
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



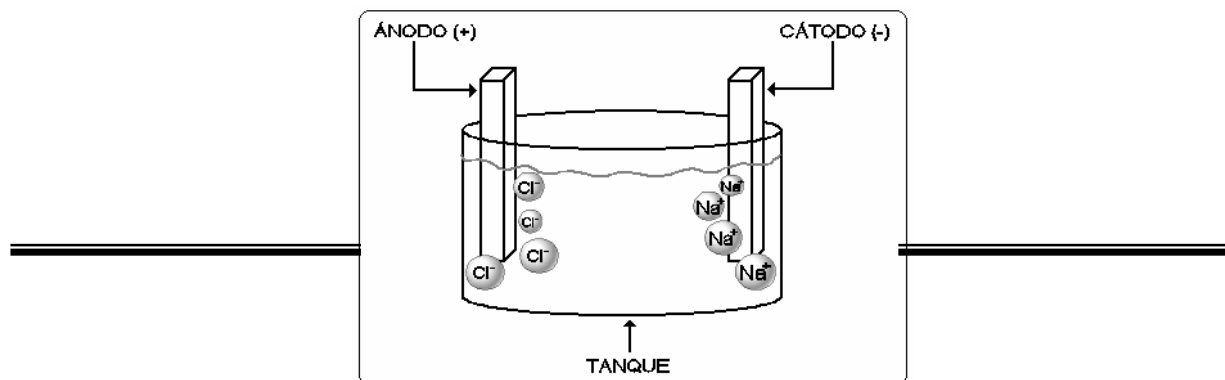
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURAS DE INGENIERÍA 7

PRINCIPIOS DE ELECTRODEPOSICIÓN



M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CUAUTITLÁN IZCALLI 2008

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Ciencia y Tecnología actuales implican la generación y aplicación del conocimiento en muchas áreas y consecuentemente el estudiante de Ingeniería debe estar al tanto de los mismos, sin embargo, debido a la actualización poco frecuente de los programas y planes de estudio y por las limitaciones propias de semestres de apenas cuatro meses de actividades académicas, es difícil la actualización del estudiante en dichos conocimientos, además, dejar trabajos de investigación no funciona de la manera deseada, ya que en muchas ocasiones se descargan de Internet y se imprimen sin siquiera leerlos, de ese modo, surge la idea de crear una serie de apuntes de temas básicos para el ingeniero actual como son: el endurecimiento superficial del acero, las fundiciones de hierro, la tribología y el desgaste, la superplasticidad, los avances en la industria siderúrgica, superaleaciones, etc.

En esta entrega, se estudia el proceso de electrodeposición a través del cual un metal se deposita sobre otro, mediante el paso de una corriente eléctrica. Las múltiples aplicaciones de esta técnica y el fluir natural del estilo de vida actual hacen evidente una dependencia al empleo de materiales sometidos a un proceso de electrodeposición, que van desde utensilios en la cocina, defensas de automóviles, herramientas con recubrimientos, etc. Por lo que su estudio es de gran importancia para quienes se encarguen de la elección de materiales capaces de solucionar problemas y satisfacer necesidades, tales como vivienda, transporte, conservación de alimentos, entre otras, esperando que sea de utilidad e interés para los alumnos y personas interesadas en el tema.

Como siempre cualquier comentario o corrección será bienvenido.

ATTE.

Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CAPÍTULO 1 PRINCIPIOS DE ELECTRODEPOSICIÓN

1.1. DEFINICIÓN DE ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición es el método de cubrir objetos con una película fina de otro metal. El principio que rige este fenómeno es la electrólisis, cuyo nombre procede de dos radicales, electro que hace referencia a electricidad y lisis que significa ruptura.

La electrodeposición implica la reducción (disminución del estado de oxidación; ganancia de electrones) de un compuesto metálico disuelto en agua y una deposición del metal resultante sobre una superficie conductora.

Probablemente esta técnica es uno de los procesos mas complejos conocidos, debido a que hay un gran número de fenómenos y variables que intervienen en el proceso total, mismos que son llevados a cabo en la superficie de los materiales involucrados.

En la electrodeposición de metales, el éxito de la operación está en función del control de los fenómenos involucrados, por lo que es necesario mencionar los principios a los que se sujetan éstos, ya que cualquier variación en el proceso se verá reflejada de manera significativa en el resultado obtenido.

1.2 PRINCIPIOS DE ELECTROQUÍMICA

La Electroquímica es la ciencia que estudia el intercambio de energía química y eléctrica que se produce por medio de una reacción de óxido-reducción.

La oxidación es la pérdida de electrones, mientras la reducción es la ganancia de los mismos. Las reacciones de óxido-reducción (redox), son aquellas en donde hay una transferencia de uno ó más electrones.

Electrólisis es el nombre que recibe el proceso mediante el cual la energía eléctrica se emplea para producir cambios químicos; mediante una reacción redox no espontánea, donde se hace pasar una corriente eléctrica. Se lleva a cabo en un

contenedor llamado cuba electrolítica. La electrolisis es uno de los principales métodos químicos de separación. La principal ventaja del método electrolítico consiste en que no es necesario aumentar la temperatura para que la reacción tenga lugar, evitándose pérdidas energéticas y reacciones secundarias. Industrialmente es uno de los procesos más empleados en diferentes áreas, como por ejemplo en la obtención de elementos a partir de compuestos (cloro, hidrógeno, oxígeno), la purificación de metales (el mineral metálico se disuelve en ácido, obteniéndose por electrólisis el metal puro) o la realización de recubrimientos metálicos protectores y/o con fines decorativos, como es el caso del niquelado. A continuación se menciona la definición de algunos términos empleados en el proceso de electrodeposición:

- *El electrodepósito es el depósito catódico obtenido por el paso de una corriente eléctrica en una célula electrolítica.*
- *Un electrodo es el componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado del circuito a un medio conductor como un electrolito. El electrodo positivo es llamado ánodo y el electrodo negativo es llamado cátodo.*
- *El electrolito es la sustancia iónica que en solución se descompone al pasar la corriente eléctrica.*

1.3 PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD

Los procesos electrolíticos implican variables eléctricas que es conveniente revisar:

- *La corriente eléctrica (I): es la rapidez del flujo de carga que pasa por un punto dado en un conductor eléctrico, que se origina por el movimiento de los electrones y es una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto dado en la unidad de tiempo. Se mide en amperes (A).*

- *La diferencia de potencial o voltaje (V): Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un alambre conductor, se dice que lo hace porque existe una diferencia de potencial entre los dos extremos del alambre. La diferencia de potencial entre dos puntos se define como el trabajo efectuado, medido en joules (J), por fuerzas eléctricas para mover una carga de un Coulomb desde el punto de mayor potencial hasta el punto de menor potencial. A la unidad con que se mide la diferencia de potencial se le llama Volts.*
- *La resistencia (R): Es la oposición al flujo de carga eléctrica, y esta presente en todos los elementos. Es una propiedad específica del material, que esta en función de sus propiedades como son: el tamaño, forma y temperatura. Es independiente del voltaje y la corriente que pasa a través de ella. La unidad de medida es Ohms (Ω).*

Un aislante es un material que se resiste al flujo de carga a través de si mismo. Un conductor eléctrico es un material por el cual puede transferirse carga fácilmente, la mayor parte de los metales son buenos conductores, existen diferentes tipos de conductores, clasificados por su naturaleza de conducción:

- *Los conductores de primer orden son aquellos que poseen conductancia eléctrica, en los cuales los portadores de la carga son los electrones. Se caracterizan por tener una conducción sin transferencia substancial de masa.*
- *Los conductores de segundo orden poseen conductancia iónica o electrolítica, y los portadores de la carga son los iones. En este tipo de conductores se da una transferencia de masa asociada con la conductividad.*
- *Los conductores de tercer orden, llamados comúnmente semiconductores, poseen tanto conductancia iónica como eléctrica. Por lo general predomina el carácter eléctrico.*

La ley de Ohm establece que para un resistor dado, a determinada temperatura la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado, esta proporcionalidad se establece como:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.1)$$

Donde:

V = voltaje

R = resistencia

I = corriente

Un circuito en serie se define como aquel circuito en el que la corriente eléctrica tiene un solo camino para llegar al punto de partida, sin importar los elementos intermedios. En el caso concreto de arreglos únicamente de resistencias, la corriente eléctrica es la misma en todos los puntos del circuito (Figura 1.1).

