



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



**"INFLUENCIA DE LA RELACION AMPERAJE-
VOLTAJE EN LA CALIDAD DEL COBREADO"**

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:
Nelson Aníbal Pachucho Hernández

Guayaquil - Ecuador
1989

AGRADECIMIENTO

Al CICYT por su valiosa ayuda económica.

A los Profesores de la FIM, en especial al ING. ANTONIO VITERI. por su acertada dirección en el desarrollo de esta Tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).

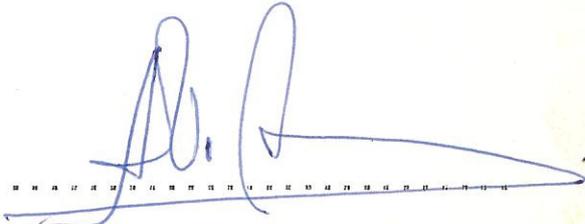


NELSON PACHUCHO HERNANDEZ



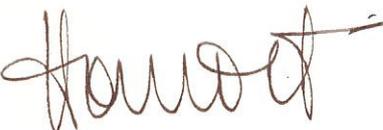
.....

ING. NELSON DEVALLOS
Decano de la Facultad
de Ingeniería Mecánica



.....

ING. ANTONIO VITERI
Director de Tesis



.....

ING. HOMERO ORTIZ
Miembro del Tribunal



.....

ING. JORGE PERA
Miembro del Tribunal

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño y construcción de una planta piloto de cobreado, en la cual se desarrollaron las pruebas experimentales con la finalidad de analizar la influencia de la densidad de corriente y del voltaje sobre los recubrimientos electrolíticos de cobre.

El tipo de baño utilizado es alcalino a base de cianuro de cobre y de cianuro de sodio. Los ánodos usados son de cobre electrolítico laminados de alta pureza, tipo soluble. La fuente de la planta piloto tiene una capacidad de 15 voltios y 10 amperios.

El tipo de recubrimiento de cobre que se obtuvo permite depositar posteriores recubrimientos sobre este, es decir se limita a recubrimientos con fines decorativos, mas no con propósitos de protección del metal recubierto frente a agentes corrosivos, debido a la limitada capacidad de la planta.

Los recubrimientos de cobre fueron obtenidos a diferentes relaciones de amperaje-voltaje y a diferentes tiempos de inmersión de probetas de acero SAE 1010. Se controló la masa, el espesor y la adherencia de la capa de cobre, según las regulaciones establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Además, de los recubrimientos obtenidos se analizó el efecto de la potencia, la densidad de corriente y la eficiencia del proceso sobre el espesor y la calidad de la capa depositada.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	5
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	12
SIMBOLOGIA	13
INTRODUCCION	15
OBJETIVO	16
JUSTIFICACION	17
CAPITULO I	
RECUBRIMIENTOS METALICOS POR ELECTRODEPOSICION	18
1.1 Generalidades	18
1.2 Breve historia de los procesos de electro- deposición	21
1.3 Principios básicos de los recubrimientos electrolíticos	23
CAPITULO II	
PROCESO DE COBREADO	34
2.1 Generalidades del proceso	34
2.2 Variables que intervienen	35
2.3 Propiedades requeridas del metal base	44
2.4 Etapas del cobreado	45
2.4.1 Ajustes del equipo y control del baño	46
2.4.2 Preparación de piezas	48

	Pág.
2.4.2.1 Desengrasado	50
2.4.2.2 Decapado	53
2.4.2.3 Solución Neutralizante	54
2.4.3 Cobreado	55
 CAPITULO III	
CONSTRUCCION DE UNA PLANTA PILOTO DE COBREADO	60
3.1 Elementos básicos constituyentes	61
3.2 Diseño de componentes y accesorios	62
3.3 Selección de la fuente de poder	81
 CAPITULO IV	
PARTE EXPERIMENTAL	89
4.1 Selección del metal base	90
4.2 Preparación de probetas	92
4.3 Preparación del baño para cobrear	99
4.4 Cobreado con variación de la densidad de corriente y del voltaje	101
4.4.1 Control de la masa depositada	102
4.4.2 Control del espesor de recubrimiento	104
4.4.3 Control de la adherencia	106
 CAPITULO V	
DISCUSION DE RESULTADOS	107
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	126
APENDICE A	128
APENDICE B	131
APENDICE C	136

	Pág.
APENDICE D	142
APENDICE E	144
BIBLIOGRAFIA	148

INDICE DE FIGURAS

N ^o		Pág.
1	Colocación de piezas en los baños	43
2	Migración y descarga de los iones cobre	58
3	Planta piloto de cobreado	64
4	Mesa porta - cubas	64
5	Cuba electrolítica	66
6	Cuba de enjuague	66
7	Armadura de apoyo	69
8	Armadura de conducción	69
9	Bastidores utilizados	74
10	Anodos de cobre electrolítico	74
11	Calentador de acero inoxidable de 500 vatios ..	76
12	Calentador de cuarzo de 800 vatios	76
13	Termómetro de acero inoxidable	80
14	Agitador	80
15	Transformador - Rectificador	85
16	Diagrama eléctrico del transformador - rectificador	85
17	Ondas de rectificación sinusoidales	88
18	Inversor de polaridad	88
19	Probeta de acero SAE 1010	93
20	Esmerilado	93
21	Cepillado	95
22	Pulido suave	95
23	Desengrase a inmersión	98

