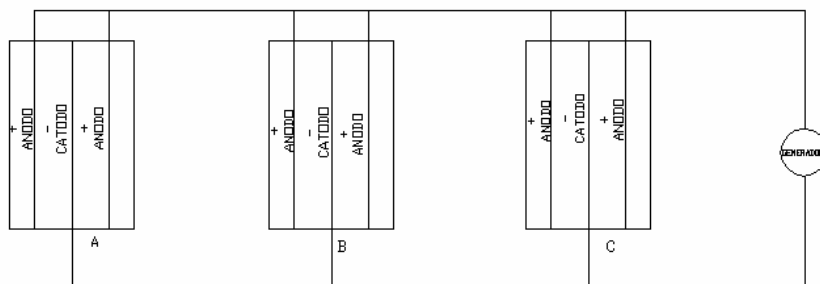
3.2. DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE

Las líneas de distribución que unen el generador rectificador con los baños de electrólisis empleados son de cobre. Para determinar la sección se basa en la proporción de 1 mm.² por amperio para las líneas cortas (<10 metros) y de 2 mm.² para las líneas largas (>15 metros). A través de la experimentación se ha determinado que para una línea de cobre de longitud total de 12,5m, transportando 1 amperio por mm.², la pérdida de carga es aproximadamente de 0,3 voltios, es decir, de un 5% para una fuerza electromotriz de 6 voltios.

Cuando se va a utilizar varias tinas de baño se aplica dos tipos de montajes, así tenemos:

Por lo general el montaje más aplicado es en paralelo.

Montaje en Paralelo

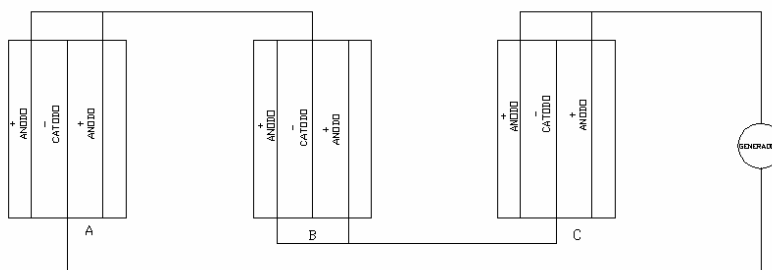


Fuente: Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos. Pág. 35

En un montaje en paralelo, todos los ánodos se hallan directamente conectados al polo positivo del generador y todos los cátodos al negativo. En este sistema cada baño es independiente y la corriente que pasa por cada cuba estará en función de su resistencia. Si por ejemplo el baño A presenta una resistencia de 0,02 ohmios, pasará, para una fuerza electromotriz de 6 voltios y con una intensidad de:

$$I = \frac{6}{0.02} = 300 \text{ Amperios}$$

Montaje en Serie:



Fuente: Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos. Pág. 34.

Para el montaje en serie, los ánodos de una cuba se conectan a los cátodos del baño siguiente y así sucesivamente. La totalidad de la corriente pasa por las cubas y la intensidad queda determinada por la suma de las resistencias de las cubas. Si la resistencia total es, por ejemplo, de 0,05 ohmios,

Así se tiene:

$$I = \frac{6}{0.05} = 120 \text{ Amperios}$$

La distribución de corriente a las cubas (al lado ánodo y al lado cátodo) se realiza por medio de tubos de cobre o de latón, pero cuando se trata de suspender piezas pesadas se emplean barras.

No hay que olvidar la conductibilidad menor del latón, lo que aconseja emplear secciones mayores con el latón que con el cobre. Este último es muy adecuado en la mayoría de los casos, pero es más costoso. Es menos atacable que el latón cuando es utilizado en baños muy ácidos (caso del cromado) y del decapado electrolítico de los metales). Es preferible emplearlo para los baños ácidos de cobreado, puesto que el latón atacado presenta el riesgo de contaminar los baños. A cada extremo de la cuba existe una barra sujetadora de los ánodos, colgándose las piezas a recubrir de la barra central. *Anexo 15.*

3.3. ACOPLAMIENTO DE LOS ÁNODOS Y LAS PIEZAS A LAS BARRAS

Un aspecto muy importante y que muchas veces se pasa por alto, es el acoplamiento o contacto entre los ganchos sobre los que se suspenden los ánodos y las piezas, estos deben mantenerse en perfectas condiciones; el manejo tiene que ser con sumo cuidado, ya que si se presenta la oxidación del gancho la corriente pasará a medias, o incluso no pasará, esta llegará únicamente algunos de los ánodos y esto afecta sobre la capa electrolítica, especialmente en las piezas situadas frente a dichos ánodos, pues quedan menos recubiertos.

Los mismos cuidados se deben manejarse para el acoplamiento de las piezas a la barra catódica. Como recomendación general para los ánodos se sugiere atornillar las patillas de los ganchos en la parte superior de las placas. Por otra parte, es ventajoso que los ganchos sean planos, puesto que los ganchos de alambre cilíndrico, presentan el inconveniente de asentarse sobre una línea y a veces tan solo sobre algunos puntos. Los ganchos de la forma de la siguiente figura E, son de ajuste satisfactorio para los requerimientos mencionados; también se fabrican ganchos auto-blocables (ganchos con punta aguda) que dan buenos resultados.

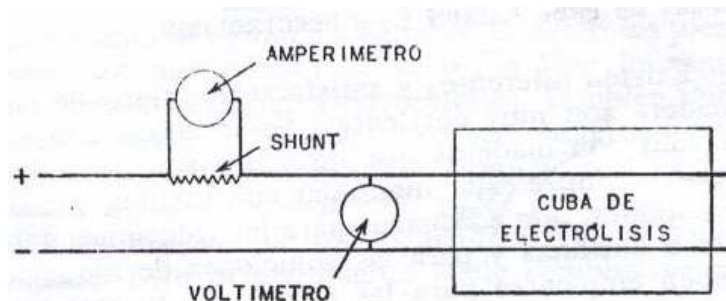
3.4. APARATOS DE MEDIDA

3.4.1 Voltímetro y Amperímetro

Para poder medir la diferencia de potencial existente entre dos puntos de un conductor se requiere de un voltímetro y con un amperímetro se puede medir la

corriente que pasa en un momento dado por un circuito. Estos dos aparatos son absolutamente necesarios en toda cuba electrolítica. El voltímetro se conecta en derivación mientras que el amperímetro se conecta en serie.

En la fig., se indica el montaje de estos dos aparatos:



Fuente: *Manual Práctico de Recubrimientos Electrolíticos*. Pág. 37.

3.4.1. Reóstatos

Estos aparatos regulan la corriente, la cantidad de amperios deseada para cada baño. Están montados en serie o en paralelo y están constituidos por espiras de hilo metálico más o menos resistente a la corriente eléctrica. Existen, en cuanto a la forma de graduación, los reóstatos por plots, por cursores y por pletinas o interruptores.

No hay que perder de vista en un reóstato la calidad de los hilos, que deben resistir bien a la oxidación (los hilos de alpaca son muy adecuados). En la instalación de las cubas, las reóstatos van por lo general montados en serie. Estos con interruptores permiten efectuar buenos contactos y admiten elevadas intensidades.

3.5. CUBAS

Existen diferentes y satisfactorios tipos de tinajas o cubas. Las de madera son muy corrientes. Estas cubas deben estar construidas con maderas que no contengan demasiado tanino y deben siempre estar montadas con varillas, tirantes y pernos resistentes. Son adecuadas para las soluciones débilmente ácidas o alcalinas y para las soluciones de niquelado, pero no deben emplearse para las soluciones fuertemente alcalinas. Para contener las soluciones ácidas se reviste el interior de las cubas de madera con compuestos a base de betún. Los revestimientos de baquelita son satisfactorios para las soluciones débilmente ácidas. También lo son los de caucho, pero no son convenientes para las soluciones fuertemente alcalinas. Las cubas de madera se revisten también, a menudo, con chapas de plomo suficientemente espesas (3 a 4 mm.) soldadas entre sí a la autógena. El plomo es conveniente para las soluciones ácidas de cobreado, para los baños sulfúricos y para los baños de niquelado.

Los instaladores de talleres facilitan indicaciones respecto a la adecuación de las cubas de madera y sus revestimientos. Las cubas de hierro o de acero son utilizadas corrientemente para contener la gasolina o el tricloretileno que se emplean para el desengrase de las piezas. Pero las cubas destinadas a contener tricloretileno deben estañarse o galvanizarse, puesto que dicho producto puede convertirse en corrosivo

por hidrólisis. Se emplean frecuentemente estas cubas para las soluciones alcalinas, como por ejemplo para los baños alcalinos de cobreado, para los de desengrase electrolítico y para los alcalinos de estañado y de cadmiado. Las cubas de hierro o de acero se emplean, también a veces, para los baños de cromado, pero en este último caso suelen revestirse de plomo. No ha podido comprobarse que las cubas de cloruro de vinilo den buen resultado para los baños de cromado. Para los baños de niquelado, los baños de cromado ácidos o las soluciones sulfúricas o clorhídricas de desengrase se emplean cubas de acero revestidas de caucho. Las cubas de hierro o de acero ofrecen la ventaja de poder calentarse fácilmente, por ejemplo por medio de una instalación de gas situada debajo de las mismas.