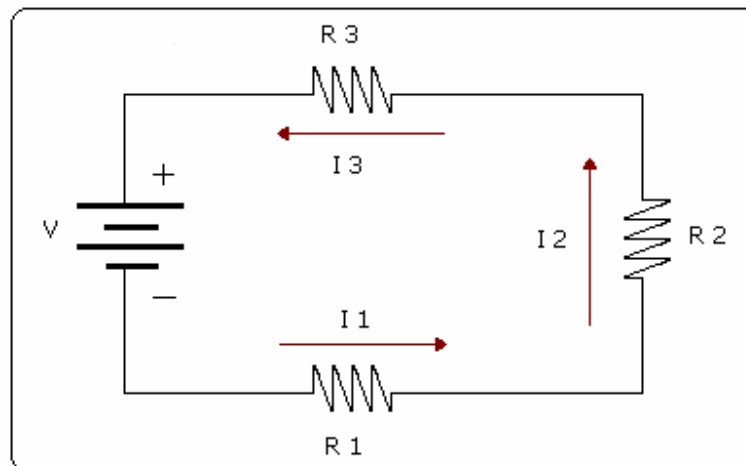


Figura 1.1 Arreglo de resistencias en serie.

Un circuito en paralelo se define como aquel circuito en el que la corriente eléctrica se divide en cada nodo. Su característica más importante es el hecho de que el potencial ó voltaje en cada uno de los resistores del circuito, tiene el mismo valor como se aprecia en el esquema (Figura 1.2).

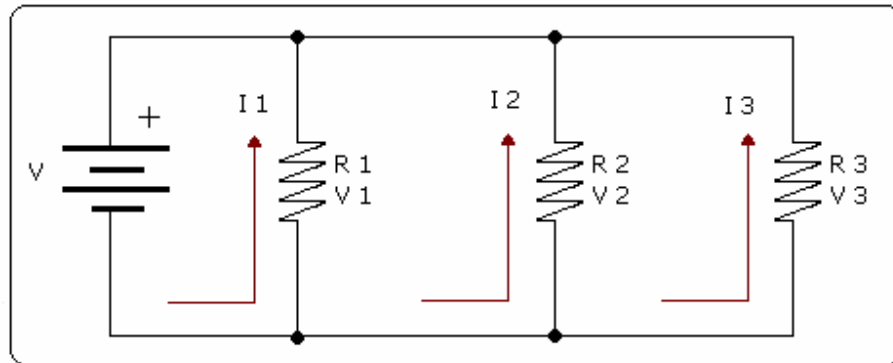


Figura 1.2 Arreglo de resistencias en paralelo.

Un circuito mixto se define como la combinación de elementos tanto en serie como en paralelo. Para la solución de estos problemas se trata de resolver primero todos los elementos que se encuentran en serie y en paralelo, para finalmente reducirlo a un circuito puro, bien sea en serie o en paralelo (Figura 1.3).

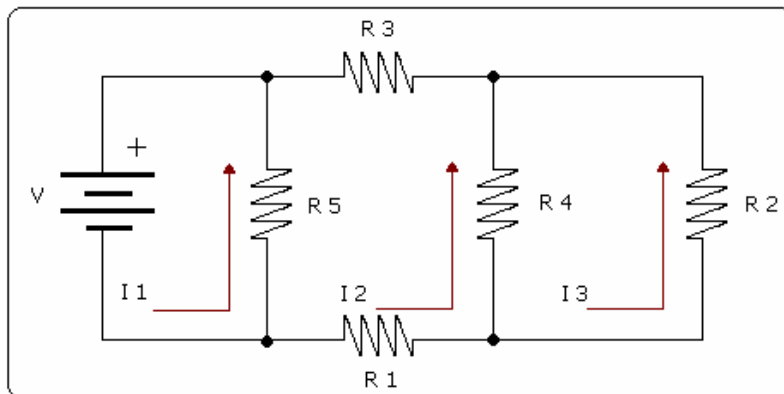


Figura 1.3 Arreglo de resistencias en un circuito mixto.

1.4 PROCESO ELECTROLÍTICO

El proceso electrolítico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito, entre dos electrodos conductores denominados ánodo y cátodo. Donde los cambios ocurren en los electrodos.

Cuando conectamos los electrodos con una fuente de energía (generador de corriente directa), el electrodo que se une al polo positivo del generador es el ánodo y el electrodo que se une al polo negativo del generador es el cátodo.

Una reacción de electrólisis puede ser considerada como el conjunto de dos medias reacciones, una oxidación anódica y una reducción catódica (Figura 1.4).

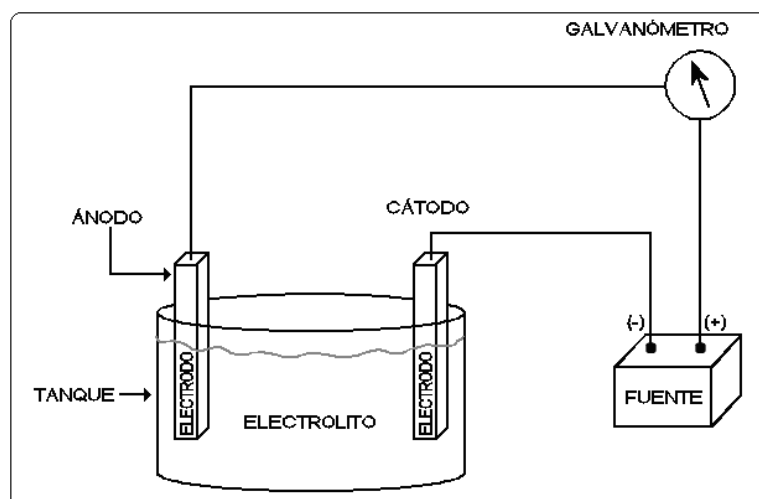


Figura 1.4 Elementos que intervienen en un proceso electrolítico.

Para explicar las reacciones en los electrodos, se considerará al cloruro de sodio fundido, por que sólo contiene dos tipos de iones. Se utilizan electrodos inertes; que significa que no reaccionan químicamente con los iones sodio y cloruro.

Los iones de sodio (+) o cationes, son atraídos hacia el electrodo negativo (cátodo). El cátodo se hace negativo por la acción de la fuente que le bombea electrones (Figura 1.5).

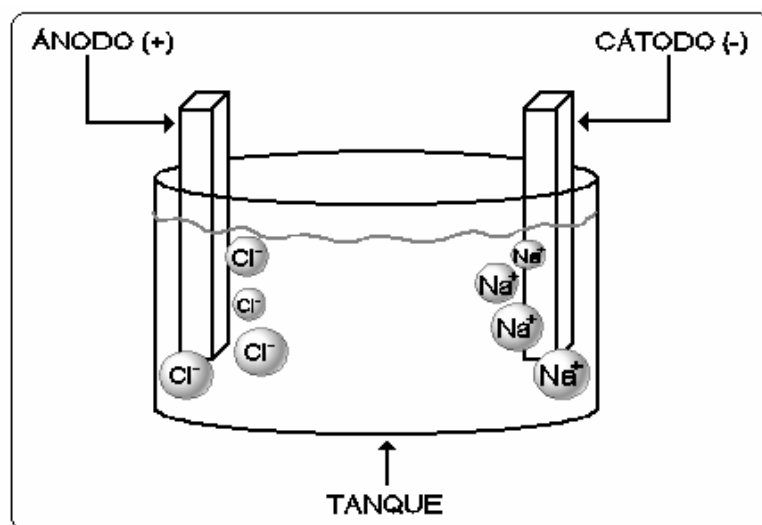
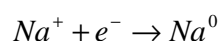


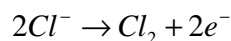
Figura 1.5 Movimiento de los iones hacia los electrodos.

Los electrones del cátodo están en un estado de elevada energía potencial. El ion sodio tiene carga positiva, esto significa que atrae electrones y que un electrón de un átomo de sodio tendría una menor energía potencial que un electrón del cátodo. Por lo tanto los electrones del cátodo se desplazan hacia el catión, por diferencia de energía potencial. En el cátodo los iones de sodio se convierten en átomos de sodio por adición de un electrón. Este es un cambio químico y puede representarse con la siguiente ecuación:



Este cambio químico representa una ganancia de electrones, por lo tanto el sodio se redujo y pasó a estado metálico, en consecuencia, el cambio químico que siempre ocurre en el cátodo es de reducción.

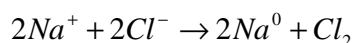
El ánodo es positivo ya que la fuente le bombea electrones fuera de él y además atrae iones cloruro (-) o aniones. En el ánodo los electrones poseen baja energía potencial. En cambio los electrones externos del ion cloruro se encuentran en un estado de potencial elevado. Cuando los iones cloruro llegan al ánodo le proporcionan electrones a este. Los electrones pasan de un estado de energía potencial elevada a uno de baja energía potencial. El cambio ocurrido en el ánodo puede representarse con otra ecuación:



Los iones cloruro pierden electrones transformándose en átomos de cloro, los cuales a su vez forman moléculas de cloro gaseoso. La reacción anódica siempre es de oxidación.