Nº		Pág.
24	Desenrase electrolítico	98
25	Control del peso electrodepositado	103
26	Medición de espesores	103
27	Capa electrodepositada de cobre	105
28	Doblado de probetas	105
29	Variación de la eficiencia del baño en función de la densidad de corriente y del voltaje	112
30	Variación de la eficiencia del baño en función del espesor de la capa de cobre	113
31	Variación del peso de cobre depositado en función de la potencia	114
32	Variación de la eficiencia del baño en función de la potencia	115
33	Variación del peso del cobre depositado en función del tiempo de inmersión	116

INDICE DE TABLAS

NUM.		Pág.
I	Resultados a 5 minutos de inmersión	107
II	Resultados a 7 minutos de inmersión	108
III	Resultados a 10 minutos de inmersión	109
IV	Resultados a 15 minutos de inmersión	110
V	Resultados a 20 minutos de inmersión	111
VI	Constantes química y electroquímica de los metales	145
VII	Potenciales normales de reducción	146
VIII	Origen de las suciedades superficiales	147

SIMBOLOGIA

Area catódica	A (dm ²)
Area catódica máxima	A _{máx.} (dm ²)
Calor	Q (Cal)
Calor total	Q _T (Cal)
Calor específico	c (cal/g-°C)
Carga	q (Coulombios)
Densidad	d (g/cm ³)
Densidad de corriente	D (amp/dm ²)
Densidad de corriente máxima	D _{máx.} (amp/dm ²)
Diferencia de potencial	V (Volt)
Equivalente electroquímico	E _e
Espesor de recubrimiento	S (µm)
Espesor de recubrimiento	S ₁ (mm)
Espesor promedio de recubrimiento	S (µm)
Fuerza contraelectromotriz de polarización	V' (Volt)
Intensidad de corriente	i (amp)
Intensidad de corriente total	I (amp)
Intensidad de corriente máxima	I _{máx} (amp)
Masa	m (g)
Masa de metal depositado	G (g)
Número de doblados alternativos	n
Peso sin recubrimiento	G ₀ (g)
Peso con recubrimiento	G ₁ (g)
Potencia	P (Wattios)

Rendimiento de corriente η (%)
Temperatura ambiente T_1 (°C)
Temperatura de trabajo T_2 (°C)

INTRODUCCION

Para proteger superficies metálicas frente a agentes corrosivos o mecánicos existen varios métodos como: recubrimientos por conversión, por proyección metálica, orgánicos, por depósitos electrolíticos, entre otros.

Cada uno de estos serán aplicados dependiendo del tipo de protección esperado, del metal a proteger, del costo, etc.

En la actualidad se está recurriendo mucho y con muy buenos resultados a los recubrimientos electrolíticos ya que además de proteger al metal recubierto cambian totalmente su apariencia, razón por la cual tienen gran aceptación en el mercado.

El cobreado es uno de los procesos electrolíticos más utilizados con fines decorativos y también como una etapa previa a posteriores recubrimientos.

En este trabajo se investiga el cobreado como la primera fase en el proceso: cobreado - niquelado - cromado.

OBJETIVOS

El objetivo propuesto en el presente trabajo investigativo, es el de analizar el comportamiento que presenta la capa electrodepositada de cobre frente a variaciones de la densidad de corriente, voltaje, y tiempo de inmersión, con miras a buscar los mejores resultados tales que reúnan las características necesarias en parámetros esenciales como: el peso o masa depositada de cobre, el espesor de la capa de cobre y la adherencia de la misma.

Iniciar en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPOL el estudio en el amplio campo de la galvanostegia y galvanoplastia en general.

Dotar al Laboratorio de Metalurgia de una planta piloto para recubrimientos electrolíticos.

Incentivar e impulsar la investigación de la protección de superficies metálicas mediante recubrimientos también metálicos obtenidos electrolíticamente como el níquel, el cromo, el zinc, etc.

JUSTIFICACION

Dada la importancia que día a día van ganando los procesos de protección de metales en la industria se hizo necesaria la investigación del proceso de cobreado, si bien no con tales propósitos, sino con fines decorativos, dando con esto el inicio para que se investiguen posteriormente con miras a obtener recubrimientos que cumplan con los procesos de protección.

Una vez construida la planta servirá no solamente para obtener recubrimientos de cobre, sino por el contrario se podrán llevar a cabo otros tipos de recubrimientos, tales como niquelado y cromado. Además, servirá como base para impartir los conocimientos prácticos necesarios a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica en este campo. Esta planta podrá también ser usada para optimizar procesos y dar asesoramiento técnico.

CAPITULO I

RECUBRIMIENTOS METALICOS POR ELECTRODEPOSICION

1.1 GENERALIDADES: En la actualidad es imperiosa la necesidad de proteger superficies metálicas con el objeto de darles mayor duración frente a agentes físicos y atmosféricos, al mismo tiempo que se cambia el aspecto original del metal protegido por otro de mejor acabado, agradable a la vista.

La protección de superficies metálicas es realizada de diferentes maneras, utilizando procesos distintos, como son:

- Procesos de protección de superficies metálicas que utilizan la corriente eléctrica:

1.- Recubrimientos metálicos obtenidos mediante electrodeposición.- En las cuales, mediante la utilización de la corriente eléctrica se logra descomponer el baño adecuadamente preparado, produciéndose la deposición del metal sobre la superficie del metal a proteger.

