

## **PROCESO DE DEPOSICIÓN ELECTROLÍTICA DEL ORO EN CONECTORES ELECTRÓNICOS**

Jaime Fernando López Muñoz<sup>1</sup>, Julián Peña Estrella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2005

<sup>2</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1987, Profesor ESPOL desde 1987.

### **RESUMEN**

La mayoría de los circuitos electrónicos y elementos eléctricos aplicados en la microelectrónica utilizan gran variedad de materiales como recubrimiento, estos materiales son empleados en su mayoría por tener características propias que los hacen ser insuperables.

La plata, el silicio son aplicados por su buena conductividad, el estaño en muchas ocasiones reemplaza al silicio, aunque la plata es común cuando la calidad de la aplicación lo amerita.

El oro es una aplicación no muy usada en la electrónica aunque en casos de exigencia y calidad es lo más adecuado por sus excelentes propiedades conductivas, estos recubrimientos otorgan buenas características en las puntas ya que las hace duraderas y aseguran una buena adherencia.

Este proyecto se basa en la implementación de un recubrimiento electrolítico de oro aplicado en dispositivos conectores de circuitos electrónicos, en condiciones de operación donde imperan esfuerzos de contacto, niveles significativos de corrosión y la necesidad de buena conducción.

El primer paso será, realizar un análisis de los diversos recubrimientos aplicados en la electrónica, una vez encontrado el más adecuado se procede en la segunda parte a desarrollar el proceso experimental donde se obtendrá las mejores características para el recubrimiento tanto en el proceso como el tratamiento del material base. Luego de realizado el proceso efectuaremos varias pruebas de calidad para determinar si fue o no exitoso dicho trabajo. Finalmente se darán las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### **INTRODUCCION**

Desde la llegada de los materiales para la aplicación en la Industria se han desarrollado un sin número de procesos para obtener los mayores beneficios en cada aplicación.

Este auge de ideas originó la creación de los recubrimientos que son capas de metales que poseen las características necesarias para dicha aplicación.

Baños para electrónica envuelven alta tecnología, partes pequeñas, ingeniería extensiva, un medio ambiente limpio, eficiencia, y buena calidad.

La aplicación del recubrimiento de oro puede ser depositada en metales puros y aleaciones, sirve para muchas funciones útiles en dispositivos electrónicos: protección contra la corrosión, barreras de difusión, elementos del circuito conductivos, semiconductor de circuitos integrados, conexiones a través de agujero para los alambros de tarjetas impresas y los circuitos flexibles.

Actualmente el oro ha encontrado gran desarrollo en lo que es aeronáutica, muchos satélites contienen láminas de recubrimiento de oro para ser protegidas del calor solar, además en el campo aeroespacial en donde una fina capa de oro en los visores de los cascos de astronautas protegen de los dañinos efectos de la radiación solar. Una instantánea respuesta de las informaciones de los satélites depende de los componentes recubiertos de oro, siendo actualmente de gran aplicación en los países primer mundistas.

Para realizar los ensayos respectivos de calidad del proceso fueron aplicadas las normas INEN, DIN, ASTM, en las cuales se consideran las de mayor importancia como, la calidad de adherencia, el brillo, ensayo de corrosión, espesor de recubrimiento, etc.

## **FUNDAMENTOS**

En la aplicación de electrónica y electricidad se usan varios materiales de recubrimiento, pero para aplicar recubrimientos a partes electrónicas con una complejidad mayor se usan únicamente los depósitos de oro y de plata.

Para poder determinar cuál es el mejor proceso a seguir en un recubrimiento de un conector se debe analizar los tipos de recubrimientos usados comunmente.

Primeramente se debe analizar cuál es el tipo de recubrimiento que se utiliza con más frecuencia en este tipo de aplicaciones, realizando un estudio de los recubrimientos aplicados en electrónica.