Las reacciones de oxidación y reducción ocurren simultáneamente, pero por separado, pues ocurren en diferentes puntos. La fuente no produce electrones, sólo los transporta de un lugar a otro, así los electrones que la fuente suministra al cátodo, provienen del ánodo. La función de la fuente es elevar la energía potencial de los electrones del cátodo.

Estas reacciones de electrodo se llaman semi-reacciones, y la reacción global de la electrólisis del cloruro de sodio es:



La naturaleza de las reacciones del electrodo depende de la diferencia de potencial o voltaje aplicado.

1.5 LEY DE FARADAY

La ley de Faraday constituye el principio fundamental de la electrólisis. Con la ecuación de esta ley se puede calcular la cantidad de metal que se ha corroído o depositado uniformemente sobre otro, mediante un proceso electroquímico durante cierto tiempo, y se expresa en los siguientes enunciados ^[8]:

“La cantidad de cualquier elemento (radical o grupo de elementos) liberada ya sea en el cátodo o en el ánodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la solución”.

$$W = \frac{I \cdot T \cdot M}{n \cdot F} \quad (2.2)$$

Donde:

W = cantidad de metal que se ha corroído o depositado [g]

I = corriente [A]

T = tiempo que dura el proceso [s]

M = masa atómica del metal $\left[\frac{g}{mol}\right]$

n = valencia del metal

F = constante de Faraday = 96500 $\left[A \cdot s/mol\right]$

“Las cantidades de elementos o radicales diferentes liberados por la misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos equivalentes”.

1.6 DEPÓSITOS ELECTROLÍTICOS MÁS COMUNES

A los revestimientos obtenidos a través de un proceso de electrodeposición, se les conoce como depósitos electrolíticos. Estos electrodepósitos pueden estar compuestos de uno o más elementos, cada uno de ellos sobre un metal base, según la aplicación que se desee.

En seguida se muestra una tabla que incluye los revestimientos mas usados en la industria con su respectivo metal base (Tabla 1.1).

<i>Tabla 1.1 Electrodepósitos comunes</i>	
<i>Electrodepósito</i>	<i>Metal base</i>
<i>Cobre-Níquel-Cromo</i>	<i>Materiales ferrosos</i>
<i>Níquel-Cromo</i>	<i>Materiales ferrosos</i>
<i>Cinc</i>	<i>Materiales ferrosos</i>
<i>Cadmio</i>	<i>Materiales ferrosos</i>
<i>Cobre-Níquel-Cromo</i>	<i>Aleaciones de Cinc</i>
<i>Níquel-Cromo</i>	<i>Cobre y sus aleaciones</i>
<i>Plata</i>	<i>Cobre y sus aleaciones</i>
<i>Oro</i>	<i>Cobre y sus aleaciones</i>
<i>Oro</i>	<i>Aleaciones de Cinc</i>
<i>Estaño</i>	<i>Cobre y sus aleaciones</i>
<i>Estaño</i>	<i>Materiales ferrosos</i>
<i>Níquel</i>	<i>Materiales ferrosos y Sus aleaciones</i>
<i>Níquel</i>	<i>Cobre y sus aleaciones</i>
<i>Cromo</i>	<i>Materiales ferrosos</i>

1.7 NOMENCLATURA PARA ELECTRODEPÓSITOS

En Galvanotecnia existe una nomenclatura que resulta muy útil cuando se requiere de la realización de varias pruebas, pues reduce el tiempo invertido en el registro de los datos, además de facilitar la lectura de los mismos (Figura 1.6).

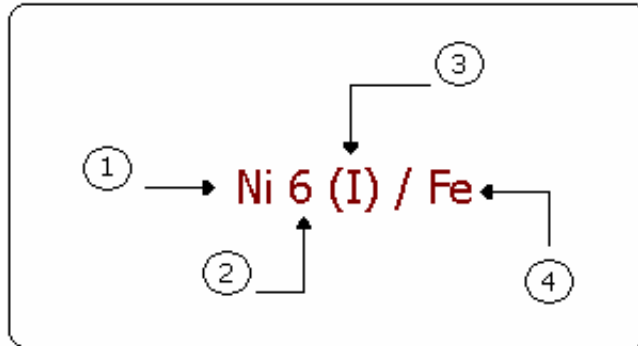


Figura 1.6 Simbolización de revestimientos en Galvanotecnia.

En donde:

1. *Símbolo químico del metal o elemento preferencial del revestimiento.*
2. *Espesor del revestimiento metálico para procesos electrolíticos; se expresa en micrómetros (μm).*
3. *Proceso de revestimiento, escrito entre paréntesis con número romano, que va de I a X. En este caso I, lo que indica un proceso electrolítico.*

Los revestimientos más comunes son:

- (I) Depósito electrolítico*
- (II) Depósito químico*
- (III) Revestimiento por inmersión en metal fundido*
- (IV) Revestimiento por metalización a pistola*
- (V) Revestimiento por chapado*
- (VI) Depósitos al vacío*

4. *Símbolo químico del metal ó aleación base, precedido de una línea diagonal.*

1.8 APLICACIONES PRÁCTICAS

La electrodeposición es una tecnología muy importante, debido a que permite recubrir materiales baratos y muy accesibles con capas de diferentes metales.

No sólo se aplica para obtener mejores propiedades, su uso se extiende a múltiples aplicaciones, en las cuales, de otra manera, resultaría muy costoso alcanzar estos objetivos, como protección contra la corrosión, mejora de las propiedades mecánicas y acabados estéticos (decoración).

Algunas de las aplicaciones más comunes del níquelado son las siguientes:

- *Protección a la corrosión; ya que las capas de níquel no son porosas, como en el caso del recubrimiento de herramientas (Figura 1.7).*



Figura 1.7 Perforadora con acabado níquel brillante.

- *Mejoramiento de las propiedades mecánicas; empleadas en combinación con otros metales, como el cromo. Una aplicación muy común en la industria automotriz, son las defensas para automóviles (Figura 1.8).*



Figura 1.8 Válvula de paso niquelada.

- *Recubrimientos decorativos; acabados exclusivamente estéticos, por ejemplo, en accesorios metálicos para baños y muchos otros artículos en el mercado (Figura 2.9).*



Figura 1.9 Izquierda: recipiente metálico niquelado. Derecha: rin cromado para automóvil.

1.9 NIQUELADO

Se le denomina *Niquelado ó Niquelado electrolítico* al proceso de formación de un revestimiento metálico de níquel sobre una superficie, sin importar el grosor del revestimiento, ni el metal base en el cual se encuentra el electrodepósito. También se le llama *Niquelado* al proceso mediante el cual se realiza una metalización de níquel a pistola.

En el subtema 1.4 se explicó el proceso electrolítico general; en el caso particular del proceso de niquelado electrolítico (Figura 1.10), las reacciones que se llevan a cabo son:

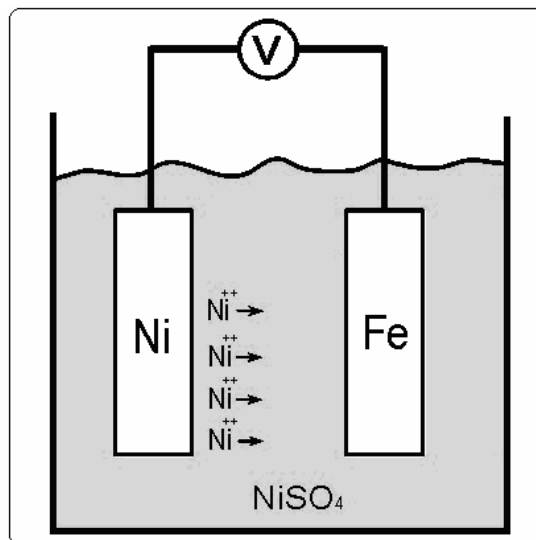
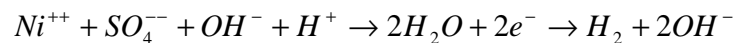
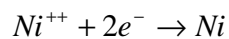
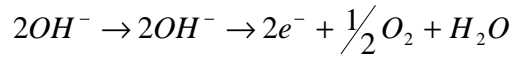
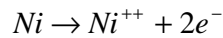


Figura 1.10 Esquema de un niquelado electrolítico.