2.- Recubrimiento de conversión.- En este proceso, el metal base no se recubre de otro metal, sino que gracias a reacciones electroquímicas, las últimas capas de éste se transforman en óxido. Tal es el caso de la anodización del aluminio.

- Procesos de protección de superficies metálicas que

no utilizan la corriente eléctrica:

- 1.- Recubrimientos metálicos obtenidos gracias a reacciones químicas.- Un ejemplo de este proceso es el cobreado obtenido al sumergir un metal en una solución de sulfato de cobre.
- 2.- Recubrimiento de conversión.- Aquí el metal base sufre variaciones en el aspecto, resistencia eléctrica, dureza; como sucede en la fosfatación.
- 3.- Recubrimientos obtenidos por adhesión directa.- Como sucede en el caso de proyección del aluminio sobre superficies de acero.
- 4.- Recubrimientos inorgánicos.- obtenidos por adhesión de materiales cerámicos con las superficies del metal base previamente preparados.
- 5.- Recubrimientos orgánicos.- obtenidos por adhesión de pinturas, barnices, esmaltes, etc.

Son éstos, entre otros los recubrimientos metálicos que se pueden realizar sobre superficies metálicas, dependiendo su aplicación del espesor, la uniformidad, la composición, la densidad y la adhesión requerida del recubrimiento.

Sin embargo, el presente trabajo está encaminado a la investigación teórico-práctica de uno de los recubrimientos metálicos obtenidos por electrodeposición, de gran importancia y aplicación en el campo industrial,

este es el COBREADO.

La técnica dedicada a los recubrimientos obtenidos por vía química o electroquímica sobre superficies metálicas o metalizadas es la GALVANOTECNIA, que se la puede dividir en dos capítulos:

1.- La Galvanostegia

2.- La Galvanoplastia

La Galvanostegia trata del estudio de los recubrimientos metálicos obtenidos por vía electrolítica sobre objetos metálicos. La capa metálica que se obtiene es muy delgada, pero de gran adherencia, capaz de prestar eficaz protección al metal base.

La Galvanoplastia se encarga de la fabricación o reproducción de objetos plásticos por medio de la precipitación metálica electrolítica sobre una superficie previamente metalizada, obteniéndose un revestimiento de mayor espesor que en el caso anterior. Una vez terminada la precipitación del metal, éste es separado del metal base que hace de matriz.

Al inicio, la práctica galvanostégica tenía como fin modificar la superficie de los objetos, dándoles un mejor aspecto; hoy el principal objetivo que se persigue es aumentar mediante el revestimiento metálico precipitado la solidez del metal más endeble que sirve de base, dándole mayor resistencia frente a agentes mecánicos y climáticos.

La práctica de los procesos de electrodeposición requieren del conocimiento y estudio de los diferentes parámetros que gobiernan a los mismos. Entre ellos están los siguientes: composición del baño, densidad de corriente aplicada, agitación, temperatura del baño y la preparación de las superficies metálicas a recubrir. Además, se deben cumplir con ciertos requerimientos y disposiciones en lo referente a accesorios utilizados en el proceso como soportes, bastidores, cubas, conductores, barras de suspensión, calefactores y otros.

El éxito de la práctica Galvanostégica radica entonces en el hecho de encontrar la relación adecuada de los parámetros antes mencionados, así como también, de utilizar los accesorios necesarios de acuerdo a la capacidad de la planta, y lógicamente respetando las leyes teóricas acerca de los procesos electrolíticos. Las superficies que se van a recubrir deben estar exentas de materias extrañas, grasas, capas de óxido, y en general cualquier impureza que obstruya la correcta electrodeposición.

1.2 BREVE HISTORIA DE LOS PROCESOS DE ELECTRODEPOSICION

La técnica de recubrir superficies metálicas es una actividad que se viene desarrollando desde muchos años atrás.

En la antigüedad se plaqueaban los metales con oro y

plata, y con una mezcla de estos dos. Estos recubrimientos de metales nobles se adherían a las superficies del bronce, del cobre, o del hierro, previamente calentados, martillando sobre éstos. El recubrimiento de la chapa de hierro con estaño es más reciente aunque ya era un método muy generalizado 100 años antes de que en 1740, se obtuvieran los primeros recubrimientos por inmersión en zinc fundido.

El alquimista Paracelso plateaba el cobre sumergiendo en una solución de plata, luego de lo cual valiéndose del mismo método de inmersión se realizaban distintos revestimientos metálicos. En 1789 Galvani descubrió las leyes de la corriente eléctrica y fueron aplicados a la electroquímica.

Los recubrimientos Galvánicos obtenidos por vía electroquímica nacieron en el año 1800, cuando Nicholson y Carlisle consiguieron descomponer el agua en sus elementos por medio de la corriente eléctrica.

Luego Cruikshanks descompuso por vía electrolítica varias soluciones de sales metálicas, separando el metal.

Poco tiempo después, ya no solo se descomponían las sales metálicas, sino que se llevaban a cabo las primeras electrodeposiciones sobre superficies metálicas efectuadas por L. Brugnatelli, colaborador de

Volta, aprovechando los conocimientos adquiridos de la invención de los elementos galvánicos y los dinamos, poco antes.

Es indudable que Brugnattelli, desarrolló estudios profundos acerca de los recubrimientos electrolíticos, constituyéndose en el principal impulsor de esta actividad para que sean luego Nobili, Marianini, Seleni, entre otros quienes siguieron con el estudio y desarrollo de esta técnica.