Las cubas de hierro fundido o de acero esmaltadas son convenientes para los ácidos o los álcalis, con la condición de que el esmalte sea de buena calidad. Las cubas de gres resisten bien a las soluciones acidas y alcalinas. Su inconveniente reside en su fragilidad, llegando su capacidad a un máximo de 500 litros. Las cubas de cemento ofrecen la ventaja de su bajo coste y de poder ser empleadas en grandes dimensiones, pero resisten mal a los ácidos y a los álcalis y son más bien empleadas para contener las aguas de lavado.

Desde el punto de vista de la ejecución del trabajo de electrólisis las cubas son empleadas generalmente para la inmersión de piezas por unidades o agrupadas sobre bastidor; pero cuando se trata de piezas pequeñas, suele recurrirse a los tambores rotativos horizontales o verticales, que ahorran la dificultosa operación de engancharlas en los bastidores. *Anexo9 Fig. B.* En dichos tambores, las piezas se echan «a granel». Los horizontales tienen por lo común la forma de prismas octogonales o hexagonales, cuyas paredes están perforadas para dejar pasar el líquido y la corriente, existiendo una zona móvil para poder introducir y sacar las piezas. Estos tambores pueden ser parcial o totalmente sumergidos en una cuba, estando los ánodos situados en la forma acostumbrada para la electrólisis. Se construyen generalmente de madera o de materia plástica. La corriente llega a ellos por sus ejes y se reparte hacia el interior por bandas conductoras o por piezas de contacto. Los tambores verticales o campanas funcionan con una cierta inclinación, conteniendo el baño en que se sumergen las piezas. Las campanas se mueven por medio de un engranaje accionado por un motor y las piezas reciben la corriente por medio de piezas de contacto. El ánodo se sumerge en el baño y es sostenido por una varilla porta-ánodos por la que circula la corriente. La velocidad de los tambores y de las campanas varía de 5 a 20 vueltas por minuto según las piezas. Para las piezas ligeras la velocidad es menor. Los tambores ofrecen el principal inconveniente de presentar gran resistencia. La densidad de corriente sobre las piezas es, en consecuencia, muy débil, inconveniente que se agrava por el hecho de que se comete a menudo el error de introducir cargas demasiado grandes. Se encuentran en el comercio tambores bien estudiados, relativamente ligeros, que permiten buenos resultados.

3.6. MATERIAL PARA CALENTAR LOS BAÑOS

La calefacción de los baños se efectúa generalmente por medio de serpentines de plomo situados en el fondo de las cubas y atravesados por vapor. Se emplea también el procedimiento eléctrico por medio de calentadores sumergibles constituidos por

una resistencia eléctrica colocada dentro de un envoltorio de metal no atacable por el baño. La utilización de recipientes de hierro permite la calefacción por medio de instalaciones de gas actuando debajo de los mismos.

3.7. MATERIAL PARA AGITAR LOS BAÑOS

Los baños se agitan generalmente, por medio de aire comprimido suministrado por tubos de plomo perforados, situados en el fondo de las cubas. El aire de agitación debe ser muy limpio. Este modo de agitación es muy práctico y da buenos resultados. En ciertos casos, no obstante, la acción oxidante del aire puede causar contratiempos (en el caso del zincado, por ejemplo). Puede asimismo obtenerse la agitación de los ánodos y cátodos por medios mecánicos. Generalmente se agitan los cátodos, es decir, las piezas. Puede dárseles un movimiento de vaivén o bien imprimirles desplazamientos verticales y horizontales como el los tambores. *Anexo 9. Fig. B* También pueden efectuarse movimientos de traslación por cadenas sin fin, lo que permite renovar el electrolito en contacto con las piezas. Otro modo de agitación consiste en hacer circular el líquido por medio de una bomba que lo aspire y vuelva a verterlo en las cubas. Este procedimiento suele combinarse con un filtrado. En los tambores y campanas, las piezas, debido a la rotación, se agitan y frotan las unas contra las otras, lo que contribuye a obtener un cierto bruñido o pulido.

3.8. MATERIAL DE FILTRADO

En los baños siempre hay impurezas, sedimentos, por ejemplo, que reposan en el fondo de las cubas, y partículas sólidas en suspensión provenientes de los ánodos o del polvo atmosférico. Estas diversas impurezas provocan contratiempos, especialmente en los baños calientes y agitados, donde la necesidad del filtrado.

La eliminación de las impurezas de un baño puede efectuarse por decantación. Este método requiere tiempo y apropiado material de transvase. El filtrado puede realizarse haciendo subir el líquido, por medio de un elevador, por ejemplo, y vertiéndolo sobre un filtro de tela. Este método también es lento. Para operar con mayor rapidez, se han concebido filtros a presión. A este fin se emplean bombas que aspiran el líquido de las cubas y lo llevan a un filtro. El filtro y la bomba (cuando menos en las partes en contacto con el baño) deben estar contruidos en metales que resistan bien a la corrosión (acero inoxidable, Monel ³).

Se puede también filtrar por centrifugación, en depuradoras centrífugas, con la taza girando a gran velocidad. Pero el desgaste es bastante grande y esto es lo que ha conducido a construir aparatos de velocidad media, en los cuales el líquido es proyectado sobre telas filtrantes especiales. Estos aparatos se desgastan poco y dan generalmente buenos resultados. Los agentes coloidales procedentes de los productos empleados para el pulimento y de los aprestos de las telas empleadas para fundas de los ánodos, etc., así como los aceites que pueden quedar en emulsión, no son eliminados por el filtrado. Pueden eliminarse por medio de carbones activos, sistema adecuado, por ejemplo, para los baños de niquelado.

³ Monel aleación de níquel y cobre que se utiliza en la fabricación de aparatos químicos a la corrosión, y también en aquellas aplicaciones que exigen resistencia al calor.

Tal empleo puede efectuarse de diversas maneras.

Cabe añadirle al baño carbón activo y después de un tiempo suficiente de contacto agitar y filtrar. También pueden eliminarse el hierro, el cobre, el zinc, el cromo y el aluminio elevando bastante el Ph (4.5 como mínimo) del baño, agregándole una lechada de carbonato de níquel. Después de la adición se agregan 75 g. de sulfato ferroso por cien litros de baño. Para oxidar el hierro se añaden a continuación 75 cm³ de agua oxigenada al 30%, por litro de baño. Se agita el baño durante una hora o más, dejándolo después reposar durante una noche; finalmente se filtra.

3.9. MATERIAL DE SECADO

Para el secado de las piezas, una vez convenientemente lavadas, se emplea aserrín bien seco y exento de tanino o resina. Como recipiente puede emplearse un simple cajón de madera en el que se vierten las piezas, recubriéndolas de aserrín. Para los objetos pequeños se emplean a menudo tambores rotatorios. El secado por medio de estufas de gas o de resistencias eléctricas da buenos resultados.

3.10. INSTALACIÓN DE LOS TALLERES

Las buenas condiciones de trabajo de un taller dependen, en gran parte, de una racional distribución de los distintos elementos. Para cualquier taller la mayor parte de las operaciones son manuales, por ello este aspecto es de suma importancia. En la práctica, las cubas deben sucederse según el orden de los distintos tratamientos u operaciones a realizarse. Anexo 5. Fig. B.

- Desengrase electrolítico
- Lavado
- Corrosión sulfúrica
- Lavado y enjuague
- Niquelado
- Lavado y enjuague
- Cromado

El polvo depositado o suspendido en el aire debe ser eliminado. Deben poderse efectuar frecuentes lavados, y con este fin las cubas o los trenes de cubas han de hallarse elevados y separados de las paredes. En torno a las cubas han de instalarse rejillas para evitar el caminar sobre el piso del taller y producir barro.

Debe dedicarse atención a los baños: han de quedar cubiertos en las horas en que no trabajan; ha de compensarse la evaporación añadiendo agua no calcárea y han de filtrarse por lo menos una vez al año donde no exista filtrado continuo.

3.11. REDIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO PARA RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS PARA EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

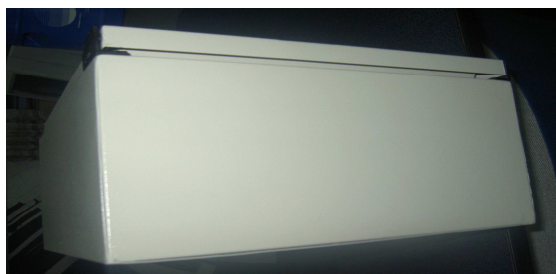
3.11.1. Rectificador

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un rectificador de corriente continua, este constituye la base para la obtención y aplicación de la misma, indispensable para los recubrimientos electrolíticos.