REACCIONES EN EL CÁTODO:



Por lo que se produce H_2

REACCIONES EN EL ÁNODO:

Por lo que se produce O_2

En la industria, es muy común utilizar revestimientos múltiples. En el caso de revestimientos de cobre-níquel-cromo, sobre materiales ferrosos, se usan espesores determinados para cada uno de los elementos; en el caso del cobre, desde $10 \mu\text{m}$ hasta $20 \mu\text{m}$, para el níquel de $5 \mu\text{m}$ a $20 \mu\text{m}$, mientras que el cromo siempre se mantiene en $0.3 \mu\text{m}$. Este electrodeposito se usa mucho en la industria metalmecánica, ya que ofrece un acabado altamente resistente a la corrosión y muy estético. Cuando el metal base es el cinc, el níquel se deposita de $8 \mu\text{m}$ a $35 \mu\text{m}$, el cromo de $0.3 \mu\text{m}$ a $0.8 \mu\text{m}$ el cobre se deposita de $8 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$. Para el caso del zamak (aleación de cinc) el cobre puede ser sustituido por latón ó bronce.

Cuando se aplica un electrodeposito níquel-cromo, regularmente sobre cobre y sus aleaciones, el espesor del depósito de níquel varía de $4 \mu\text{m}$ a $16 \mu\text{m}$ y el cromo se deposita de $0.3 \mu\text{m}$. Este electrodeposito es apto para medios medianamente corrosivos.

Para revestimientos de níquel sobre bases de cobre, se emplean de $3 \mu\text{m}$ a $6 \mu\text{m}$ de Ni, mientras que en el caso de materiales ferrosos, los espesores son de $3 \mu\text{m}$ a $5 \mu\text{m}$.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

En el diseño de un sistema de electrodeposición, en general, se consideran las características del lugar donde se pretende instalar, como son: los materiales que constituyen el área de trabajo, el tipo de ventilación, la temperatura ambiental, la clase de pintura u otros recubrimientos que se tengan en paredes, techo y suelo, los tipos de instalaciones con las que se cuenta, como eléctrica y toma de agua, etc. Además, de las restricciones específicas del sistema.

2.1. ELECCIÓN DEL METAL RECUBRIDOR (ÁNODO)

2.1.1. FACTORES CONSIDERADOS

En galvanoplastia, a nivel industrial, el níquel es un metal muy importante debido a que se aplica sobre varios metales ferrosos y no ferrosos sin la necesidad de un revestimiento previo.

2.1.2. CRITERIO DE ELECCIÓN

Este sistema se diseñó para contener una cuba de níquelado adecuada para recubrir artículos con fines decorativos, debido a que esa aplicación emplea menor cantidad de materiales; esto obedece a que mientras más delgada sea una capa de níquel, mayor calidad de brillo ofrece su acabado.

2.2. POSICIÓN Y NÚMERO DE ÁNODOS

El ánodo es el electrodo compuesto del metal recubridor, en este caso, níquel. Las líneas de fuerza de los ánodos se comportan de la misma forma que las líneas de un

campo magnético; es decir, éstas se desplazan de ánodo al cátodo, algunas en línea recta y otras se curvan ligeramente.

La posición y la cantidad de los ánodos dependen de la forma del objeto a recubrir, por lo que existen varias configuraciones, de las cuales, las más comunes se ilustran a continuación:

2.3. RECUBRIMIENTO PARCIAL DE UNA PIEZA

El recubrimiento más sencillo consiste en recubrir sólo una de las caras de la pieza, ó cuando ésta tiene una forma regular, esto es, sin cambios drásticos en la superficie, regularmente plana. Esta configuración también es usada para trabajar piezas muy pequeñas (Figura 2.1).

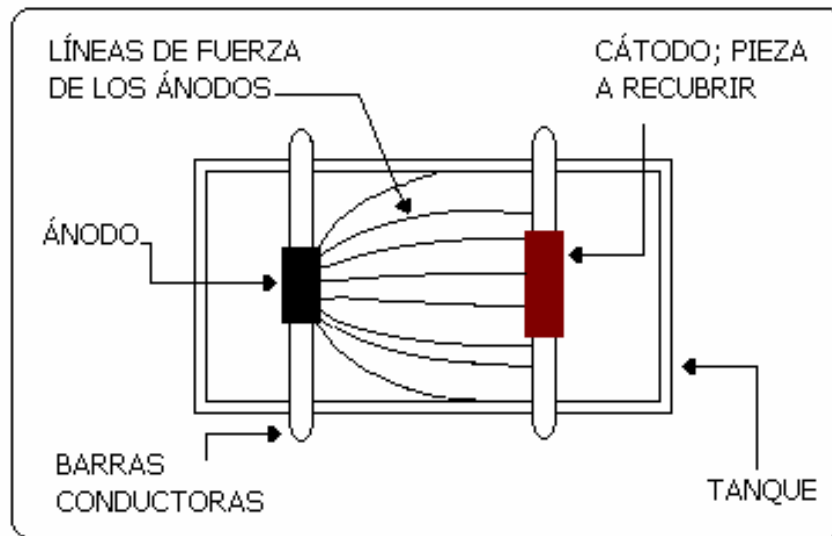


Figura 2.1. Configuración de un cátodo y un ánodo para trabajos sencillos.

2.3.1. RECUBRIMIENTO TOTAL DE UNA PIEZA

Para recubrir totalmente una pieza, es necesario contar con más de un ánodo, lo que permite un recubrimiento homogéneo, evitando así, que la pieza de trabajo sea

sometida a una segunda sesión. Generalmente se emplean dos ánodos equidistantes a la pieza a tratar (Figura 3.2).

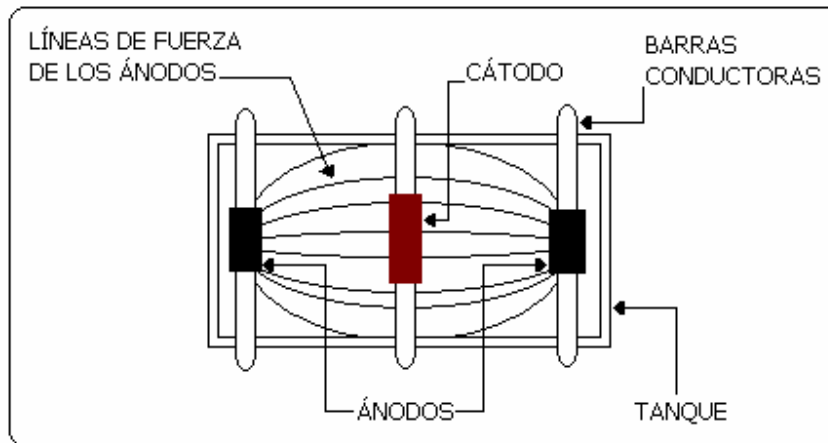


Figura 2.2 Configuración de dos ánodos equidistantes.

2.3.2. RECUBRIMIENTO DE PIEZAS IRREGULARES

En el caso de piezas cuya superficie no sea plana o con cambios drásticos de forma en la superficie, es necesario que los ánodos tengan una forma cercana a la del objeto a recubrir, el caso más común es el recubrimiento de una pieza (cátodo) redonda, con un área pequeña (Figura 2.3).

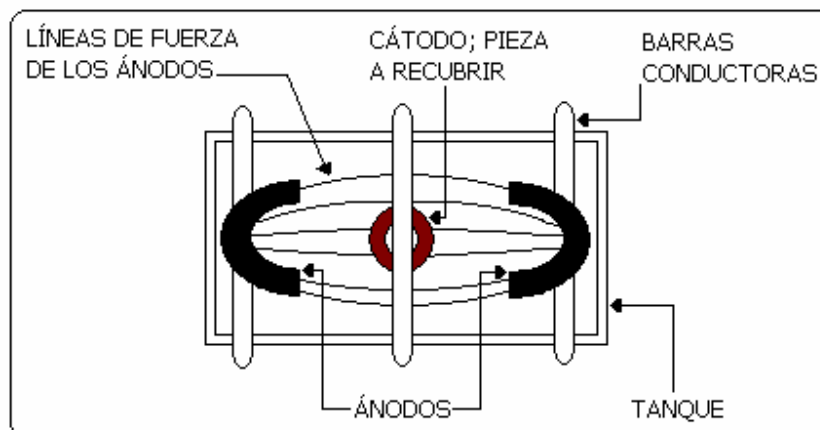


Figura 2.3 Configuración de dos ánodos para piezas redondas ó con forma irregular.

2.3.3. RECUBRIMIENTO EXTERIOR E INTERIOR

En el recubrimiento de una pieza (cátodo) redonda con área grande ó con una forma irregular, se emplean más de dos ánodos. La configuración de éstos depende del tamaño de la pieza y de la forma de ésta, por ejemplo; si se desea recubrir un tubo, es necesario colocar un ánodo dentro del mismo, para que el interior, además de recubrirse, presente también un buen acabado (Figura 2.4).