Luego se realiza un análisis de los recubrimientos que se utilizan en los contactos electrónicos, con este análisis se procede a tener la información necesaria para realizar la toma de decisión.

## **TOMA DE DECISIÓN**

Para este propósito debemos seleccionar un tipo de recubrimiento que nos otorgue lo necesario y que sea el más adecuado para la aplicación en conectores.

De ahí que la toma de decisión es un factor importante en el desarrollo del proyecto. Luego de un análisis desarrollado sobre los tipos de recubrimientos que pueden darse en el campo electrónico, se toma en consideración los factores que benefician al recubrimiento de conectores, llegando a seleccionar en lo posible con una manera rápida y sencilla el tipo de recubrimiento a aplicar.

Una forma sencilla es encontrar cuales son las ventajas y desventajas que tiene el uno del otro con respecto a la aplicación a la cual están dirigidas y así determinar que recubrimiento nos proporciona los mayores beneficios en un conector.

## **SELECCIÓN DEL METAL BASE**

Para la selección del material base debemos considerar que presente las siguientes características:

- buena conductividad eléctrica;
- buena conductividad térmica;
- buena resistencia a la corrosión;
- capacidad de aceptar metales en su superficie
- resistencia mecánica

En la actualidad existen varios tipos de materiales aplicados en la electrónica. Para los conectores y contactores se puede encontrar como materiales el cobre y aleaciones de cobre.

Para el caso a estudiar, se pueden aplicar siguiendo la referencia del HANDBOOK ASM TOMO 2 distintos materiales que ya han sido estudiados y tienen las cualidades necesarias para dicha aplicación.

Para el proyecto se debe ver un material que exista en el medio y su fabricación sea la adecuada para los futuros ensayos de calidad que recibirá.

## TIPOS DE BAÑOS DEL RECUBRIMIENTO SELECCIONADO

Para poder obtener una información adecuada respecto a los distintos tipos de baños para recubrimiento de oro que existen se tomó referencia del HANDBOOK ASM TOMO 5. En la sección de GOLD PLATING, se encuentran los tipos de baños existentes y las características que presentan cada uno de ellos, además de sus aplicaciones industriales.

### Baños Cianurados Calientes

Son baños que trabajan en un medio alcalino, estos baños se componen de soluciones cianuradas con aditivos fosfatos que permiten obtener un buen acabado.

La principal ventaja de las soluciones cianuradas calientes es que son económicas, porque el oro se puede adquirir en muchas formas económicas. Las soluciones cianuradas calientes tiene las siguientes desventajas. Los baños tienen una estabilidad pobre; la solución no puede ser usada en tarjetas de circuitos impresos; los depósitos son propensos a manchas; y los depósitos pesados tienden a empañarse.

### Baños neutrales

En orden de superación de las desventajas de las soluciones cianuradas calientes, se han desarrollado soluciones con bajo valores de pH. Un baño neutral propuesto por Volk en 1957 tiene la siguiente composición:

### Baños ácidos

Este tipo de baños mejorados pueden tanto trabajar para depósitos pesados como para destellos, depósitos sumamente finos, este baño muestra ser más estable y es usado en chapado de parte electrónica tales como circuitos en tarjetas impresas, y en la superación de muchas desventajas de los baño cianurados calientes.

Generalmente, los baños ácidos tienden a reducir la eficiencia del cátodo, especialmente si el baño esta contaminado con una base de metal e impurezas orgánicas. Estas ventajas incluyen depósitos brillantes, facilidad de chapado, ausencia de mancha y baja porosidad.

## CARACTERÍSTICAS DEL BAÑO SELECCIONADO

La composición del baño fue elegida por mostrarse más estable que los baños cianurados calientes y por ser esta composición la que se usa en los recubrimientos de partes electrónica, las características del baño seleccionado son las siguientes:

SOLUCIONES	COMPOSICIÓN
Oro (como cianurato dorado de potasio)	4 a 12 g/L
Ácido cítrico y citrato de potasio	90 g/L
pH (electrométrico)	3 a 6
Densidad de corriente	sobre 107 A/m <sup>2</sup>
Ánodos	Carbón o platino

TABLA 1. CONCENTRACIÓN DE BAÑO APLICADO

## VARIABLES A MANEJAR EN EL PROCESO

En todo proceso de recubrimiento existen variables que no podemos obviar ya que son las que determinan la calidad final del proceso.