Inicialmente estaba formado del elemento rectificador dentro de una caja sobredimensionada de acero, la cual tenía un soporte en forma de mesa, por tal motivo su peso era excesivo y difícil de transportar según las necesidades de un laboratorio. En función de los requerimientos del laboratorio actualmente el rectificador se encuentra externamente formado por una caja de 40 cm. por 40 cm. por lo que ahora resulta fácil de transportar. En la parte frontal tiene un visualizador del voltaje y amperaje. Lo que facilita las mediciones para los distintos baños. Además tenemos una perilla que regula el aumento o disminución de voltaje, y un dispositivo para el encendido y apagado del equipo, de una cerradura que nos da brinda mayor seguridad para los elementos internos.



Rectificador de Corriente Continua. Vista Frontal



Rectificador de Corriente Continua. Vista en Planta

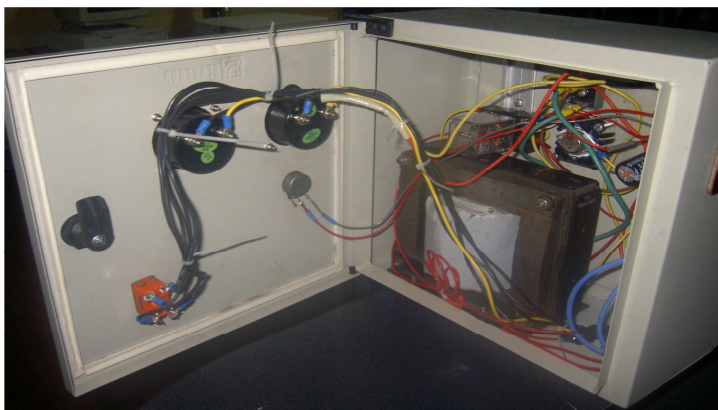
Lateralmente consta de una placa con dos salidas, para la corriente, un polo positivo y un negativo. Lo cual mejora y facilita el manejo del mismo en la identificación de la distribución de corriente.



Rectificador de Corriente Continua. Vista Lateral Derecha

Internamente está formado por:

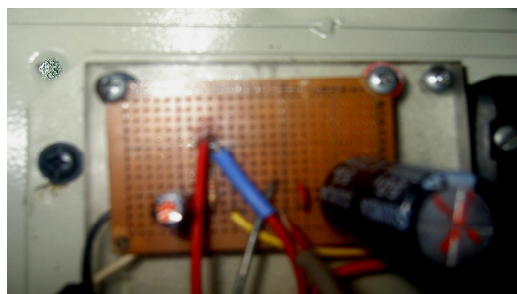
Un transformador (cuyo primario se halla alimentado por corriente alterna a la tensión normal y cuyo secundario suministra corriente alterna bajo débil tensión) y por el rectificador propiamente dicho, que no deja pasar la corriente alterna sin o en un sentido.



Transformador de Corriente Continua. Vista Interna

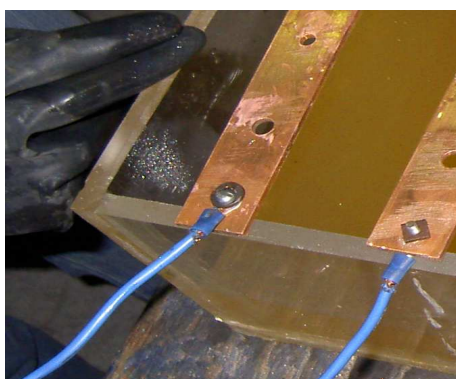


Elemento Transformador de Corriente.



Elemento Rectificador de Corriente.

Según nuestras necesidades para el laboratorio, la distancia del rectificador a la tina o cuba del baño utilizamos a un cable de galga 12 AWG. Esto evitará pérdidas de corriente. Los cables están perfectamente aislados para evitar un cortocircuito.



Cables para la Distribución de Corriente

3.11.2. Cubas o Tinas para el Baño

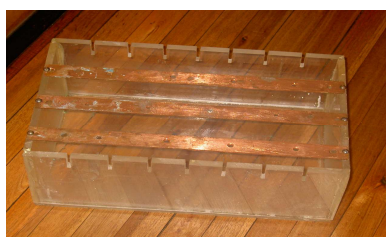
El material de las cubas para depositar los respectivos baños es de acrílico. Inicialmente tenían una dimensión exagerada, lo cual impedía su transportación.

Pensando en este requerimiento las cubas fueron cambiadas en sus dimensiones en 40 cm. por 16 de ancho y 15 de profundidad. Además se adhirió las paredes de las mismas. Su apariencia anterior:



Cubas Inicialmente

Por la cantidad de solución necesaria para los baños en las cubas anteriormente y por el manejo más adecuado de las piezas, actualmente las cubas lucen así:



Cuba con barras conductoras de corriente

Las barras que atraviesan las cubas de extremo a extremo son de cobre electrolítico, se encuentran sujetas a través de pernos, los cuales facilitan el montaje y desmontaje de las mismas, además dan mayor seguridad al momento de enganchar las piezas y los ánodos.



Sistema de Sujeción de las Barras de cobre electrolítico a la cuba

El sistema de sujeción de las piezas se lo realiza a través de las barras electrolíticas que se encuentran perforadas; allí se colocan los ganchos con los ánodos y las piezas a tratar en los baños.



Sujeción de las piezas y ánodos a través de ganchos en las barras

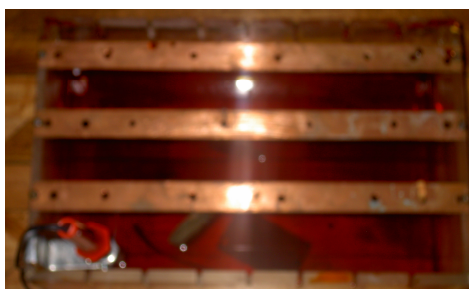
Además una de las perforaciones de la barra es utilizada para sujetar el papel tornasol pH.

Para garantizar el aumento de la temperatura en los baños se adaptó un caudín con un eje de acero inoxidable, para suplantar a un calentador de cuarzo o titanio empleado a nivel industrial, por su elevado costo comercial.

Para poderlo fijar a la cuba se diseñó un soporte que consta de una placa de acero soldada a una tuerca, la cual tiene dos pernos para gradualmente ajustar el calentador contra la superficie interna del soporte. El soporte fue sometido a un recubrimiento de zincado para evitar la destrucción de esta superficie por el aumento de la temperatura. La distancia de la placa al extremo que se sujeta a la cuba hace que la transferencia de calor sea más lenta y no se recaliente la superficie de acrílico de las cubas.



Calentador con soporte para Fijar en el borde de la Cuba



Montaje del Calentador en la Cuba. Vista en Planta.



Calentador sujetado en la Cuba. Vista Frontal

3.11.3. Insumos Necesarios para los Recubrimientos Electrolíticos

Para poder realizar los baños a parte del rectificador, cubas y calentador fueron necesarios ciertos elementos como: soluciones especiales de acuerdo a cada tipo de baño (cobreado, zincado, tropicalizado, níquelado, cromado). A demás papel tornasol para medir y controlar el pH de los baños; ánodos de acuerdo al baño, ganchos y probetas para los respectivos ensayos. *Anexo. 17*

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE VARIABLES

4.1 COBREADO

4.1.1 Parámetros Tecnológicos

Probeta:	A
Tipo de Baño:	Ácido
Temperatura:	20 °C
Agitación:	Por aire
pH:	8.5
Electrolito:	Cu ₂ SO ₄ = 200 g / l H ₂ SO ₄ = 150 g / l

Probeta A:

a = 8.57 mm (Largo)
b = 5.2 mm (Ancho)
c = 0.2 mm (Espesor)

Área = $2 * (a * b + b * c + a * c)$
Área = $2 * (8.57 * 5.2 + 5.2 * 0.2 + 8.57 * 0.2)$
Área = 0.0946 dm³

Para calcular el espesor del metal depositado aplicamos la siguiente fórmula:

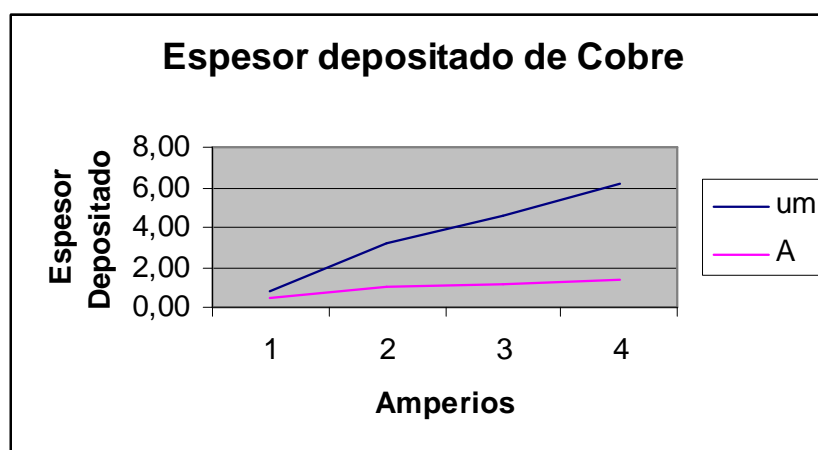
$$e = \frac{Eq * I * t * n}{100 * A * d}$$

e = Espesor (μm)
Eq = Equivalente electroquímico (Constante de acuerdo a la solución)
I = Intensidad de corriente (Amperios)
t = Tiempo (horas)
n = Rendimiento de la solución (Constante de acuerdo a la solución)
A = Área (dm²)
d = Densidad (g/dm³)