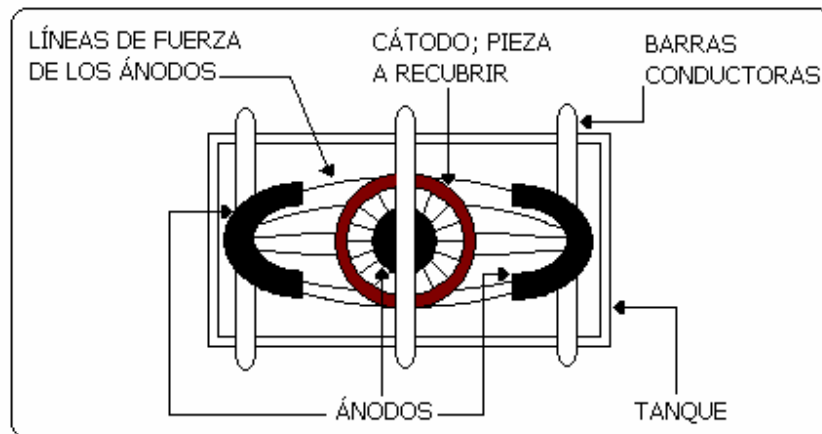


Figura 2.4 Configuración de los ánodos para recubrir una pieza tubular, interior y exteriormente.

2.3.4. CRITERIO DE ELECCIÓN

Este sistema de niquelado se diseñó para recubrir piezas por ambos lados; por lo que se optó por el empleo de dos ánodos equidistantes al cátodo, como se describió anteriormente.

2.4. ELECCIÓN DEL MATERIAL A RECUBRIR (CÁTODO)

2.4.1. REQUERIMIENTOS

En el punto anterior se mencionaron los electrodepósitos más comunes, así como sus respectivos metales base, subtema 1.6, cabe mencionar que para que un metal sea

protegido por otro, deben formar ambos metales un par galvánico, de tal forma que la diferencia de potencial entre los dos materiales sea lo más débil posible.

2.4.2. CRITERIO DE ELECCIÓN

Se eligieron al cobre y al acero de bajo carbono, por satisfacer la condición anterior, además de ser económicos y de ofrecer la facilidad de poder ser recubiertos directamente por el níquel, sin la necesidad de un baño previo de otro metal.

2.4.3. SUJECIÓN DEL CÁTODO

Para sujetar y mantener las piezas sumergidas en el electrolito existen diferentes opciones, tales como: ganchos, gancheras, canastos, etc. Estos elementos están en función del tamaño de las piezas a recubrir y del número de éstas.

Los ganchos se fabrican de distintos metales y se recubren con una pintura aislante y resistente a los productos químicos empleados. Debido a que las piezas a recubrir fueron de dimensiones pequeñas, se optó por la utilización de caimanes usados en electrónica.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS A NIQUELAR

2.5.1 DIMENSIONES

El tamaño de las piezas a recubrir se limitó de acuerdo a la capacidad de la potencia que entrega la fuente, no está en función del volumen del tanque. De tal forma que las piezas a niquelar, tuvieron una superficie uniforme y un área entre 1 dm^2 y 2 dm^2 .

2.5.2. CONFIGURACIÓN

Una configuración errónea del cátodo puede ocasionar un mal acabado, por lo que es importante mencionar ciertas reglas. La disposición de la(s) pieza(s) que se van a

recubrir, es de gran importancia, debido al desprendimiento de gas durante el proceso de electrólisis, lo que da lugar a burbujas atrapadas en algunas zonas de la pieza de trabajo, sobre todo si ésta tiene una forma irregular. Este burbujeo representa un obstáculo para la correcta deposición de níquel; dando como resultado un acabado heterogéneo.

En algunas ocasiones el problema de una inadecuada configuración llega a ser tan significativo, que impide la adherencia del níquel en las partes de la superficie donde se tiene menos acceso, como el caso de las cavidades.

Cuando una pieza de trabajo no presenta un niquelado en toda su superficie, es necesario someterla nuevamente al proceso, lo que la vuelve más costosa y con una calidad más baja. Se adaptó un agitador para reducir este problema; descrito en este capítulo también.

En las figuras (2.5, 2.6 y 2.7) se ilustran los errores más comunes en cuanto a la posición de la pieza de trabajo.

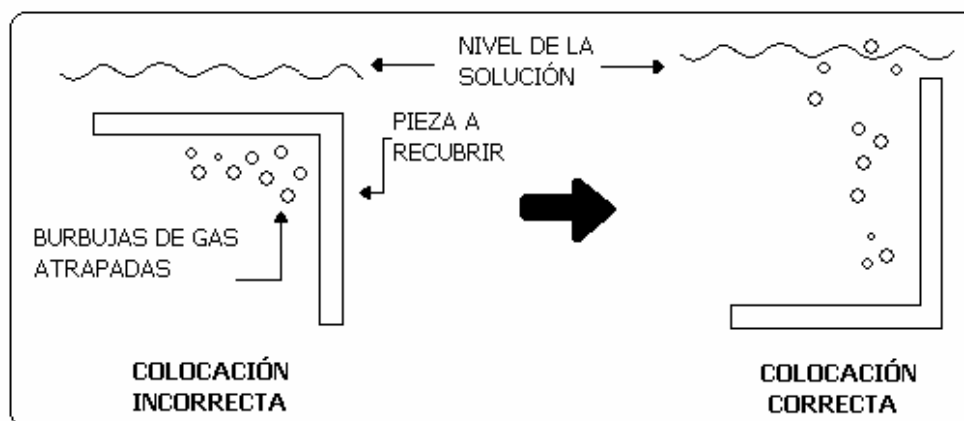


Figura 2.5 Manera adecuada de colocar un cátodo con un área irregular.

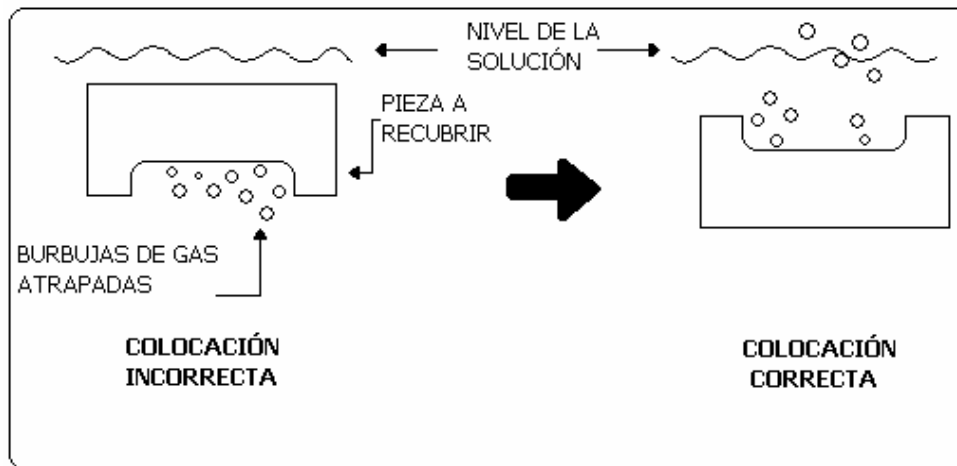


Figura 2.6 Posición correcta de un cátodo con cavidades.

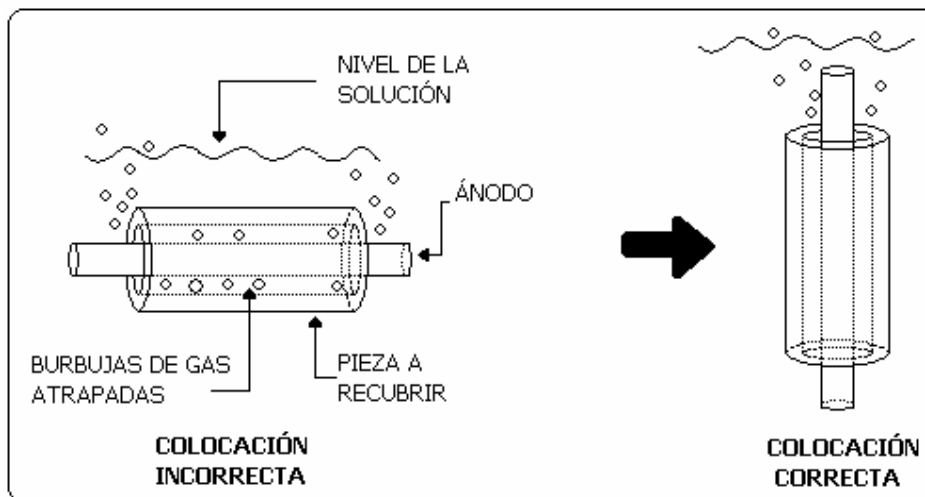


Figura 2.7 Manera adecuada de colocar un cátodo tubular.