Por el alto costo del oro, es muy importante que los depósitos del oro sean uniformes sobre la superficie de las partes recubiertas. Adicionalmente, el espesor del depósito debería ser tan uniforme como sea posible.

Las variables aplicadas en todo proceso de electrodeposición son las siguientes:

- Voltaje
- Temperatura
- Densidad de corriente
- Tiempo de inmersión
- pH
- Área del metal base

## DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO

En esta sección se procede a realizar la parte experimental del proceso, el cual abarca desde la preparación superficial del material base, el proceso en si de recubrimiento y el post proceso.

Este proceso se detalla a continuación:



FIGURA 1. DIAGRAMA MORFOLOGICO PARA LA METODOLOGIA DEL PROCESO

### PREPARACIÓN SUPERFICIAL DE LA PROBETA

Es muy importante antes de realizar cualquier tipo de dorado. Esto es realmente cierto en los dorados industriales, porque las partes son frecuentemente sometidos a condiciones de pruebas severas y su rechazo es costoso.

Previo al recubrimiento, las piezas tienen que ser limpiadas y aisladas. Esta limpieza puede ser realizada por vía física o química. Dicho tratamiento deberá responder a las funciones específicas requeridas.

Para que estas operaciones se realicen en buenas condiciones se deberán tener en cuenta que las piezas estén lo más limpias posibles, que las piezas presenten un número razonable de defectos, etc.

Este proceso será representado a continuación:

El tratamiento mecánico se lo efectúa por medio de un lijado de las probetas donde se realiza un desbaste utilizando lijas que se determinan según el tipo de material y sus características superficiales, para esta aplicación desde una lija #80 hasta una #1200, por medio de este proceso se deja un acabado fino para futuros procesos de pulido. A continuación se realiza un pulido con un disco de cerdas profiláctico y una pasta para pulir metales, este proceso se lo realiza en un esmeril preferiblemente a 4250 RPM, luego se realiza el mismo proceso pero con un disco de paño para el acabado final, con este se puede obtener muy buenos resultados en la calidad superficial ya que se eliminan muchas imperfecciones perceptibles a la vista que con un lijado muy fino no se logra por la suavidad del material base.

El siguiente paso es el desbaste químico, este se lo realiza por medio de un proceso denominado pulido electrolítico, este pulido se lo realiza por medio de aplicación inversa de corriente al del proceso electrolítico, donde el polo positivo se lo coloca a la pieza a ser tratada, durante el pulido electrolítico la resistencia ohmica se torna menor en las elevaciones y mayor en las depresiones, apareciendo entonces densidades de corriente mayores en las elevaciones que en las depresiones, dándose remoción de metal en las elevaciones.

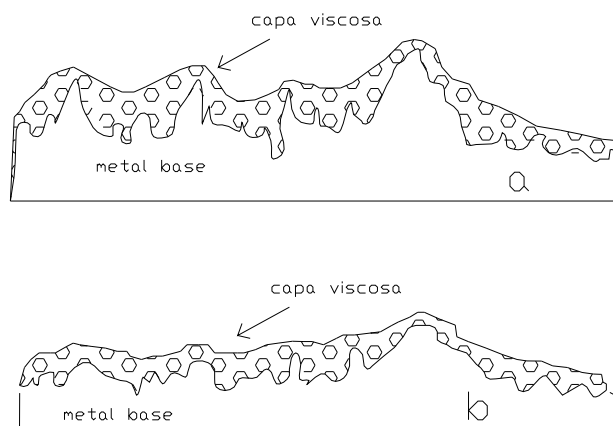


FIGURA 2. PULIDO ELECTROLÍTICO

Una vez realizado este proceso, a la probeta se le puede eliminar las soluciones utilizadas en el pulido con un enjuague en agua destilada e inmediatamente galvanizarla sin un proceso posterior.