Los resultados de los ensayos para Cobreado se observó:

Temperatura (°C)	Potencial de Hidrógeno pH	Equivalente Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Horas	Rendimiento n	Área dm ²	Densidad g/dm ³	Espesor μm
20	8,5	32,9	0,5	0,5	0,9	0,094	0,0089	0,79
21	8,5	32,9	1	1	0,9	0,094	0,0089	3,15
22	8,5	32,9	1,2	1,2	0,9	0,094	0,0089	4,54
23	8,5	32,9	1,4	1,4	0,9	0,094	0,0089	6,17

Espesor de Cobre Depositado en función de la Intensidad de Corriente:



4.1.2 Observaciones:

- La limpieza es un aspecto importante previo a la aplicación del recubrimiento. Las piezas deben estar exentas de restos de grasa, escoria por soldadura o pintura.
- Se pudo apreciar que este tipo de baño es no es aplicable para el acero. Por el tipo de adherencia obtenida. El costo de un baño cianurado (recomendado) es elevado, y por contar con esta la solución en el laboratorio se utilizó la misma.
- Cuando se hace el diseño de piezas que van a ser sometidas a un recubrimiento metálico se debe tener en cuenta las formas del mismo.
- A pesar de los inconvenientes en la adherencia, se pudo apreciar que el cobre se depositó en las superficies convexas de la placa a medida que aumentó la intensidad de corriente (A) el depósito mejoró.

4.1.3 Conclusiones:

- El cobreado es un recubrimiento base para el niquelado, de color rojo bajo.
- El espesor y la densidad de corriente guardan una relación directa.
- La temperatura mejoró el rendimiento de los baños.
- La agitación de la solución hace que los iones de cobre se distribuyan mejor y por lo tanto la adherencia sea superior.

Para ayudar al estudiante a conjugar el conocimiento teórico – práctico se desarrolló una guía de prácticas para el laboratorio, la misma que permite afianzar y evaluar la información científica:

4.1.4 Formato de la Guía para Cobreado:

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

GUÍA PARA LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

TEMA:

**RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO DE COBRE (COBREADO) SOBRE
UNA SUPERFICIE DE METÁLICA**

I. INDICACIONES:

Para realizar el cobreado se pueden aplicar dos tipos de baño, para los recubrimientos con baño ácido, de acuerdo al material a recubrir se recomienda no emplearlo en metales que se encuentren por encima del cobre en la serie electromotriz, porque se obtendrán recubrimientos esponjosos y sin adherencia.

Por limitaciones económicas, haremos las pruebas con baños de tipo ácido en acero y aluminio, dos metales totalmente diferentes de acuerdo a su ubicación en la serie electromotriz.

II. OBJETIVOS:

2.1. Realizar un recubrimiento de cobreado sobre acero, mediante electrolisis en baño ácido de sulfato de cobre.

2.3. Establecer ventajas y desventajas del proceso de cobreado.

III. PROCEDIMIENTO:

- 3.1. Lavar la probeta a ser recubierta, retirar totalmente cualquier residuo de grasa, pintura, escoria (por soldadura), etc. de las superficies.
- 3.2. Medir la probeta y sacar el área en dm^2 .
- 3.3. Limpiar la cuba para depositar la solución del baño.
- 3.4. Preparar los ánodos de cobre previamente seleccionados (cobre electrolítico fundido o laminado).
- 3.5. Perforar en la parte superior los ánodos para poder engancharlos.
- 3.6. Recurrir los ánodos con nylon, para evitar que las posibles impurezas de este contaminen la solución.
- 3.7. Preparar el baño con la siguiente composición:

Sulfato de cobre ($\text{SO}_4\text{CuH}_2\text{O}$): 200 g/l
 Ácido sulfúrico (H_2SO_4): 50 g/l

- 3.8. Enganchar los ánodos en la cuba (no deben topar el fondo).
- 3.9. Verter el baño en la cuba.
- 3.10. Enganchar las piezas sobre la barra de la cuba.
- 3.11. Experimentar con los siguientes parámetros tecnológicos como guía.

Temperatura: 20 °C

Densidad de Corriente: 1 – 1.5 A/ dm^2

IV. CÁLCULOS:

Fórmulas:

$$e = \frac{eq \times I \times t \times Re}{100 \times A \times d}$$

e = Espesor (μm)

eq = Equivalente electroquímico (del metal a depositarse)

I = Intensidad de Corriente (A)

t = Tiempo (horas)

n = Rendimiento de la solución (%)

A = Área de la probeta expuesta al recubrimiento (dm^2)

d = Densidad (del metal a depositar g/dm^3)

4.1.

4.2.

4.3.

Temperatura (° C)	pH	Equivalente Electroquímico Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Hora	Rendimiento Re	Área dm ²	Densidad g/dm ³	Espesor um

V. OBSERVACIONES:

5.1.

5.2.

5.3

VI. CONCLUSIONES:

6.1.

6.2.

6.3.

VII. RECOMENDACIONES:

7.1.

7.2.

7.3.

VIII. CUESTIONARIO:

8.1. *¿Qué es el cobreado?*

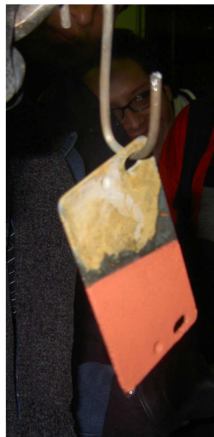
8.2. *¿Cuáles son las aplicaciones prácticas del cobreado?*

8.3. *En base a las leyes de Faraday, calcule el depósito del cobre sobre la superficie metálica.*

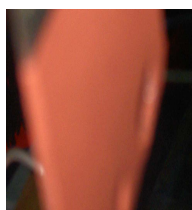
IX GRAFICOS:

4.1.5. Resultados:

Después de las aplicaciones prácticas (*Anexo 19*) realizadas para el cobre obtenemos el siguiente resultado en las probetas:



Probeta A. Cobreado



Superficie recubierta por Cobre

4.2 ZINCADO

4.2.1 Parámetros Tecnológicos

Probeta:	A
Tipo de Baño:	Ácido
Temperatura:	20 - 23 °C
Agitación:	Por aire
pH:	10
Electrolito:	Cianuro de Zinc
Tratamiento Previo	Ninguno
Limpieza:	En ácido sulfúrico

Probeta A:

a = 8.57 mm (Largo)

b = 5.2 mm (Ancho)

$c = 0.2 \text{ mm}$ (Espesor)

$$\text{Área} = 2 * (a * b + b * c + a * c)$$

$$\text{Área} = 2 * (8.57 * 5.2 + 5.2 * 0.2 + 8.57 * 0.2)$$

$$\text{Área} = 0.0946 \text{ dm}^2$$

Para calcular el espesor del metal depositado aplicamos la siguiente fórmula:

$$e = \frac{Eq * I * t * n}{100 * A * d}$$

e = Espesor (μm)

Eq = Equivalente electroquímico (Constante de acuerdo a la solución)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

t = Tiempo (horas)

n = Rendimiento de la solución (Constante de acuerdo a la solución)

A = Área (dm^2)

d = Densidad (g/dm^3)

De las aplicaciones de Zinc se obtuvieron los siguientes Resultados:

Temperatura (°C)	Potencial de Hidrógeno pH	Equivalente Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Hora	Rendimiento n	Área dm ²	Densidad g/dm ³	Espesor um
20	10	32,7	0,5	0,5	0,85	0,094	0,0089	0,74
21	10	32,7	1	1	0,85	0,094	0,0089	2,96
22	10	32,7	1,2	1,2	0,85	0,094	0,0089	4,26
23	10	32,7	1,4	1,4	0,85	0,094	0,0089	5,80

4.2.2 Observaciones:

- Se observó que la limpieza en ácido sulfúrico funciona adecuadamente para el baño de zincado. *Anexo. 17.*
- Los ánodos fueron protegidos con nylon para evitar que la solución se contamine con impurezas de los mismos.
- Los ánodos no deben topar el fondo de la cuba del baño, esto impide el desprendimiento normal de los iones que se adhieren a la superficie.
- Las piezas deben estar exentas de escoria, pintura y grasa.