En el Ecuador, la galvanostegia se viene practicando desde hace un par de décadas, trabajandose inicialmente en talleres faltos de seguridad e higiene, empíricamente sin los más elementales criterios técnicos, en un ambiente de total desorganización.

Poco a poco se va perfeccionando la práctica y la técnica de la galvanostegia en nuestro país, encontrandose en la actualidad verdaderas industrias dedicadas a esta actividad, utilizandose las técnicas apropiadas con un amplio campo de aplicación, como, partes de electrodomésticos, accesorios de aparatos eléctricos, tornillos, roscas, juntas, pernos, etc.

1.3 PRINCIPIOS BASICOS DE LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS

1.3.1 DISOCIACION ELECTROLITICA:

Una gran variedad de sustancias son solubles en agua, sin embargo, se encuentra que solo aquellos que contienen disuelto un electrolito, conducen la corriente eléctrica. Dichas sustancias una vez disueltas se disocian en mayor o menor amplitud, en partículas cargadas eléctricamente llamadas iones, los cuales pueden consistir en átomos o grupos de átomos. Cuando un átomo se cambia a un ión cargado negativamente, entonces adquiere uno o más electrones adicionales, en tanto que cuando un ión se carga positivamente a perdido uno o más electrones.

Al introducir en una solución de sulfato de cobre dos electrodos diferentes, como cobre y hierro, conectandose éstos a los polos positivo y negativo de una fuente de corriente directa respectivamente; se establecerá una diferencia de potencial que dará como origen la circulación de corriente en dicha solución. Debido a la acción de dicha corriente, la sal CuSO_4 se descompone en iones positivos ó cationes Cu^{++} que son atraídos o emigran hacia el cátodo o electrodo negativo, en tanto que, los iones negativos ó aniones SO_4^{--} se dirigen hacia el ánodo o electrodo positivo.

Al entrar en contacto con los electrodos los iones entregan su carga y se vuelven electricamente neutros.

Como se mencionó anteriormente, los electrolitos se descomponen al paso de la corriente eléctrica produciendose el fenómeno llamado ELECTROLISIS.

El estado de equilibrio de un electrolito viene dado por el grado de disociación, es decir, por la relación del número de moléculas disociadas en iones y el número de moléculas que existiría en la solución si no hubiese disociación.

El valor del grado de disociación varia entre 0 para los no electrolitos y 1 para los electrolitos fuertes.

1.3.2 LEYES DE FARADAY:

Las Leyes de Faraday, pueden expresarse mediante los siguientes enunciados:

- 1.- La cantidad de cualquier elemento (metal) liberada ya sea en el cátodo o en el ánodo, durante la electrólisis, es proporcional a la intensidad y a la duración de la corriente eléctrica.

7.- Las cantidades de elementos liberados por la misma cantidad de electricidad son proporcionales a sus equivalentes químicos.

El equivalente químico de un elemento es su peso atómico dividido entre su valencia. En la tabla VI se dan valores de equivalentes químicos para diferentes elementos.

La intensidad es medida en amperios; un amperio equivale a la intensidad de una corriente eléctrica que precipita 1,118 mg de plata en un seg.

El coulombio es la cantidad de electricidad transportada por una corriente de un amperio durante 1 seg. Pero el coulombio resulta una unidad de carga demasiado pequeña, por lo cual, para fines prácticos se utiliza como unidad el amperio-hora.

Los amperios-hora es igual al producto de la intensidad en amperios por el tiempo en horas.

La ley de Faraday se puede expresar así:

$$G = E_g \cdot q \quad (1.1)$$

Si la corriente eléctrica es de intensidad constante, resultará:

$$q = i \cdot t \quad \text{entonces}$$

$$G = E_{\frac{q}{f}} \cdot i \cdot t \quad (1.2)$$

G : representa la masa (peso) del metal depositado

$E_{\frac{q}{f}}$: es el equivalente electroquímico y representa la cantidad determinada que se deposita al paso de un coulombio.

De tal manera que la fórmula 1.1 se puede interpretar como, el Peso del metal depositado es igual al producto de la cantidad que se depositará al paso de coulombio por el total de coulombios consumidos.

Lo propio se puede decir de la fórmula 1.2 que, el Peso del metal depositado es igual a la cantidad de metal que deposita 1 coulombio, multiplicado por los amperios consumidos y por el tiempo empleado expresado en segundos.

Otro parámetro de importancia dentro de un recubrimiento electrolítico es la diferencia de Potencial, el mismo que deberá ser lo suficientemente elevado como para vencer la resistencia del baño y la fuerza contraelectromotriz de Polarización.

Cuando un metal se sumerge en una solución que

contiene sales de ese metal, como una pieza de cobre dentro de una solución de sulfato de cobre, se establece una diferencia de Potencial conocida como Potencial Sencillo ó Potencial de Solución de ese metal, el mismo que es medido con respecto al potencial del hidrógeno cuyo valor aceptado es cero.

Para comparar los potenciales de diferentes metales, éstos son expresados en términos del Potencial Normal ó Estándar, cuyos valores se dan en la tabla VII, comunmente denominada Serie Electroquímica o Electromotriz.