### PROCESO DE RECUBRIMIENTO

Luego de realizar el pre-proceso con la limpieza del material base, este es sometido al proceso de recubrimiento de oro.

La deposición metálica a partir de una solución acuosa puede ser representada, de modo general, por la siguiente reacción química.



Los iones metálicos  $M^{Z+}$ , que se encuentran en la solución, cargados positivamente con la valencia  $z$ , son transformados en átomos metálicos  $M$ , a través del recibimiento de número de electrones correspondientes  $e$ , siendo los átomos metálicos, sobre ciertas condiciones, los que forman una capa metálica sobre un objeto cualquiera. En la química una reacción que consume electrones se denomina "reducción". Así, todos los procesos galvanotécnicos de deposición de metales representan, del punto de vista químico una reacción de reducción. Los electrones necesarios para la reducción de los iones metálicos pueden ser obtenidos, con todo, a partir de soluciones acuosas. El proceso de recubrimiento es similar a todos los procesos de electrodeposición, en donde se sumerge el material en la solución cianhídrica y se procede a realizar la deposición directa del metal de recubrimiento siguiendo los parámetros expuestos con anterioridad.

Habiendo seleccionado cuál es la característica de baño a utilizar se procede a dar cuales son las concentraciones de cada solución:

Las concentraciones del baño son las siguientes:

Oro	4 a 12 gr./lt
Cianuro de Potasio al	2%
Ácido Cítrico y Citrato de Potasio	90 gr./lt

De acuerdo a las dimensiones de los recipientes que servirán para el proceso de electrodeposición se deben realizar los cálculos respectivos para encontrar las proporciones de las soluciones a utilizar, para este proyecto son las siguientes:

4 gr. (Au)  $\rightarrow$  1000 ml  
 1.7 gr. (Au)  $\rightarrow$  X = 425 ml de agua destilada

Cianuro de Potasio al 2%

425 ml → 100%  
 X → 2%                      X = 8.5 gr. de Cianuro de Potasio

Ácido Cítrico / Citrato de Potasio 45 gr./lt

45 gr. → 1000 ml  
 X → 425 ml                      X = 19,125 gr. De Ácido Cítrico / Citrato de Potasio

Esta es la concentración de las soluciones a utilizar en el proceso de recubrimiento

## POST PROCESO

Luego de la electrodeposición se pueden realizar la limpieza al material para su análisis posterior, en este caso puede ser aplicada en una cuba donde se limpie con agua, una opción adicional puede ser la recuperación de la solución, en el caso de que sea considerable la cantidad de solución utilizada, esta recuperación puede ser por el medio de:

- electrólisis,
- precipitación,
- proceso de refinamiento, etc.

## EQUIPOS UTILIZADOS

Para el desarrollo del proceso los Equipos y Materiales usados son:

### Materiales

- a. Probetas
- b. Ánodos
- c. Alambre de cobre conductor para sostener las probetas
- d. Barra conductora de cobre
- e. Papel filtro
- f. Guantes plásticos
- g. Embudo

### Equipos

- a. 3 cubas para el pre-proceso (limpieza)
- b. 1 cuba para electrolito de proceso Dorado
- c. Vasos de precipitación graduados
- d. Medidor de pH
- e. Medidor de Temperatura
- f. Cronómetro
- g. Equipo suministrador de corriente
- h. Agitador
- i. Balanza electrónica

## CÁLCULOS PARA EL PROCESO

La ley de Faraday es la base para poder determinar en forma teórica ciertos efectos que se producen al realizar la electrodeposición.

$$W = I * E * t$$

Donde:

W = peso del metal depositado	(gr)
I = Corriente generada	(Amp)
t = tiempo de exposición	(hrs.)
E = Equivalente electroquímico	(gr/Amp-hrs)

En este caso se procederá a calcular el tiempo de deposición, manipulando datos de espesor, área, etc., las cuales se determinarán por medio de los ensayos si cumplen con los resultados teóricos.