- Este tipo de baño alcalino dio buenos resultados, la adherencia no dio problemas, se presentó inconvenientes en cuanto al brillo de la superficie.
- Cuando se trata de piezas que van a acoplarse, se debe tener en consideración el aumento del espesor para evitar inconvenientes.

4.2.3 Conclusiones:

- Al igual que en el recubrimiento anterior, el espesor y la densidad de corriente son directamente proporcionales.
- La temperatura mejoró el rendimiento del baño de zinc.
- El brillo de las superficies depende de la solución empleada. Para mejorarla existen aditivos comerciales.
- La agitación mejoró la distribución de corriente y por lo tanto la adherencia.

4.2.4 Formato de Guía para Zincado

Como en el recubrimiento anterior se desarrolló un formato para las prácticas de zincado:

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

GUÍA PARA LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

TEMA:

RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO DE ZINC

I. INDICACIONES:

El zincado es el método de recubrimiento superficial para mejorar la resistencia a la corrosión del acero (y de las aleaciones de hierro).

Del cumplimiento de condiciones básicas depende en gran medida el éxito del recubrimiento, así las piezas a recubrir deben estar exentas de contaminantes, tales como: restos de pintura, escoria de soldadura, grasas y aceites, etc.

II. OBJETIVOS:

- 2.1. Realizar un recubrimiento de zinc sobre acero, a través de electrolisis en baño un baño de óxido de zinc.
- 2.2. Establecer los pros y los contras de las aplicaciones de zinc.

III. PROCEDIMIENTO:

- 3.1. Lavar la probeta a ser recubierta, retirar totalmente cualquier residuo de grasa, pintura, escoria (por soldadura), etc. de las superficies.
- 3.2. Medir la probeta y sacar el área en dm^2 .
- 3.3. Limpiar la cuba para depositar la solución del baño.
- 3.4. Preparar los ánodos de zinc previamente seleccionados.
- 3.5. Perforar en la parte superior los ánodos para poder engancharlos.
- 3.6. Recurrir los ánodos con nylon, para evitar que las posibles impurezas de este contaminen la solución.
- 3.7. Preparar el baño con la siguiente composición:

Óxido de Zinc:	32 g/l
Cianuro de sodio:	56 g/l
Hidróxido de Sodio:	80 g/l
R-Cianuro de Sodio / Zinc Metal:	2 -2.1
Brillo BZN-03 (Aditivo):	3.5 ml /l

- 3.8. Enganchar los ánodos en la cuba (no deben topar el fondo).
- 3.9. Verter el baño en la cuba.
- 3.10. Enganchar las piezas sobre la barra de la cuba.
- 3.11. Experimentar con los siguientes parámetros tecnológicos como guía.

Temperatura: 20 - 23 °C

Densidad de Corriente: 0.5 – 1.5 A/ dm^2

IV. CÁLCULOS:

Fórmulas:

$$e = \frac{eq \times I \times t \times Re}{100 \times A \times d}$$

e = Espesor (μm)

eq = Equivalente electroquímico (del metal a depositarse)

I = Intensidad de Corriente (A)

t = Tiempo (horas)

Re = Rendimiento de la solución (%)

A = Área de la probeta expuesta al recubrimiento (dm^2)

d = Densidad (del metal a depositar g/dm^3)

4.1.

4.2.

4.3.

Temperatura (° C)	pH	Equivalente Electroquímico Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Hora	Rendimiento Re	Área dm ²	Densidad g/dm ³	Espesor um

V. OBSERVACIONES:

5.1.

5.2.

5.3

VI. CONCLUSIONES:

6.1.

6.2.

6.3.

VII. RECOMENDACIONES:

7.1.

7.2.

7.3.

VIII. CUESTIONARIO:

8.1. *¿Qué es el zincado?*

8.2. *¿Cuáles son las aplicaciones del zincado?*

8.3. *En base a las leyes de Faraday, calcule el depósito del zinc sobre la superficie metálica.*

8.4. *¿Cuál es la técnica para lograr que el zinc se adhiera correctamente a las superficies en piezas pequeñas?*

IX GRAFICOS:

4.2.5 Resultados

Después de las aplicaciones tenemos:



Probeta B. Recubrimiento de Zinc

4.3 TROPICALIZADO

4.3.1 Parámetros Tecnológicos:

Probeta:	C
Tipo de Baño:	Tropical B - 7
Temperatura:	20 -23 °C
Agitación:	Por aire
pH:	4
Tratamiento Previo:	Zincado
Limpieza:	En agua
Tiempo:	1 min.

4.3.2 Observaciones:

- Por ser este un recubrimiento de inmersión, no es necesaria la aplicación de corriente. Es un recubrimiento aplicado para mejorar las superficies de acuerdo a la expectativa deseada dentro del aspecto decorativo.
- Se puede indicar que el terminado de las superficies depende en gran medida del tratamiento previo al tropical.
- El nombre de tropicalizado proviene de la denominación comercial Tropical B-7

4.3.3 Conclusiones:

- El tropicalizado es un recubrimiento que se lo realiza a través inmersión.

- Se lo realiza durante 1 a 2 minutos.
- La limpieza con agua posterior al tropicalizado es primordial para obtener buenos resultados.

4.3.4 Formato de Guía para Zincado

Para el recubrimiento de tropicalizado tenemos el siguiente formato:

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

GUÍA PARA LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

TEMA:

TROPICALIZADO

I. INDICACIONES:

El tropicalizado es un recubrimiento de inmersión donde no se requiere el uso de corriente, se lo realiza posteriormente al zincado.

II. OBJETIVOS:

2.1. Realizar un recubrimiento de tropicalizado sobre una superficie previamente zincada.

III. PROCEDIMIENTO:

3.1. Lavar la probeta a ser recubierta, esta debe estar previamente zincada.

3.2. Medir la probeta y sacar el área en dm^2 .

3.3. Limpiar la cuba para depositar la solución del baño.
contaminen la solución.

3.4. Preparar el baño de tropical B-7 con agua en una proporción de 1 a 3 respectivamente.

3.5. Sumergir las probetas en la solución durante 1 a 3 min.

3.5. Retirar las probetas de la tina.

3.6. Proceder a lavar las probetas en agua por varias veces

IV. CÁLCULOS:

Fórmulas:

$$e = \frac{eq \times I \times t \times Re}{100 \times A \times d}$$

- e = Espesor (μm)
 eq = Equivalente electroquímico (del metal a depositarse)
 I = Intensidad de Corriente (A)
 t = Tiempo (horas)
 Re = Rendimiento de la solución (%)
 A = Área de la probeta expuesta al recubrimiento (dm^2)
 d = Densidad (del metal a depositar g/dm^3)

4.1.

4.2.

4.3.

Temperatura (° C)	pH	Equivalente Electroquímico Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Hora	Rendimiento Re	Área dm2	Densidad g/dm3	Espesor um

V. OBSERVACIONES:**5.1.**

5.2.

5.3

VI. CONCLUSIONES:

6.1.

6.2.

6.3.

VII. RECOMENDACIONES:

7.1.

7.2.

7.3.

VIII. CUESTIONARIO:

8.1. *¿Qué es el tropicalizado?*

8.2. *¿Cuáles son las aplicaciones del tropicalizado?*

8.3. *¿Cómo se puede mejorar la calidad de las superficies tropicalizadas?*

4.3.5 Resultados:

Posterior a las prácticas las probetas lucen así:



Probeta C. Recubrimiento de Tropicalizado

4.4 NIQUELADO

4.4.1 Parámetros Tecnológicos:

Probeta:	D
Tipo de Baño:	Ácido
Temperatura:	20 - 23 °C
Agitación:	Por aire
pH:	6
Electrolito:	Baño de Sales
Tratamiento Previo:	Cobreado

Probeta C:

a = 8.57 mm (Largo)

b = 5.2 mm (Ancho)

c = 0.2 mm (Espesor)

$$\text{Área} = 2 * (a * b + b * c + a * c)$$

$$\text{Área} = 2 * (8.57 * 5.2 + 5.2 * 0.2 + 8.57 * 0.2)$$

$$\text{Área} = 0.0946 \text{ dm}^3$$

Para el cálculo del espesor del metal depositado se aplica:

$$e = \frac{Eq * I * t * n}{100 * A * d}$$

e = Espesor (μm)

Eq = Equivalente electroquímico (Constante de a cuerdo a la solución)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

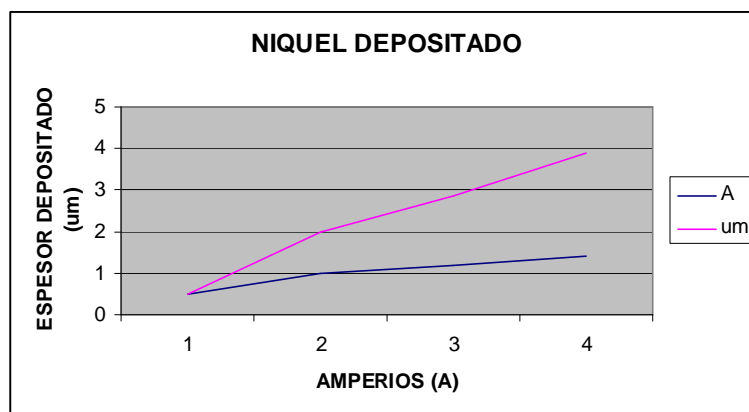
t = Tiempo (horas)

n = Rendimiento de la solución (Constante de acuerdo a la solución)