El potencial de un electrodo varía a medida que avanza la electrólisis, el del ánodo se hace más positivo y el del cátodo más negativo que al principio. Este cambio es debido a la polarización de dicho electrodo; es decir, a partir del ánodo se disuelven iones metálicos, volviéndose más concentrada la solución en sus alrededores; en tanto que, en el cátodo se depositan los iones metálicos, disminuyendo la concentración de la solución adyacente a éste. De tal forma que, el aumento en el valor de la diferencia de potencial aplicado a los electrodos desde un generador de corriente, constituye la llamada fuerza electromotriz de

polarización.

La corriente que circula por el baño electrolítico, se puede expresar entonces:

$$i = \frac{V - V'}{R} \quad (1.3)$$

Despejando V:

$$V = i \cdot R + V'$$

donde: V: es la diferencia de potencial aplicado a los electrodos

V': la fuerza contraelectromotriz de polarización, y

R: resistencia que presenta el baño.

La densidad ampérica es de gran utilidad en cálculos de la corriente total necesaria, pudiendose establecer la siguiente relación:

$$i = A \times D \quad (1.4)$$

En la cual A es la superficie total de las piezas a recubrir en decímetros cuadrados y D es la densidad de corriente en Amp/dm².

1.3.3 CALCULO DEL PESO DE UN METAL DEPOSITADO

En una instalación para galvanización, es difícil encontrar electrolitos constituidos

por soluciones puras, predominando la presencia de baños de composición variada, algunos de los cuales pueden contener sales conductoras y ácidos libres; éstos participan de la conducción de la corriente eléctrica pero no producen fijación de metal sino de hidrógeno.

De modo que observamos que todos los baños no entregan la cantidad teórica que menciona Faraday, sino ligeramente menor. Se dice que el rendimiento de un baño es la relación entre la cantidad real depositada y la teórica, representado por la letra η y se expresa en porcentaje.

El cálculo del peso del metal depositado se puede realizar por medio de la expresión:

$$G = E_q \cdot i \cdot t \cdot \eta \quad (1.5)$$

donde: G : es la cantidad del metal depositado en gramos,

E_q : es el equivalente electroquímico del metal en g/amperios-hora,

i : intensidad de corriente aplicada en amperios,

t : tiempo requerido de la operación en horas, y

η : es el rendimiento de corriente.

Para la superficie catódica A (en dm²) se determinará la cantidad depositada por dm² mediante la expresión:

$$G = \frac{Eq \cdot i \cdot t \cdot \eta}{A} \quad (1.6)$$

En la tabla VI se dan valores para efectuar los cálculos correspondientes.

1.3.4 CALCULO DEL TIEMPO DE ELECTROLISIS

El tiempo necesario para obtener un depósito determinado se puede conocer a partir de la relación siguiente:

$$t = \frac{S \cdot d \cdot 10}{Eq \cdot D \cdot \eta} \quad (1.7)$$

donde: S : es el espesor del depósito metálico en milímetros

d: peso específico del depósito.

D: densidad de corriente en Amp/dm².

Si se desea saber cuanto tiempo en horas se necesita para una determinada cantidad G en g/dm² de depósito se deberá utilizar la siguiente fórmula:

$$t = \frac{G}{Eq \cdot D \cdot \eta} \quad (1.8)$$

Para calcular el tiempo en horas necesario

para depositar una cantidad total G en gramos, se puede utilizar esta relación:

$$t = \frac{G}{E_{q} \cdot i \cdot \eta} \quad (1.9)$$

1.3.5 CALCULO DEL ESPESOR

El espesor S en mm de un depósito galvánico sobre una superficie catódica en dm^2 se puede calcular a partir de la fórmula:

$$S = \frac{E_{q} \cdot t \cdot i \cdot \eta}{d \cdot A \cdot 10} \quad (1.10)$$

Así tenemos que para un dm^2 de superficie:

$$S = \frac{E_{q} \cdot t \cdot D \cdot \eta}{d \cdot 10} \quad (1.11)$$

esto es:

$$S = \frac{G}{d \cdot A \cdot 10}$$

1.3.6 CALCULO DE LA INTENSIDAD Y DENSIDAD DE CORRIENTE

La intensidad de corriente i (en amperios) necesaria para producir un determinado espesor S (mm) es dada por:

$$i = \frac{S . d . A . 10}{Eq . t . \eta} \quad (1.12)$$

Por tanto, la densidad de corriente viene determinada por la expresión siguiente:

$$D = \frac{S . d . 10}{Eq . t . \eta} \quad (1.13)$$

En la tabla VI se dan los valores respectivos para realizar cualquier cálculo.

CAPITULO II

PROCESO DE COBREADO

2.1 GENERALIDADES DEL PROCESO

Se puede definir al cobreado como un proceso galvanostático, en el cual se logra el recubrimiento metálico de cobre vía electrolítica sobre superficies metálicas, con la utilización de ánodos ricos en cobre, que favorezcan la deposición del cobre y por supuesto con la ayuda de la corriente eléctrica.

En las grandes industrias dedicadas a la protección de metales en general, el cobreado ocupa un puesto muy importante, ya sea como un solo ciclo, es decir, proteger el metal base con una capa de cobre, o simplemente, servir en una etapa intermedia como un medio fuertemente adherente para otros procesos posteriores como el niquelado, cromado, plateado, etc.

En realidad el cobreado, y en si la capa de cobre, no presta mayor protección a metales ferrosos ya que en minutos el cobre depositado adquiere un color negrusco (óxido de cobre), necesitando por lo tanto protegerlo con laca al agua o acrílica, según los requerimientos así lo exijan.