Para conocer el espesor del material depositado, se hace referencia a su peso específico, es decir:

$$e = \frac{W}{s * p}$$

Donde:

W = peso del material depositado	(gr)
s = superficie a recubrir	(dm <sup>2</sup> )
p = peso específico	(gr/cm <sup>3</sup> )
e = espesor	(micras)

Luego se procede a calcular la corriente aplicada:

$$i = \frac{I}{A_T}$$

Donde:

I = corriente	(Amp)
i = densidad de corriente	(Amp/dm <sup>2</sup> )
A <sub>T</sub> = Área total	(dm <sup>2</sup> )

Tomando el valor de la corriente se añade a la ley de Faraday para determinar el tiempo que dura en depósito de dicho espesor, con una eficiencia que se determine para todo el proceso, en nuestro caso los resultados son los siguientes:

$$W = \eta * I * E * t$$

$$t = \frac{W}{\eta * I * E}$$

Una vez realizado cada uno de los cálculos se obtiene un tiempo teórico estimado en que se realizará la inmersión del material base en la solución.

## CONTROL DE VARIABLES

### Control de Temperatura

Un incremento de la temperatura puede ocasionar el aumento del tamaño de los cristales. Es así como en los depósitos de Au estos cambios estructurales ocasionan una disminución en la resistencia a la tensión, debido a que el depósito es más blando.

### Densidad de Corriente

Para obtener depósitos de Oro uniformes, es necesario que la densidad de corriente utilizada sea constante. Al aumentar la densidad de corriente hasta cierto límite se aumenta la velocidad de electrodeposición, sin embargo cuando la densidad de corriente excede el valor límite de trabajo, esto es la densidad de corriente crítica se presenta una tendencia a obtener depósitos rugosos, frágiles y con una mala adherencia.

### Concentración de Baño

Si se habla sobre la concentración de los baños, se puede decir que lo más apropiado es usar altas concentraciones para que las sales dadas cumplan con el proceso. Al emplear soluciones de alto contenido se pueden presentar ventajas y desventajas, si los ánodos no se disuelven la causa más probable es que el electrolito contenga iones de sodio, para esto se debe precipitar el oro y renovar el baño, si embargo los ánodos presentan manchas oscuras, eso significa falta de cianuro de potasio, para lo cual hay que adicionar a la solución cianuro de potasio disuelto, este es el mismo caso si es que no se deposita el oro.

### Tiempo de Inmersión

El tiempo de inmersión es muy representativo ya que este determina cuán bueno es el proceso de acuerdo a costos, si los parámetros son óptimos y se determina un tiempo muy

elevado el espesor de la película será demasiado grueso lo cuál conlleva a un costo muy excesivo de materia prima, al igual que si se deja un tiempo muy corto el espesor de película será tan delgado que no cumplirá satisfactoriamente con los requerimientos del recubrimiento.

### **Agitación**

La agitación de la solución produce un suministro de sales e iones metálicos al cátodo, barre las burbuja gaseosas que pueden ocasionar hendiduras o cráteres, mezcla en excelente manera la solución e impide que las sales más pesadas se depositen en el fondo de la cuba.

### **ESPESOR ÓPTIMO DEL RECUBRIMIENTO**

En esta fase se procederá a realizar las variaciones de parámetros cambiando la corriente, la distancia ánodo – cátodo, variando el tiempo de exposición y el voltaje. Esto es realizar el control respectivo de las variables presentes de tal forma que se obtenga los espesores deseados en las probetas asignadas para el efecto.