2.6. ELECCIÓN DEL MATERIAL DEL TANQUE

Los materiales utilizados para la fabricación de los tanques, son: madera, hierro (o acero), barro cocido resistente, concreto, vidrios, materiales plásticos, etc.

En ingeniería ningún material posee todas las propiedades deseadas, sus relativas ventajas y desventajas deben ser consideradas para realizar una correcta decisión. En algunos casos, las propiedades mecánicas son buenas, pero la resistencia química que

ofrece el material no es la deseada, lo que hace necesaria la elección de un forro o revestimiento adecuado.

2.6.1. MATERIALES DISPONIBLES

Los materiales más frecuentemente utilizados para la construcción de tanques en Galvanoplastia son los siguientes:

- *Madera: anteriormente fue el material mas usado, debido a su bajo costo, especial adaptabilidad para un propósito determinado y a que es fácil su fabricación. Aunque actualmente su costo es tan alto como el de otros materiales que ofrecen más ventajas. Las propiedades deseables son su impermeabilidad y carencia de constituyentes de fácil solución.*
- *Forros para madera: para soluciones casi neutras como es el caso de los baños de níquel, se pueden usar tanques de madera sin forros, que ofrece la ventaja de mantener las duelas húmedas e hinchadas, manteniéndolas bien unidas. Los tanques de madera no son apropiados para soluciones alcalinas fuertes, aun cuando estén forrados. Para baños ácidos débiles, el interior del tanque de madera puede ser pintado con barnices que contengan plásticos sintéticos, para soluciones acidas, frecuentemente, los tanques se forran de plomo, pero este deberá ser bastante grueso aproximadamente 2.5 mm de espesor.*
- *Hierro y acero: para soluciones alcalinas se usan casi exclusivamente tanques de hierro o acero, de medida gruesa para evitar que se deformen o se corroan en el exterior. Estos tanques poseen la desventaja de ser conductores, teniendo la tendencia a causar cortos circuitos. Sin embargo, esta conductividad es frecuentemente utilizada en la limpieza electrolítica, haciendo que el tanque sirva como ánodo.*

- *Forros para el hierro y el acero: cuando se trata de baños ácidos y neutros los tanques se forran de hule, además, sus propiedades aislantes evitan cortos circuitos en el tanque. Al seleccionar un forro de hule se debe tener cuidado de que los materiales que se usaron para vulcanizarlo aparezcan en cantidad menor, como para evitar contaminar la solución. Otra opción es recubrir interiormente el tanque con fibra de vidrio, ya que ésta es impermeable, resiste al ataque químico y no contamina la solución.*
- *Barro cocido: es muy resistente a los ácidos diluidos, comúnmente es vidriado, sin embargo es atacado por el ácido fluorhídrico, por ejemplo en soluciones de plomo y algunas veces de níquel. Sin embargo, para evitar estos problemas se puede recurrir a un forro.*
- *Forro para barro: los forros más utilizados son de asfalto, que son muy apropiados para el cromado. Pero no es apropiado para contener soluciones limpiadoras. Una de sus principales ventajas es su baja conductividad eléctrica y su elevada conductividad térmica, lo cual es una ventaja para conservar soluciones frescas. Su principal desventaja es la fragilidad.*
- *Concreto: los tanques de concreto son fáciles de obtener en cualquier tamaño y forma; sin embargo no son transportables y tendrán que ser destruidos, si fuera necesario cambiar de ubicación. El concreto no es muy resistente a los ácidos, por lo que requiere de un forro, como por ejemplo, el asfalto. También son muy frágiles.*
- *Esteatita: conocida como alberene, que es una variedad de talco compuesta por filo silicatos, que se presenta en masas compactas o finamente escamosas de color gris o verde, la cual mezclada con arcilla y feldespató constituye una*

materia cerámica, es un material bastante resistente a los ácidos diluidos, cuando esta libre de imperfecciones. Por lo cual, es muy empleada en lavabos de laboratorios químicos. Su principal dificultad cuando se emplea para tanques galvanizadores, es lograr que sus juntas sean satisfactorias, ya que estas suelen ser atacadas por la exposición continua a los ácidos.

- *Vidrio: se usa para la fabricación de tanques muy pequeños, hasta de 4 litros. Son relativamente baratos y prácticamente inafectables por ácidos, además de que permiten la observación de la posición y condiciones de los electrodos. Si se desean temperaturas altas se deben calentar gradualmente, aunque en algunas ocasiones, están mal templados y pueden fallar inesperadamente, por lo que generalmente no se usa en tanques grandes.*
- *Hule: este material es bastante resistente a las soluciones ácidas, pero no a las soluciones alcalinas, además se suaviza a altas temperaturas y, por lo tanto, no se puede usar con seguridad a temperaturas superiores a 40°C.*
- *Hierro esmaltado: tiene prácticamente la misma resistencia a los ácidos, al igual que el vidrio, pero tiene la desventaja de que después de un largo periodo de tiempo tiende a despostillarse. Estos tanques se usan para el dorado y platinado electrolíticos.*

2.7. DISEÑO DEL TANQUE

Los tanques se diseñan tan grandes y tan hondos como se requiera, éste factor está en función de la(s) pieza(s) a recubrir. A nivel industrial, la capacidad de los tanques varía desde un litro, en el caso de la joyería, hasta tanques de proporciones impresionantes, según la aplicación. El objetivo de este proyecto fue diseñar y

construir un sistema que permitiera realizar prácticas de electrodeposición con fines didácticos.

2.8. ELECTROLITO

Hoy en día existen muchas empresas en México dedicadas a la fabricación de productos químicos y de equipo para procesos electrolíticos, además de ofrecer asesoría técnica gratuita a sus clientes. Por lo que se solicitó el servicio y asesoría de una de ellas ^[14] para cubrir las necesidades de este sistema de electrodeposición.

2.8.1. CONSTITUYENTES DE LA SOLUCIÓN

Los elementos que componen a una solución, son llamados aditivos. Para un proceso de níquel brillante de acuerdo a los expertos en el campo, son los siguientes:

- *Sulfato de níquel: constituye la principal fuente de iones de níquel, además de controlar los límites admisibles de densidad de corriente.*
- *Cloruro de níquel: suministra los iones cloruro necesarios para asegurar la corrosión de los ánodos de níquel. También es una fuente secundaria de iones níquel. Las concentraciones altas de iones de cloruro de níquel extienden el rango de operación de densidad de corriente e incrementa la conductividad del baño.*
- *Ácido Bórico: actúa como un agente protector para mantener el pH en la solución, también sirve para conservar el brillo, la ductilidad y la adhesión del depósito de níquel, por lo que su contenido nunca debe ser menor a 45 g/l.*

- *Abrillantador “Turbobrite R2000 initial”:* se emplea en la preparación de nuevas soluciones y en la conversión de algunas soluciones de níquel brillante. Es normalmente mantenido en su nivel óptimo por análisis.
- *Abrillantador “Turbobrite R2000 maintenance”:* se utiliza para mantener brillo y nivelación. Es consumido por arrastre y electrólisis. Se pueden hacer amplios rangos de adición sin pérdida de ductilidad u otras propiedades del depósito. Los rangos de adición varían para diferentes instalaciones, sin embargo se puede considerar un rango de $(150 - 3250) \text{ml}/1000\text{A} \cdot \text{h}$
- *“Antipit Nisol wetter”:* es un humectante para soluciones agitadas con aire. Su función es reducir la tensión superficial del baño y temporalmente llega a vencer la contaminación orgánica. Produce una espuma inestable en el baño. Adiciones continuas de este humectante indican que la solución esta contaminada y debe hacerse un tratamiento de purificación con carbón activado. En baños agitados por aire, la operación normal no requiere el uso continuo de un humectante. Las soluciones agitadas por aire normalmente mantienen una tensión superficial alrededor de $38 \text{ dinas}/\text{cm}^2$.
- *“Antipit BS 660”:* es un humectante tipo espumante, es usado para prevenir el piquete del gas en baños con agitación mecánica ó sin agitación. Si se requiere más de las cantidades normales de este aditivo, el baño probablemente está contaminado y deberá ser tratado con carbón activado. Este aditivo mantiene la tensión superficial alrededor de $38 \text{ dinas}/\text{cm}^2$.
- *pH:* la mejor nivelación del depósito de níquel es obteniendo un pH de 4.2 y, debe checarsé, al menos, cada 8 aplicaciones. El pH puede ser bajado por adición de ácido sulfúrico químicamente puro diluido al 10%. Si es necesario incrementar el contenido de cloruro puede ser bajado el pH por adición de

ácido clorhídrico químicamente puro diluido. El pH puede ser subido por adición de lechadas de carbonato de níquel.