A = Área (dm^2)

d = Densidad (g/dm^3)

Los resultados de los ensayos para Cobreado se observó:



4.4.2 Observaciones:

- La limpieza de las superficies juega un papel primordial para los resultados posteriores.
- Este tipo de baño se lo realizó sobre una superficie donde previamente se depositó cobre.
- Al igual que en los procesos anteriores los ánodos debieron ser protegidos con nylon para evitar impurezas que contaminen la solución.
- Las piezas deben estar exentas de escoria, pintura y grasa.
- El acoplamiento de los ganchos a las piezas y estos a su vez con la barra deberá ser cuidadoso, de tal forma de hacer caer las piezas a la cuba y que se encuentren haciendo contacto para poder realizar el recubrimiento.
- En esta aplicación se pudo observar la superficie con un ligero color verdete, lo que nos indica que la densidad de corriente debe aumentar. Y esta con la temperatura, esto nos permitió en aplicaciones posteriores apreciar una superficie con brillo, el cual puede mejorar con aditivos.

4.4.3 Conclusiones:

- La densidad de corriente guarda una relación directa con la temperatura y estos con el espesor depositado sobre las superficies.

- El brillo de las superficies depende de la solución empleada. Para mejorarla existen aditivos comerciales.
- La agitación mejora la distribución de corriente y por lo tanto la adherencia.
- El brillo de las superficies depende de la solución y del correcto manejo de los parámetros tecnológicos.

4.4.4. Formato de Guía para Niquelado

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

GUÍA PARA LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

TEMA:

**RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO DE NIQUEL
NIQUELADO**

I. INDICACIONES:

El niquelado es un recubrimiento superficial de terminado, se lo realiza posterior a un recubrimiento de cobre. Se lo aplica para protección superficial y para mejorar el acabado superficial.

II. OBJETIVOS:

- 2.1.** Realizar un recubrimiento de níquel, a través de electrolisis.
- 2.2.** Calcular el depósito de níquel en la probeta.

III. PROCEDIMIENTO:

- 3.1.** Lavar la probeta a ser recubierta, retirar totalmente cualquier residuo de grasa, pintura, escoria (por soldadura), etc. de las superficies.
- 3.2.** Medir la probeta y sacar el área en dm².
- 3.3.** Limpiar la cuba para depositar la solución del baño.
- 3.4.** Preparar los ánodos de zinc previamente seleccionados.
- 3.5.** Perforar en la parte superior los ánodos para poder engancharlos.
- 3.6.** Recurrir los ánodos con nylon, para evitar que las posibles impurezas de este contaminen la solución.
- 3.7.** Utilizar el baño de níquel con la siguiente composición:
Sulfato de níquel 240g/l

V. OBSERVACIONES:**5.1.**

5.2.

5.3

VI. CONCLUSIONES:**6.1.**

6.2.

6.3.

VII. RECOMENDACIONES:**7.1.**

7.2.

7.3.

VIII. CUESTIONARIO:

8.1. ¿Qué es el niquelado?

8.2. ¿Cuáles son las aplicaciones prácticas del níquel?

8.3. En base a las leyes de Faraday, calcule el depósito del níquel sobre la superficie metálica.

8.4. Cómo lograr mejores resultados en los recubrimientos de níquel?

IX GRAFICOS:**4.3.5 Resultados:**

Después de las aplicaciones de níquel podemos apreciar que el brillo depende en gran medida del resultado del tratamiento previo al níquel, por ello se presentó algo de dificultad en el brillo de las superficies; el cual puede ser mejorado con aditivos especiales y con un resultado más óptimo del cobreado.



Probeta D. Recubrimiento de Níquel

4.5. CROMADO**4.5.1 Parámetros Tecnológicos**

Probeta:	E
Tipo de Baño:	Ácido
Temperatura:	20 - 23 °C
Agitación:	Por aire
pH:	3
Electrolito:	Sales de Cromo

Probeta D:

a = 8.57 mm (Largo)

b = 5.2 mm (Ancho)

c = 0.2 mm (Espesor)

$$\text{Área} = 2 * (a * b + b * c + a * c)$$

$$\text{Área} = 2 * (8.57 * 5.2 + 5.2 * 0.2 + 8.57 * 0.2)$$

$$\text{Área} = 0.0946 \text{ dm}^3$$

Para calcular el espesor del metal depositado aplicamos la siguiente fórmula:

$$e = \frac{Eq * I * t * n}{100 * A * d}$$

e = Espesor (μm)

Eq = Equivalente electroquímico (Constante de acuerdo a la solución)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

t = Tiempo (horas)

n = Rendimiento de la solución (Constante de acuerdo a la solución)

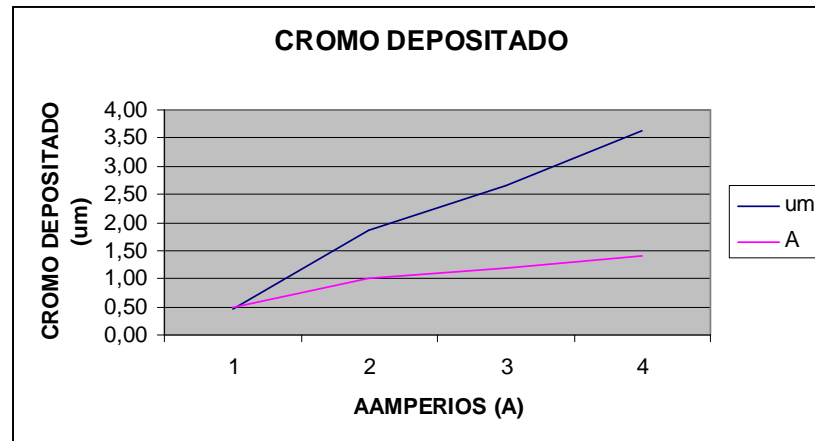
A = Área (dm^2)

d = Densidad (g/dm^3)

Los resultados de los ensayos realizados para Baños de Cromo se observó:

Temperatura	Potencial de Hidrógeno	Equivalente	Intensidad de Corriente	Tiempo	Rendimiento	Área	Densidad	Espesor
(°C)	pH	Eq	A	Hora	n	dm ²	g/dm ³	um
20	3	8,7	0,5	0,5	10	0,47	0,094	0,46
21	3	8,7	1	1	10	0,47	0,094	1,85
22	3	8,7	1,2	1,2	10	0,47	0,094	2,67
23	3	8,7	1,4	1,4	10	0,47	0,094	3,63

El cromo depositado sobre las superficie Metálica fue:



4.5.2 Observaciones:

- El cromado es un recubrimiento posterior al niquelado.
- Al igual que en los procesos anteriores los ánodos debieron ser protegidos con nylon para evitar impurezas que contaminen la solución.
- El acoplamiento de los ganchos a las piezas y estos a su vez con la barra deberá ser cuidadoso, de tal forma de no hacer caer las piezas a la cuba y que se encuentren haciendo contacto para poder realizar el recubrimiento.
- Para este tipo de baño se debe manejar con sumo cuidado los ánodos de plomo, por lo tóxico y contaminante que son estos.

4.5.3 Conclusiones:

- La densidad de corriente y la temperatura son directamente proporcionales al espesor depositado de cromo.
- El brillo de las superficies puede ser mejorada a través de aditivos.
- La agitación mejora la distribución de corriente y por lo tanto la adherencia.

4.5.4 Formato de Guía par el Cromado:

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

GUÍA PARA LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

TEMA:

**RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO DE CROMO
CROMADO**

I. INDICACIONES:

El cromado es un recubrimiento superficial de terminado, se lo realiza posterior a un recubrimiento níquel. Se lo aplica para protección superficial (contra oxidación y corrosión en ambientes agresivos) y para mejorar el acabado superficial.

II. OBJETIVOS:

2.1. Realizar un recubrimiento de cromo, a través de electrolisis.

2.2. Calcular el depósito de cromo en la probeta.

III. PROCEDIMIENTO:

3.1. Lavar la probeta a ser recubierta, retirar totalmente cualquier residuo de grasa, pintura, escoria (por soldadura), etc. de las superficies.