Al igual que cualquier otro recubrimiento electrolítico

tico, el cobreado constituye un proceso complejo y delicado, puesto que se deben seguir muy cuidadosamente tres etapas bien definidas: preparación del objeto, cobreado y finalmente el terminado.

Dada la importancia que día a día va ganando el cobreado en el campo industrial por las características antes mencionadas, ha surgido el interés de investigarlo detenidamente en el presente trabajo enfocando a este proceso como una etapa intermedia, es decir, como un depósito previo que servirá de base para posteriores recubrimientos.

2.2 VARIABLES QUE INTERVIENEN

Las características de brillo, espesor, adherencia, ductibilidad, etc. del recubrimiento en un cierto metal-base, dependen de distintos parámetros como son:

- 1.- Densidad de Corriente
- 2.- Agitación
- 3.- Temperatura
- 4.- Concentración de las Soluciones
- 5.- Disposición de las piezas en las cubas

A continuación analizaremos brevemente estos factores

2.2.1 DENSIDAD DE CORRIENTE

Para obtener un depósito de cobre uniforme, es necesario que la densidad de corriente sea

constante. Al incrementar la densidad de corriente hasta cierto límite, se aumenta la velocidad de electrodeposición, incrementando por lo tanto la tasa de producción de una unidad dada, sin embargo, cuando la densidad de corriente excede el valor límite de trabajo, esto es la densidad crítica, se presenta una marcada tendencia en la producción de depósitos rugosos, frágiles y mal adheridos.

Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionará inclusive depósitos esponjosos o quemados, como consecuencia de una generación excesiva de hidrógeno que se fija sobre la superficie a cobrear, dificultando la adherencia de la película de cobre.

Además no se produce en el ánodo el desprendimiento de metal con la celeridad necesaria o se vuelve pasivo (no desprende metal), lo que origina una disminución en la concentración del baño. Si ocurriera lo contrario, una densidad de corriente excesivamente débil, se retarda el proceso de recubrimiento y lo hace en forma irregular, perdiendo uniformidad y brillo.

2.2.2 AGITACION

En general, la agitación de la solución produce un suministro fresco de sales o de iones metálicos al cátodo, barre las burbujas gaseosas que pueden ocasionar cráteres, además mezcla la solución e impide la estratificación de soluciones más pesadas que van al fondo de la cuba. El resultado neto de la agitación, es el que permite utilizar una densidad de corriente más alta con el propósito de producir un depósito con una estructura excelente, sin perturbaciones mayores, contribuye a una mayor difusión de los iones metálicos.

La agitación es posible producirla por varios métodos: por acción de las bombas, mediante un chorro de aire, con la utilización de un agitador, por movimientos relativos horizontales, verticales o rotarios del cátodo o del ánodo, etc. Al realizarse la agitación por movimiento relativo del cátodo y de la solución ésta deberá ser igual cuando menos a 3 m/min y de preferencia aún mayores.

La agitación mediante aire es utilizada muy ampliamente hoy en día, en especial en baños de cobrizado; sin embargo, se deberá tener

cuidado en los baños al cianuro, ya que el aire en circulación los descompone debido a la formación de carbonatos.

Cuando se tiene agitación rápida, se presenta el problema de desprendimiento de partículas del ánodo, al mismo tiempo que se agita también las partes sedimentadas del fondo de la tina, ocasionando depósitos porosos y rugosos. En tales casos, se suele emplear bolsas anódicas.

2.2.3 TEMPERATURA

En general, un incremento de la temperatura ocasiona un aumento del tamaño de los cristales. Es así como, en depósitos de cobre estos cambios estructurales de los cristales ocasionan una disminución en la resistencia a la tensión, debido a que el depósito es más blando y ofreciendo además menos resistencia a la abrasión.

Los depósitos tersos y de grano fino, se producen frecuentemente mediante soluciones calentadas intencionalmente, en virtud de que temperaturas altas y densidades de corriente elevada son beneficiosas dentro de cierto rango. Cuando el aumento de temperatura no va

acompañado del aumento de la densidad de corriente, el efecto de ésta se traduce en un aumento del tamaño de los cristales como consecuencias de la disminución de la polarización; es decir, la densidad de corriente elevada contrarresta el efecto de las altas temperaturas.

Las temperaturas elevadas, proporcionan una mayor solubilidad y disociación de la sal metálica, lo que a su vez provee de una conductividad más alta de la solución.

Alta temperatura incrementa la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad de la solución, así que la película catódica se reaprovisiona más rápidamente, lo cual reduce la tendencia a la formación de estructuras arborescentes e incrementa también la densidad de corriente obtenida a partir de un voltaje dado.

Otra ventaja de las temperaturas elevadas es la de que hay generalmente menos absorción de hidrógeno por los depósitos y menos tendencia de producir fisuras.

2.2.4 CONCENTRACION DE LAS SOLUCIONES

En virtud de que los metales pueden depositarse solamente a partir de soluciones que tienen disueltos compuestos de esos metales, se hace necesario tener las concentraciones más altas posibles de cada sal dada.

Al emplear soluciones fuertes, obtenemos las siguientes ventajas:

- 1.- Una conductividad mayor
- 2.- Una más alta densidad de corriente
- 3.- Una eficiencia del baño más elevada

Por otra parte, tenemos ciertas desventajas como:

- 1.- Costo más alto para la preparación de los baños
- 2.- La tendencia de cristalización sobre las paredes del tanque y los electrodos.
- 3.- Probable descenso en la eficiencia anódica.