2.8.2. CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES (ADITIVOS)

Los aditivos y las proporciones de los mismos que una solución requiere para un baño de níquel brillante están tabulados para facilitar su consulta. (Tabla 2.1).

<i>Tabla 2.1 Proporciones de los aditivos para un baño de níquel brillante</i>	
<i>ADITIVO</i>	<i>PROPORCIÓN RECOMENDADA</i>
<i>Sulfato de níquel</i>	$220 \frac{g}{l}$
<i>Cloruro de níquel</i>	$60 \frac{g}{l}$
<i>Ácido bórico</i>	$45 \frac{g}{l}$
<i>Turbobrite R2000 Initial</i>	$10 \frac{ml}{l}$
<i>Turbobrite R2000 Maintenance</i>	$0.2 \frac{ml}{l}$
<i>Antipit Nisol Wetter (agitación por aire)</i>	$2.5 \frac{ml}{l}$
<i>Antipit Levelbrite B1000 Wetter (agitación mec.)</i>	$0.3 \frac{ml}{l}$

Las cantidades de aditivos de la solución están en función de la capacidad del tanque y del tipo de caba.

2.9. BARRAS CONDUCTORAS (EQUIPO ELECTROLÍTICO)

2.9.1. FACTORES CONSIDERADOS

Industrialmente se utilizan tuberías de cobre y barras sólidas. Las primeras son más económicas y ligeras, además de que son más funcionales para la instalación. Tienen

la desventaja de ofrecer una conducción mas pobre cuando se trabaja con sistemas que exigen grandes cantidades de energía. Las barras sólidas, por su parte, presentan una excelente conducción eléctrica, aunque son más pesadas.

2.9.2. CRITERIO DE ELECCIÓN

Se optó por barras de cobre por ser muy usadas para estas aplicaciones debido a que el cobre es un buen conductor, además de que el metal es fácil de manipular y barato.

El área transversal se prefirió circular para facilitar el contacto de las mismas con ánodos y cátodos. Además, se optó por tubería para hacer más ligero el sistema, lo que de todas formas no interfiere en la calidad en los resultados, debido al tamaño del tanque usado, pues éste, en comparación con los empleados en la industria, es muy pequeño, por lo que sus requerimientos de energía son relativamente bajos.

2.10. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En un proceso de depósito electrolítico, es imprescindible una fuente de corriente directa de bajo voltaje. En el caso del niquelado y considerando la composición de la cuba y de las piezas a niquelar el rango de voltaje va de 4 V a 10 V, cuya potencia depende de la temperatura de trabajo, el tipo de ánodos utilizados, el tamaño del cátodo, es decir, de la(s) pieza(s) a recubrir, así como de la distancia entre ánodos y cátodos.

2.10.1. DISPOSITIVOS DISPONIBLES

Existen diferentes opciones para alimentar el sistema de electrodeposición, como es el caso de uso de generadores, rectificadores y baterías acumuladoras. Cada una de estas ofrece ventajas y desventajas, dependiendo de factores como: tamaño de la cuba, dimensión de la pieza a recubrir, tipo de electrodepósito, etc. Por lo que se mencionan los usos más comunes de estas opciones a continuación:

- *Generadores, se emplean cuando se tiene que distribuir corriente a grandes distancias.*
- *Rectificadores, son necesarios debido a que la energía eléctrica se distribuye a las plantas en forma de corriente alterna a 110 V o 220 V, y para poder usarla en galvanoplastia es necesario rectificarla, cambiándola a corriente directa y usar un transformador reductor para reducir el voltaje.*
- *Baterías, debido al alto costo que representa la instalación de generadores o rectificadores, el uso de baterías acumuladoras resulta muy práctico para experimentos en pequeña escala y electrodeposiciones ocasionales, ya que pueden proveer alto amperaje por periodos no muy prolongados.*
- *Fuentes de voltaje, sustituyen a las baterías acumuladoras, sobre todo para tanques pequeños y electrodeposición ocasional, aunque presenta la gran desventaja, al igual que en las baterías acumuladoras la dificultad de regular la intensidad de corriente, que es de suma importancia en este proceso.*

2.11. ELECCIÓN DEL CALENTADOR DE LA SOLUCIÓN

Para baños de níquel, los calentadores recomendados son de algún material, que por sus propiedades, no contamina la solución, por ejemplo: titanio, tantalio, cuarzo, teflón y vidrio. Cada uno de estos materiales soporta una potencia determinada.

2.11.1. CRITERIO DE ELECCIÓN

Para una elección acertada del calentador, es necesario conocer la potencia necesaria para cada caso específico, ya que en cada aplicación se requiere de una potencia específica, de acuerdo al tipo de baño a realizar y a las características propias del tanque, como son, el volumen máximo del electrolito y la cantidad de sales en la

solución contenida, ya que a mayor cantidad de sales en una solución, mayor calor específico, lo cual, directamente incrementa la potencia necesaria para elevar continuamente la temperatura del electrolito hasta alcanzar la temperatura de trabajo, en este caso, con un rango de operación de 45 °C a 70 °C.

2.11.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

La transferencia de calor al electrolito también varía en función de la forma del calentador, su ubicación y de la relación potencia-superficie que éste posea, ya que si un calentador tiene dimensiones pequeñas y entrega una potencia alta, se puede producir un exceso de calor en una zona pequeña de contacto, impidiendo la unificación de la temperatura en el resto de la solución, por lo que el área de contacto debe ser lo mayor posible, de tal forma que el calentamiento sea eficiente. Otro aspecto importante son las pérdidas de calor que se presentan en los sistemas de electrodeposición, como son:

- 1. Pérdidas de calor por la disipación a nivel superficial del electrolito.*
- 2. Pérdidas adicionales por ventilación o aspiración del ambiente de trabajo.*
- 3. Enfriamiento de la solución por sistemas de bombeo, ya sea agitación mecánica o por aire.*
- 4. Pérdidas de calor por falta de aislamiento térmico del tanque.*
- 5. Pérdidas de calor por inmersión de piezas a una temperatura inferior a la del electrolito.*

Para fines prácticos, los cálculos de la potencia contemplan los aspectos mencionados en el apartado de criterio de elección, así como los cuatro primeros puntos anteriores, pues las pérdidas de calor debidas a la inmersión de piezas con una temperatura inferior a la temperatura del electrolito, se consideran despreciables.

El cálculo de la potencia necesaria debida al contenido de sales se realiza con ayuda de la siguiente fórmula:

$$P_w = P_v \cdot C_s \cdot \Delta t \cdot K \quad (2.3)$$

Donde:

P_v = peso del volumen a calentar expresado en kilogramos (Kg); el cuál es necesario calcular primero, ya que está en función de las siguientes variables:

$$P_v = (V_s \cdot C_s) + P_t \quad (2.4)$$

Donde:

V_s = volumen de la solución expresado en litros (l)

C_s = concentración de sales expresada en kilogramos por litro (kg/l)

P_t = peso de la solución contenida en el tanque, se expresa en litros (l)

C_e = calor específico del líquido.

Δt = variación de la temperatura existente entre la que debe alcanzar el electrolito menos la temperatura ambiente 22 °C, expresada en (°C).

K = factor que determina la rapidez con la que se calienta la solución. Es una constante de conversión, que normalmente su valor puede fijarse entre 0.1 y 1, siendo habitual fijarla a $K = 0.3$

Cálculo de la potencia necesaria para un baño de níquel brillante.

La concentración de sales fue la siguiente:

<i>Sulfato de níquel</i>	$220 \frac{g}{l}$
<i>Cloruro de níquel</i>	$60 \frac{g}{l}$
<i>Ácido bórico</i>	$45 \frac{g}{l}$

$$C_s = \sum \text{sales}$$

$$C_s = (0.220 + 0.060 + 0.045) \text{kg} / l$$

$$\underline{\underline{C_s = 0.325 \frac{kg}{l}}}$$

Volumen de la solución:

$$\underline{\underline{V_s = 20l}}$$

El peso de la solución contenida en el tanque, para fines prácticos, se calculó como si todo el líquido fuera agua, es decir, su densidad es 1.

$$\underline{\underline{P_t = 20kg}}$$

Teniendo todas las variables necesarias, calculamos el peso del volumen a calentar:

$$P_v = (V_s \cdot C_s) + P_t$$

$$P_v = [(20l)(0.325 \text{kg} / l)] + 20 \text{kg}$$

$$\underline{\underline{P_v = 26.50 \text{kg}}}$$

El calor específico del líquido a calentar, también se tomó como si el contenido fuese agua solamente, por lo que es igual a 1.

$$\underline{\underline{C_\varepsilon = 1}}$$

La temperatura del electrolito para el níquel se recomienda de 60 °C

$$\underline{\underline{T_E = 60^\circ C}}$$

La temperatura del medio ambiente se consideró de 22 °C

$$\underline{\underline{T = 22^\circ C}}$$

La variación de la temperatura es:

$$\Delta t = T_E - T$$

$$\Delta t = (60 - 22)^\circ C$$

$$\underline{\underline{\Delta t = 38^\circ C}}$$

La rapidez con la que se calienta la solución es una constante de conversión, que vale 0.3

$$\underline{\underline{K = 0.3}}$$

Finalmente, la potencia necesaria para calentar el electrolito fue:

$$P_w = P_v \cdot C_\epsilon \cdot \Delta t \cdot K$$

$$P_w = (26.50)(1)(38)(0.3)$$

$$\underline{\underline{P_w = 302.10W}}$$

Potencia necesaria para elevar la temperatura de la solución de un baño de níquel a la temperatura de trabajo.