La cantidad de probetas ensayadas, nos permite realizar manipulaciones de datos en las cuales bajo las variaciones que se realicen se pueden obtener tablas, estas tablas pueden ser realizadas con respecto al espesor y con respecto al peso, como las siguientes:

- Análisis del Espesor vs. Dist. Ánodo/Cátodo
- Análisis del Espesor vs. Tiempo
- Análisis del Espesor vs. Voltaje
- Análisis del Espesor vs. Corriente
- Análisis del Espesor vs. Densidad de Corriente

Y de la misma manera se realiza para el peso depositado.

Con las curvas obtenidas se puede determinar cuan eficiente es cada baño y así seleccionar cual es el mejor proceso realizado.

### **ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN DEL RECUBRIMIENTO**

Para poder aceptar un recubrimiento tiene que pasar por un proceso de aceptación del mismo, el cual es mas exigente dependiendo de la calidad que deba presentar el depósito, para el caso de electrónica los ensayos deben ser severos, estos ensayos pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos, para obtener que proceso ha tenido la mejor aceptación en cada ensayo, los mas realizados son:

### **ANÁLISIS DE BRILLO**

Este ensayo es basado en la norma DIN 50960. El brillo de un recubrimiento constituye una de sus cualidades más interesantes, no sólo cuando su aplicación obedece a fines técnicos (reflectores u otros instrumentos ópticos), sino cuando su empleo está relacionado a fines puramente decorativos. Para lograr los brillos deseados, a las soluciones se les agrega abrillantadores.

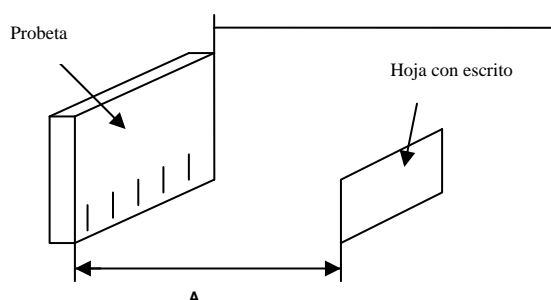


FIGURA 3. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL BRILLO DE UN RECUBRIMIENTO



En este caso la forma de aplicar el ensayo es con un método de reflexión sobre un objeto que tenga letras o dibujos con una altura de 5 mm, este objeto varía su distancia, mientras que la persona tiene que estar a una distancia de 300 mm del recubrimiento, la distancia mas grande en que las letras puedan ser leídas en forma legible determina la calidad de brillo.

## DETERMINACION DE ESPESOR

El espesor de un depósito galvánico es parte muy importante, debido a que este es el que provee al recubrimiento las cualidades para resistir los diversos ataques de corrosión, dando como resultado que con un espesor de capa apropiado podrá resistir de mejor manera la corrosión.

La determinación del espesor se puede realizar en cualquier parte de la superficie para obtener un espesor promedio o en un punto específico para obtener un espesor local, se pueden realizar distintos métodos para calcular espesores y entre los cuales tenemos:

- Métodos electrónicos
- Métodos magnéticos
- Método de eliminación química del depósito, etc.

Un mejor proceso en el caso de no poder contar con estos instrumentos de medición es la diferencia de pesos, en donde con un cálculo realizado en la forma mas precisa se obtiene buenos resultados.

## DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA

Este análisis se basa en la norma INEN 950-1984-04, esta norma establece los métodos para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados también sobre base metálica.

### Método del doblado

El método consiste en doblar o deformar de alguna forma la probeta. La aparición de escamaciones denota adhesión insuficiente. El procedimiento exacto de la deformación plástica debe establecerse para cada producto en particular. Para el ensayo de doblado de placas y láminas, se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos.