En la práctica, se utilizan concentraciones intermedias, pero la tendencia actual es la de emplear soluciones lo más concentradas posibles. Un incremento en la concentración del

metal bajo condiciones dadas disminuye la polarización catódica e incrementa el tamaño de los cristales.

En general, la composición más conveniente de una solución - electrolito será aquella que posea pocos iones a depositar y muchas moléculas no disociadas dispuestas a disociarse rápidamente, liberando de esta manera iones metálicos que sustituirán a los que desaparecen de la película líquida catódica durante la electrólisis.

Cuanto más pequeña sea la concentración de iones metálicos dentro de ciertos límites, tanto más fino será el grano del depósito ya que aumentará la polarización catódica, y además, más uniforme ya que aumentará la difusión, además se mejora la potencia del depósito.

Densidad de corriente elevada puede utilizarse con soluciones más concentradas, al igual que con altas temperaturas.

El uso de soluciones muy conductoras de la corriente eléctrica es enormemente ventajoso ya que se obtienen recubrimientos más brillantes y menos rugosos.

Debido a que los iones hidrógeno están cargados positivamente, en la electrólisis emigrarán hacia el cátodo en donde se descargarán formando gas hidrógeno. Por tal razón es importante conocer y controlar la concentración de iones hidrógeno, en especial en baños casi neutros. Dicho control se realiza midiendo el valor del PH; correspondiendo la neutralidad para un PH de 7, soluciones con PH superior a 7 son alcalinas, en tanto que PH inferiores a 7 son ácidas.

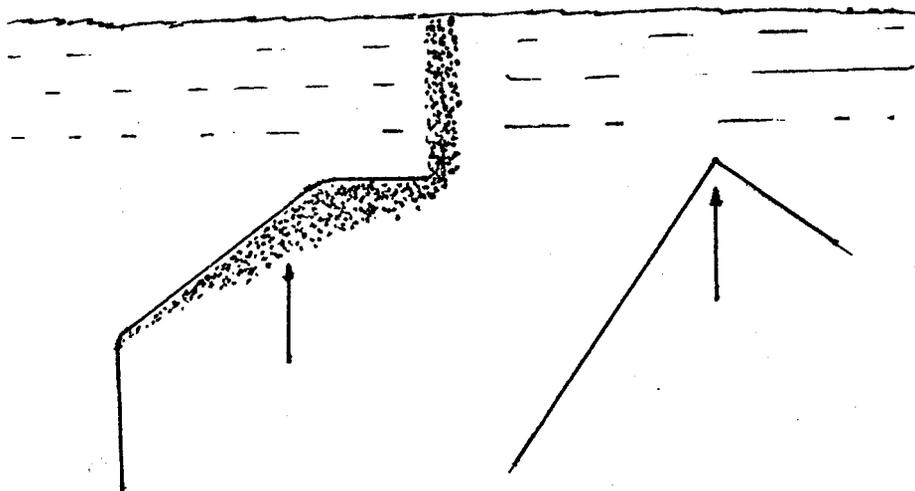
2.2.5 DISPOSICION DE LAS PIEZAS EN LAS CUBAS

Con el fin de obtener un recubrimiento uniformemente distribuido, se debe tener cuidado al colocar las piezas en el baño buscando la manera más adecuada para tal efecto.

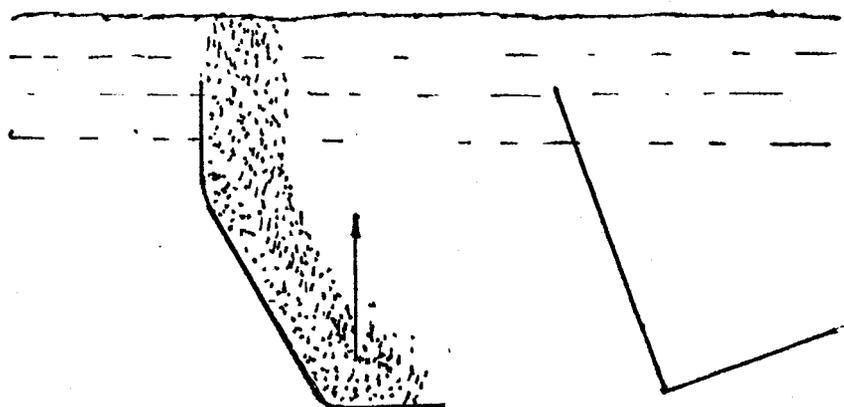
Se ubica la pieza en forma que quede dentro del flujo electrogalvánico de los electrodos bien cubierta por el electrolito y equidistante de los electrodos.

La ubicación de las piezas huecas debe ser tal que en ningún caso puedan retener burbujas de aire o gas en el electrolito, como se puede diferenciar en la figura N^o 1

Además, cuando el objeto presenta partes sa-



a) Posición Incorrecta



b) Posición Correcta

Figura No. 1

COLOCACION DE PIEZAS EN LOS BAÑOS ELECTROLITICOS INDICANDO EL FLÚJO DE GAS.

lientes, éstas se encuentran más próximas al ánodo, acortándose el camino para el recorrido de la corriente con relación al resto del objeto, disminuyendo de ésta forma la resistencia permitiendo el paso de una mayor cantidad de corriente concentrándose por lo tanto en bordes y aristas una mayor cantidad de metal, obteniéndose depósitos irregulares.