3.2. Medir la probeta y sacar el área en dm^2 .

3.3. Limpiar la cuba para depositar la solución del baño.

3.4. Preparar los ánodos de zinc previamente seleccionados.

3.5. Perforar en la parte superior los ánodos para poder engancharlos.

3.6. Recurrir los ánodos con nylon, para evitar que las posibles impurezas de este contaminen la solución.

3.7. Utilizar el baño de cromo con la siguiente composición:

Ácido Crómico / litro: 300 a 400 g

Ácido Sulfúrico: 3 a 4 g

3.8. Enganchar los ánodos en la cuba (no deben topar el fondo).

3.9. Verter el baño en la cuba.

3.10. Enganchar las piezas sobre la barra de la cuba.

3.11. Experimentar con los siguientes parámetros tecnológicos como guía.

IV. CÁLCULOS:**Fórmulas:**

$$e = \frac{eq \times I \times t \times Re}{100 \times A \times d}$$

e = Espesor (μm)

eq = Equivalente electroquímico (del metal a depositarse)

I = Intensidad de Corriente (A)

t = Tiempo (horas)

n = Rendimiento de la solución (%)

A = Área de la probeta expuesta al recubrimiento (dm^2)

d = Densidad (del metal a depositar g/dm^3)

4.1.

4.2.

4.3.

Temperatura (° C)	pH	Equivalente Electroquímico Eq	Intensidad de Corriente A	Tiempo Hora	Rendimiento Re	Área dm ²	Densidad g/dm ³	Espesor um

V. OBSERVACIONES:**5.1.**

5.2.

5.3

VI. CONCLUSIONES:

6.1.

6.2.

6.3.

VII. RECOMENDACIONES:

7.1.

7.2.

7.3.

VIII. CUESTIONARIO:

8.1. *¿Qué es el cromado?*

8.2. *¿Cuáles son las aplicaciones prácticas del cromo?*

8.3. *En base a las leyes de Faraday, calcule el depósito del cromo sobre la superficie metálica.*

8.4. *¿Cómo lograr mejores resultados en los recubrimientos de cromo?*

IX GRAFICOS:

4.5.5 Resultados:

Al igual que para el niquelado las aplicaciones de cromo dependen del tratamiento previo, por ello se presentaron algunas dificultades en cuanto al brillo deseado de las superficies. Para ello se puede aplicar aditivos que mejoren la presentación de las superficies. Así tenemos:



Probeta E. Recubrimiento de Cromo

4.6. CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO

4.6.1 Se redimensionó el equipo para prácticas del laboratorio de recubrimientos superficiales de Procesos de Producción Mecánica. Ahora el equipo consta de un rectificador de corriente, dos tinas o cubas para los baños, soluciones para cobreado, zincado, tropicalizado, niquelado y cromado, ánodos, ganchos para los respectivos procesos y un calentador para las soluciones.

4.6.2 El rectificador de corriente continua fue cambiado tanto su estructura interna como externa. Internamente está formado por un elemento rectificador, un elemento transformador de corriente, de un voltímetro, un amperímetro, una perilla para regular el voltaje de cero a diez y ocho voltios, de un botón para encendido y apagado del equipo. Externamente está constituido por una caja metálica de cuarenta por cuarenta por diez y seis centímetros, lateralmente tiene una placa de madera donde se indica los polos de las salida de corriente.

4.6.3 Las cubas para los baños fueron modificadas, actualmente sus dimensiones son de cuarenta de largo por treinta de ancho por diez y seis de profundidad. Con ello se logró la optimización de cada uno de los procesos.

4.6.4 El sistema de montaje de las barras sobre las cubas fue reestructurado. Hoy tenemos tres barras que cruzan a través de la cuba, el sistema de sujeción está formado por seis pernos; los mismos que facilitan el montaje y desmontaje de las mismas. Con ello mejoramos forma de la limpieza de las barras y además se brinda mayor seguridad en el montaje de las piezas a recubrir.

4.6.5 El tamaño de las cubas reduce el volumen necesario de las soluciones para los respectivos recubrimientos en probetas de laboratorio, lo que abarata notablemente los costos y la accesibilidad para cada uno de ellos.

4.6.6 Los ganchos para sujetar las piezas a las barras fueron cambiados en su geometría y tamaño de acuerdo a la profundidad de la cuba. Esto ayuda a dar seguridad en el momento de suspender las piezas.

4.6.7 A través del equipo para recubrimientos electrolíticos se realizó con éxito los siguientes procesos: Cobreado, Zincado, Tropicalizado, Niquelado y Cromado.

4.6.8 Para todos y cada uno de los procesos de recubrimientos realizados se pudo apreciar que la intensidad de corriente y la temperatura guardan una relación directamente proporcional con el depósito de metal obtenido.

4.6.9 El proceso de Cobreado fue realizado mediante una solución ácida, por ello se presentaron dificultades en la adherencia del metal sobre la superficie, sin embargo se pudo realizar los tratamientos posteriores.

4.6.10 El tratamiento de Zincado se lo realizó sobre una superficie metálica, se obtuvo una buena adherencia y depósito del metal. Sin embargo se puede obtener mejores resultados en el brillo de las superficies mediante la aplicación de aditivos.

4.6.11 El recubrimiento de tropicalizado es un proceso de inmersión donde no es necesario la aplicación de corriente. Se obtuvo un buen resultado sobre la superficie metálica.

4.6.12 El éxito del proceso de niquelado depende en gran medida del proceso previo del cobreado. Por ello se presentó alguna dificultad en el terminado de brillo de las superficies. Sin embargo esta puede mejorar a través del uso de aditivos especiales para los terminados.

4.6.13 Se realizó un recubrimiento de cromado sobre acero previamente niquelado, el resultado del mismo fue aceptable y el brillo de la superficie mejoró notablemente con el uso de aditivos.

4.6.14 A pesar de los limitantes en cuanto a soluciones y aditivos para todos los procesos realizados, se tuvo un depósito de metal y adherencia aceptables dentro de los parámetros normados.

- 4.6.15** Para el mejor desempeño y aprendizaje teórico – práctico del estudiante se elaboró una guía didáctica para desarrollar los procesos electrolíticos de cobreado, zincado, tropicalizado, níquelado y cromado.

4.7. RECOMENDACIONES GENERALES DEL PROYECTO

- 4.7.1** El éxito de los recubrimientos depende en gran medida de la limpieza de las superficies, por ello se recomienda hacerlo de forma adecuada.
- 4.7.2** Para el mejor desempeño de las aplicaciones electrolíticas se recomienda hacer una inversión superior en cuanto a los tipos de solución para los respectivos baños de acuerdo al material a ser recubierto.
- 4.7.3** Se recomienda dar mantenimiento al equipo para recubrimientos, tanto al rectificador como a las cubas. La limpieza de las cubas deberá ser después de cada proceso para evitar partículas que contaminen las soluciones.
- 4.7.4** Después de cada baño limpiar el eje del calentador, esto evitará contaminar las soluciones con residuos de procesos anteriores.
- 4.7.5** Seguir las normas de parámetros en cuanto al depósito y adherencia de material permitido para cada recubrimiento.
- 4.7.6** Para cada operación de recubrimientos electrolíticos tener presente las normas de seguridad industrial, en cuanto a manejo, almacenamiento, nomenclatura de las soluciones; protección del operario, etc.
- 4.7.7** Utilizar las guías de trabajo con el estudiante para afianzar el conocimiento recibido en las aulas a través de la práctica.

4.8 COSTOS DEL PROYECTO

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó la siguiente inversión:

Rectificador:

Caja metálica:	20.00
Elementos internos:	25.00
Voltímetro:	15.00
Amperímetro:	15.00

Soluciones:

1 Galón de Baño de Cromo:	11.54
1 Galón de Baño de Níquel:	18.50

1 Galón de Baño de Zinc:	15.00
1 Galón de Tropical B-7:	8.00
Papel tornasol pH:	10.00

Calentador:

Eje de acero Inoxidable:	15.00
Cautín:	12.00
Soporte del calentador:	8.00

Cubas:

Operaciones de Reestructuración:	8.00
Sistema de sujeción:	10.00

Probetas:

Placas Metálicas:	5.00
Ganchos:	1.50

Ánodos:

De Níquel:	5.00
De Cobre:	2.00
De Zinc:	2.00
De Plomo:	5.00

Gastos Varios:

Movilización y Transporte:	35.00
----------------------------	-------

Documentación:

Papel:	9.00
Tinta:	24.50
Anillados:	4.50
Copias:	25.00

Total de Inversión: USD 309.54

ÍNDICE

RESUMEN.....	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES	3
1.1 ELECTROQUÍMICA	3
1.2 CORRIENTE ELECTROQUÍMICA	3
1.3 MEDIDAS ELÉCTRICAS	4
1.4 CONDUCTORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA	4
1.5 ELECTROLITOS	5
1.6 ELECTRÓLISIS	6
1.7 LEYES DE FARADAY	8
1.7.1 Primera Ley	8
1.7.2 Segunda Ley	9
1.7.3 Número de Faraday	10
1.8 PESO DEL METAL DEPOSITADO DUTANTE LA ELECTROLISIS	11
1.9 EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO	11
1.10 RENDIMIENTO ELECTROQUÍMICO	11
1.11 VARIABLES QUE DETERMINAN LOS RECUBRIMEINTOS ELECTROLÍTICOS	12
1.11.1 Densidad de Corriente	12
1.11.2 Concentración de la Solución	12
1.11.3 Composición de los Baños	12
1.11.4 Acidez Concentración en Iones Hidrógeno	13
1.11.5 Temperatura	13
1.11.6 Agitación	14
1.11.7 Poder de Penetración	14
1.12 PROCESOS ELECTROLÍTICOS	14
1.12.1. Galvanoplastia	14
1.12.2. Galvanotécnia	15
1.12.3. Electrometalurgia	15
1.12.4. Purificación de Metales	15
1.13 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE	15
1.13.1 Lubricación	16
1.13.2 Impacto	17
1.13.3 Fatiga	17
1.14 MÉTODOS DE RESISTENCIA AL DESGASTE	17