El efecto debido a la pérdida de temperatura por disipación a nivel superficial del electrolito correspondiente a un sistema en un ambiente sin ventilación, con pérdidas generadas por simple disipación de calor a través de la superficie abierta de la cuba, se encuentra tabulado en la Tabla 2.2:

<i>Tabla 2.2 Tabla de pérdidas de temperatura en un ambiente sin ventilación.</i>	
PÉRDIDAS DE POTENCIA	
50 °C	135 [W/m ²]
65 °C	270 [W/m ²]
80 °C	450 [W/m ²]
95 °C	680 [W/m ²]

2.12. AGITACIÓN

Frecuentemente se recomienda la agitación en las soluciones galvánicas para aumentar la uniformidad de la composición y permitir el uso de densidades más altas de corriente.

2.12.1. TIPOS DE AGITACIÓN

Existen dos formas comunes de agitación empleadas en los procesos de electrodeposición: mecánica y por aire.

La agitación por aire tiene la ventaja de poderse introducir en cualquier parte del tanque, y el grado de agitación puede controlarse con válvulas. Una desventaja que tiene es que al introducir el aire se forma en las soluciones una atmósfera oxidante, lo que puede acelerar reacciones químicas secundarias, que en algunos casos pueden ser perjudiciales. El aire suministrado deberá provenir de un soplador de baja presión o de un compresor de aire a un rango mínimo de 0.14 kg/cm² por cada metro de profundidad de la solución.

La agitación mecánica, puede lograrse ya sea por movimiento de los ánodos o de los cátodos, o de la solución por medio de revolutores fuera del circuito. Para agitación mecánica el rango de movimiento debe ser de $4-6m \cdot \text{min}$

2.12.2. CRITERIO DE ELECCIÓN

Se decidió emplear un agitador de aire, debido que éste es el recomendado para tanques pequeños y ofrece la ventaja de ser más sencillo y económico, además de que ayuda a homogeneizar la temperatura en todo el electrolito, ya que el calentador elegido en este proyecto no es completamente sumergible.

2.12.3. DISEÑO DEL AGITADOR

El aire suministrado al tanque de este proyecto se llevara a cabo mediante tubería de un material que cumpliera con los requerimientos, que en forma general fueron:

- *Permanecer inatacable por la solución, es decir, se evitó emplear metales, ya que esto produce contaminación en el electrolito.*
- *Ser resistente a la temperatura de trabajo, en este caso 60°C .*

Por lo que se decidió emplear CPVC (Poli-Cloruro de Vinilo Clorinado) que cubre con las restricciones anteriores y además está disponible en diámetros tan pequeños como $\frac{1}{2}$ plg.

Es necesario un adaptador que permita la conexión entre el agitador y la manguera conectada a la bomba, para lo cual, se requiere cortar dos tramos de tubo del mismo material con una longitud de 4cm y 1.5cm , que a su vez se unan a un codo. El extremo mas corto fue diseñado para acoplar un tapón a la manguera, mientras que el más largo va unido al cuerpo del agitador.

El cuerpo del agitador, es decir, la parte sumergible requiere de varios tramos de un tubo de CPVC de 1/2" CTS, de las siguientes longitudes: 19cm, 16cm, 22cm, 4cm y de 2cm.

Al tramo de tubo de 19cm se le realizan dos hileras de perforaciones con 1" de espaciamiento entre agujeros. El diámetro de las perforaciones debe ser lo menor posible, por lo que es recomendable el uso de una aguja para coser en lugar de una broca.

El agitador se coloca en la pestaña del tanque por medio de un soporte blanco de fibra de vidrio y se asegura con dos tornillos (Figura 3.13).

2.13. FILTRACIÓN

Cualquiera que sea el método que se use para agitación, representa el peligro de que las partículas de los ánodos permanezcan en suspensión originando asperezas en los cátodos. La aspereza puede ser contrarrestada en parte con el uso de bolsas alrededor de los ánodos o por frecuente o continua filtración de las soluciones.

Se recomienda la construcción de un filtro adecuado para baños de níquel brillante, siempre y cuando el volumen de la solución sea superior a 500 l. El tanque es 20 veces menor, por lo que se prescindió del mismo.

2.14. BOLSAS ANÓDICAS

En un baño electrolítico se producen partículas metálicas como producto del ataque a los ánodos. Estos sólidos están suspendidos en la solución y pueden llegar a contaminar la cuba, por lo que es recomendable el uso de fundas de tela resistente a los productos químicos en los ánodos, de tal forma que los sólidos quedan retenidos en las fundas. Comercialmente se emplean bolsas de polipropileno para el caso de baños electrolíticos de níquel brillante.

El tamaño de las bolsas anódicas está en función del tamaño de las canastillas, por lo que se requieren dos bolsas con las dimensiones: 13.5 cm x 17.5cm, con jareta para asegurar cada una a su respectiva canastilla y al mismo tiempo les permite ser removidas para su limpieza con facilidad.

2.15. CANASTILLAS (CONTENEDORES)

Es común el empleo de canastillas para alojar en su interior al metal recubridor. En los procesos anódicos se utilizan soportes de titanio, debido a que son inatacables por los productos químicos, aunque inicialmente resultan costosas.

2.15.1.CRITERIO DE ELECCIÓN

Se optó por el empleo de canastillas de titanio (Figura 2.8), debido a que de esta forma los ánodos de níquel se pueden aprovechar en su totalidad.

Otra ventaja que presenta el uso de canastillas es la facilidad de adaptar el área anódica efectiva a voluntad de acuerdo a las necesidades que requiere el cátodo.



Figura 2.8. Canastillas de titanio

2.16 PROBLEMAS COMUNES

Se proporciona la tabla 2.3 como apoyo en la fase de experimentación, debido a que en los procesos de galvanoplastia se pueden presentar problemas críticos, los cuales son muy frecuentes, por lo que los fabricantes de productos químicos para

galvanoplastia ofrecen guías específicas para cada tipo de baño donde se exponen estos problemas junto con sus respectivas causas para darles solución de manera rápida y eficaz.

<i>Tabla 2.3 Problemas comunes y sus respectivas soluciones en los baños de níquel brillante.</i>		
PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
<i>1. Depósito sin brillo</i>	<i>Abrillantador B2-A insuficiente</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adicionar abrillantador B2-A en proporción de 0.1ml/l</i>
<i>2. Depósito con apariencia gris-negro, especialmente en áreas de baja densidad de corriente.</i>	<i>Impurezas metálicas como zinc, cobre, etc.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Electrolizar a 0.1–0.2 A/dm²</i> • <i>Usar aditivo BS-15.</i>
<i>3. Depósito con saltos en áreas de baja densidad de corriente.</i>	<i>Sospecha de cromo hexavalente.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tratar con sulfato ferroso. Por cada ppm de cromo sospechado adicionar 3.2 g/l de sulfato ferroso. Llevar el pH a 5.8 y agitar por 4 horas. Filtrar y bajar el pH a 4.2.</i>
<i>4. Depósitos tensionados.</i>	<i>Abrillantador BS-123 insuficiente.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adicionar 2–5 ml/l de abrillantador BS 123.</i>
	<i>Exceso de abrillantador B2-A.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reducir adiciones de B2-A.</i>
	<i>Contaminación orgánica.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tratamiento con carbón activado o filtración sobre carbón y adicionar 0.25 ml/l de Antipit B-4.</i>
	<i>Impurezas metálicas.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Electrolizar o mantener con aditivo BS-15.</i>

5. Depósitos picados	<i>Baja concentración de agente humectante.</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Adicionar B-4 para aire o BS-660 para agitación mecánica.</i>
	<i>Contaminación orgánica.</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Filtrar sobre carbón activado o tratamiento con carbón después de adicionar 0.1 ml/l de agua oxigenada.</i>