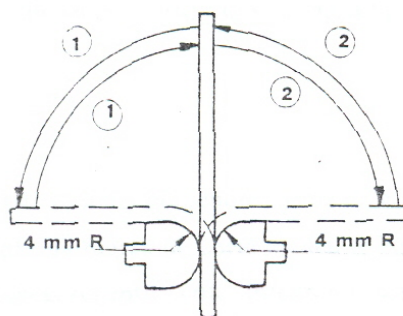


FIGURA 4. ENSAYO DE DOBLADO DE PROBETAS EN FORMA DE PLACA

Con este ensayo se puede obtener de mejor manera que recubrimiento es el mejor ya que dependiendo de la adherencia que haya tenido se obtienen los resultados.

## RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Esta norma es basada en la norma ASTM B117 "Test Method of SALT Spray".

Toma de muestras:

Las probetas son expuestas a un ambiente salino durante un periodo de por lo menos 15 días, donde las piezas recibirán un suministro de agua salina durante cada hora. El ensayo se puede realizar junto con probetas de metal base y galvanizados anódicos para poder obtener resultados basándose en la diferencia obtenida entre un recubrimiento catódico y un anódico.

Los resultados pueden ser representados por medio de una tabla en la que conste que tipo de muestras son, las fechas durante el tiempo de ensayo y los resultados obtenidos en cada hora inspeccionada.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

Se concluye lo siguiente:

1. Utilizar el proceso de pulido electrolítico nos permite obviar dos procesos, que son el decapado del material y el desengrase del mismo.
2. Una corriente de 0.3 Amp. nos permite controlar el proceso de electrodeposición y mantener el ritmo del mismo, aunque es muy bajo como para optimizar el proceso.
3. Una densidad de corriente levemente mayor de 107 Amp/m<sup>2</sup> nos permite trabajar más tiempo con el mismo baño sin que los ánodos insolubles se descompongan contaminando la solución.
4. A medida que se aumenta el tiempo de exposición el depósito se hace cada vez más propenso a manchas en la superficie.
5. Agitación por medio de aire bombeado da muy buena mezcla de la solución.
6. Para que el pulido electrolítico sea eficiente basta con 5 segundos inmerso a 1 Amp.
7. Trabajar con un voltaje de 6 V., y un amperaje de 0,8 Amp., otorgaron los mejores procesos de recubrimiento.
8. El pH para el proceso debe ser de 4, ya que con este se obtuvieron los resultados deseados.

### **Recomendaciones**

Se recomienda lo siguiente:

1. Realizar el proceso con ánodos insolubles para lograr el intercambio de iones metálicos de la solución a la probeta a recubrir, y no del ánodo al cátodo.
2. Para realizar un proceso químico es recomendable tomar las precauciones respectivas con el área de trabajo, tanto como una ventilación adecuada como los implementos a usar para evitar cualquier riesgo durante su manipulación.
3. Para un futuro proyecto sería apropiado ensayar las probetas con otro método de adherencia, este puede ser el de rayado o el de bruñido.
4. En un futuro proyecto sería bueno realizar un ensayo de conductividad.
5. Si se va a realizar el proceso de pulido electrolítico se proceda primeramente a colocar el ácido nítrico y solo ahí se puede añadir la solución de ácido sulfúrico ya que este es exotérmico y puede ocasionar temperaturas muy elevadas, vapores tóxicos y explosión del recipiente que lo contiene.
6. Para una próxima experiencia de este tipo de proyectos, sería bueno realizar el ensayo de medición de espesor con un equipo electrónico medidor de espesores.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Richard H. J. Frost, Investigación de minería y metalurgia. Unidad de Investigaciones PUCE.
2. Metals Handbook ASM 8<sup>th</sup> Edition VOL 7, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
3. Metals Handbook ASM 9<sup>th</sup> Edition VOL 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals.
4. Metals Handbook ASM 9<sup>th</sup> Edition VOL 5.
5. Robert Baboian, Corrosion Test and Standards: Application and Interpretation.
6. Galvanotécnica Práctica, Universidad de Sao Paulo.
7. Metals Handbook ASM VOL 20, Materials Selection and Design.