1.15 TIPOS DE DESGASTE	17
1.15.1 Desgaste mecánico	17
1.15.1.1 Fricción	18
1.15.1.2 Abrasión	18
1.15.1.3 Erosión	18
1.15.2. Desgaste Químico	19
1.15.2.1 Oxidación	19
1.15.2.2 Corrosión	20
1.15.2.3. Formas de Corrosión	20
1.15.2.3.1 Corrosión Uniforme	21
1.15.2.3.2 Corrosión Localizada	21
1.16 MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE LOS METALES CONTRA LA CORROSIÓN	26
1.16.1 Protección por Aleación	26
1.16.2 Protección por Películas de Óxido	27
1.16.3 Protección por Tratamiento del Medio Ambiente	29
1.16.4 Protección por Recubrimiento Metálico	30
1.16.4.1 Protección Anódica	30
1.16.4.2 Protección Catódica	30
1.17 DISEÑO PARA MINIMIZAR LA CORROSIÓN	32
1.18 MÉTODOS DE LIMPIEZA	33
1.18.1 Elección del Método de Limpieza	33
1.18.2 Clasificación de los Métodos de Limpieza	34
1.18.2.1 Limpieza Química	34
1.18.2.2 Limpieza Mecánica	37
1.18.2.3 Limpieza Electroquímica	40

CAPITULO II

RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS	41
2.1. FORMAS DE PROTECCIÓN	41
2.1.1. Protección con Efecto Decorativo	41
2.1.2. Decoración sin Efecto de Protección	41
2.1.3. Protección sin Efecto Decorativo	41
2.1.4. Modificación de las Propiedades Físicas	41
2.1.5. Diseño de Piezas a Recubrirse Electrolíticamente	43
2.2. ZINCADO	44
2.2.1. Introducción	44
2.2.2. Propiedades del Zinc	45

2.2.3. Preparación de las Piezas antes del Zincado	46
2.2.4. Normalización y Control	46
2.2.5. Electrólisis	48
2.2.5.1. Baños con Cianuro de Zinc	48
2.2.5.2. Baños con Óxido de Zinc	48
2.3. COBREADO	49
2.3.1. Introducción	49
2.3.2. Propiedades del Cobre	49
2.3.3. Normalización y Control	49
2.3.4. Electrólisis	50
2.3.4.1. Baños Alcalinos al Cianuro	50
2.3.4.2. Baños Ácidos	51
2.3.4.3. Baños del Fluoborato	52
2.3.4.4. Recubrimientos sobre Piezas a Cementar	52
2.3.4.5. Baños Brillantes de Cobre	52
2.3.4.6. Ánodos	53
2.4. NIQUELADO	53
2.4.1. Introducción	53
2.4.2. Propiedades del Níquel	53
2.4.3. Preparación de las Piezas antes del Niquelado	54
2.4.4. Electrólisis	55
2.4.5. Baños de Níquel frecuentemente Empleados	56
2.4.5.1. Baños Fríos	57
2.4.5.2. Baños Calientes sin Agitación	58
2.4.5.3. Baños Caliente con Agitación	59
2.4.5.4. Niquelado Brillante	59
2.4.5.5. Niquelado de Piezas o Niquelado al Tambor	59
2.4.5.6. Niquelado Negro	60
2.4.5.7. Baños de Níquel sobre diferentes Materiales	60
2.4.5.7.1. Niquelado del Zinc	60
2.4.5.7.2. Niquelado sobre Cobreado	61
2.4.5.7.3. Niquelado del Aluminio	61
2.4.6. Ánodos	64
2.4.7. Normalización y Control	65
2.4.8. Efectos de las Impurezas en las soluciones de Níquel y Métodos de Purificación	68
2.4.9. Desniquelado	69
2.5. CROMADO	69

2.5.1. Introducción	69
2.5.2. Propiedades del Cromo	70
2.5.3. Normalización y Control	70
2.5.4. Electrólisis	71
2.5.5. Rendimiento de los Baños de Cromo	74
2.5.6. Poder de Penetración	75
2.5.7. Mantenimiento de los Baños de Cromo	75
2.5.8. Catalizadores y Aditivos para los Baños de Cromo	76
2.6. ANODIZADO	78
2.7. TROPICALIZADO	79
2.8. SEGURIDAD INDUSTRIAL	80

CAPÍTULO III

MATERIALES Y EQUIPOS PARA ELECTRÓLISIS	81
3.1 MATERIAL ELÉCTRICO	82
3.1.1. Rectificadores	82
3.2 DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE	83
3.3 ACOPLAMIENTO DE LOS ÁNODOS A LAS BARRAS	84
3.4 APARATOS DE MEDIDA	84
3.4.1. Voltímetro y Amperímetro	84
3.5 CUBAS	85
3.6. MATERIAL PARA CALENTAR LOS BAÑOS	86
3.7. MATERIAL PARA AGITAR LOS BAÑOS	87
3.8. MATERIAL DE FILTRADO	87
3.9. MATERIAL DE SECADO	88
3.10. INSTALACIÓN DE LOS TALLERES	88
3.11. REDIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO PARA RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA	89
3.11.1. Rectificador	89
3.11.2. Cubas o tinas para el Baño	92
3.11.3. Insumos necesarios par los Recubrimientos Electrolíticos	94

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE VARIABLES	95
4.1. COBREADO	95
4.1.1. Parámetros Tecnológicos	95

4.1.2. Observaciones	96
4.1.3. Conclusiones	97
4.1.4. Formato de Guía para Cobreado	97
4.1.5. Resultados	101
4.2. ZINCADO	101
4.2.1. Parámetros Tecnológicos	101
4.2.2. Observaciones	102
4.2.3. Conclusiones	103
4.2.4. Formato de Guía para Zincado	103
4.2.5. Resultados	107
4.3. TROPICALIZADO	107
4.3.1. Parámetros Tecnológicos	107
4.3.2. Observaciones	107
4.3.3. Conclusiones	107
4.3.4. Formato de Guía para Tropicalizado	107
4.3.5. Resultados	111
4.4. NIQUELADO	111
4.4.1. Parámetros Tecnológicos	111
4.4.2. Observaciones	112
4.4.3. Conclusiones	112
4.4.4. Formato de Guía para Cobreado	113
4.5.5. Resultados	116
4.5. CROMADO	116
4.1.1. Parámetros Tecnológicos	116
4.1.2. Observaciones	118
4.1.3. Conclusiones	118
4.1.4. Formato de Guía para Cromado	118
4.1.5. Resultados	112
4.6. CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO	122
4.7. RECOMENDACIONES GENERALES DEL PROYECTO	124
4.8 COSTOS DEL PROYECTO	124
ÍNDICE.....	126

BIBLIOGRAFÍA.....	131
--------------------------	------------

ANEXOS.....	
--------------------	--

BIBLIOGRAFÍA

1. *Erazo, M* (1989). Seminario de Corrosión. Editorial Cedes. Quito
2. *Machu, Willi* (1995). Recubrimientos Electrolíticos Brillantes. Editorial Salvado. Barcelona
3. *Lopher, Ahr* (1990). Introducción a la Electricidad y Electrónica. Editorial Diana. México
4. *Avner, Sydney* (2000). Introducción a la Metalurgia Física. Editorial McGraw-Hill. México
5. *Doyle, Lawrence* (2000). Materiales y Procesos de Manufactura para Ingeniería. México
6. *Arbellot, L* (2001) Electricidad I. España
7. *Leyensetter, A* (1984) Tecnología de los Oficios Metalúrgicos. Editorial Reverte. Barcelona
8. *Norma INEN 610*. Tratamientos Superficiales y Recubrimientos Metálicos Definiciones y Terminología.
9. *Norma INEN 950*. Recubrimientos Metálicos. Determinación de la Adherencia. Métodos de Ensayo
10. *Norma INEN 955*. Recubrimientos Electrolíticos de Cobre + Níquel + Cromo sobre Acero. Requisitos
11. [htm:\www.Ingalsa.com](http://www.Ingalsa.com)
12. [htmt:\www.Cincado electrolítico en Torremocha.com](http://www.Cincado electrolítico en Torremocha.com)
13. htm:Recubrimientos electrolíticos y baños galvánicos_ Limpieza de superficies.com