2.3 PROPIEDADES REQUERIDAS DEL METAL BASE

En galvanotecnia es imprescindible que la superficie a tratar reúna ciertas características que favorezcan o faciliten cubrir los objetos con un precipitado denso de cobre, en nuestro caso lo más regular posible y bien adherente, de tal manera que resista al desgaste, a la corrosión, a los agentes atmosféricos o aplicado con fines puramente decorativos.

La estructura del metal base, tiene una marcada intervención en el depósito galvánico, ya que solamente sobre superficies completamente lisas, pulidas y brillantes pueden obtenerse recubrimientos de iguales características.

No todo metal puede ser recubierto por otro. Así por ejemplo, el plomo presenta poca adherencia con el cobre, en tal caso antes de emplomar éste hay que proveerlo primeramente de una capa de estaño, níquel

o hierro. En caso de niquelar o cromar aluminio se tratará antes con potasa cáustica, para quitar todo el óxido presente en su superficie y luego, sumergiéndolo en cloruro de hierro, recubriéndose así con una delgada capa de hierro que lo protegerá contra la oxidación.

La pieza a recubrir deberá estar en lo posible libre de tensiones superficiales, ya que traerá como consecuencia un posterior y prematuro desprendimiento de la capa. Al trabajarse con piezas fundidas deberá tenerse cuidado, debido a que en la porosidad presente en éstas existen inclusiones de partículas de aire o gas que impedirán que los iones cobre a depositarse lleguen libremente hasta estos puntos.

La homogeneidad y correcta limpieza del metal base es indispensable si se quiere obtener recubrimientos uniformes y brillantes.

La superficie adecuada se obtiene mediante un pretratamiento del objeto, el cual constituye una de las labores más importantes de la Galvanotecnia y que ha de realizarse con especial cuidado.

2.4 ETAPAS DEL COBREADO

El cobreado se lo desarrolla paso a paso, en etapas, las mismas que deberán ejecutarse rigurosamente,

dependiendo de ello el éxito de la operación; deben respetarse las normas de trabajo, controlar debidamente los baños y no atribuirles desigual importancia.

Preparación del objeto, cobreado y terminado, constituyen los tres grandes pasos a seguir en este proceso.

En general, el ciclo de trabajo para el cobreado, adoptado por la mayoría de las plantas galvánicas es el siguiente:

- 1.- Ajustes de Equipo y Control del baño
- 2.- Preparación de Piezas
 - a) Desengrasado
 - b) Decapado
 - c) Soluciones Neutralizantes
- 3.- Cobreado
- 4.- Acabado

2.4.1 AJUSTES DE EQUIPO Y CONTROL DEL BAÑO

Es necesario destacar en este punto la importancia que tiene, en este y en todos los procesos galvánicos, la verificación y los ajustes pertinentes para un correcto funcionamiento tanto del equipo eléctrico y demás accesorios así como también el control de los baños en los cuales se sumergirán las piezas

desde el desengrase hasta el cobreado mismo.

El transformador-rectificador, deberá tener control del voltaje y corriente mediante la implementación de un voltímetro y amperímetro respectivamente. Además, para fácil control, estará provisto de luces que indicarán el momento en el cual se está dando energía a los conductores.

En caso de tener agitadores mecánicos, deberá regularse bien la velocidad relativa al baño al mismo tiempo que ésta se mantendrá constante.

El control de temperatura es muy importante, como se indicó anteriormente, y deberá hacerse en forma periódica a cada uno de los baños; para esto, los calefactores tendrán un funcionamiento óptimo. Los conductores y contactos deberán estar totalmente limpios, libre de óxidos, facilitando la normal circulación de la corriente eléctrica, entregándose a los ánodos y cátodos el máximo de la energía suministrada por la fuente de poder.

Desde el momento de la preparación es necesario el control químico del baño, la

correcta adición de los componentes, la verificación de la densidad, el análisis periódico de la concentración, la observación constante del nivel líquido y el control de la concentración de los iones hidrógenos, es decir el PH. Además, se controlará el rendimiento del baño, esto es, el cociente entre el peso de recubrimiento real depositado sobre el cátodo y el peso del recubrimiento teórico calculado, como se indicó anteriormente.

2.4.2 PREPARACION DE PIEZAS

La limpieza perfecta de las piezas es el requisito esencial para la obtención de un precipitado metálico denso, de una buena adherencia, larga duración, regular uniformidad y una apariencia sin manchas.

En general, se puede adoptar el siguiente proceso de limpieza:

- 1.- Limpieza preliminar
- 2.- Decapado, enjuague y secado
- 3.- Pulido mecánico y electrolítico
- 4.- Desengrase químico
- 5.- Decapado pregalvánico

Esta es la secuencia seguida por la mayoría de las plantas galvánicas de gran capacidad; sin embargo en plantas pequeñas, según las necesidades, se puede eliminar los procesos 2 y 3. Evidentemente, los métodos de preparación de superficies son extremadamente numerosos, varían en función:

- a) del metal base: aleaciones de cobre, de zinc, ferrosas, etc;
- b) de las suciedades que lo recubren: grasas, óxidos, escorias;
- c) del grado de limpieza buscado en función del tratamiento posterior;
- d) de la importancia de las series a tratar, lo que puede determinar tanto el material como el proceso utilizado

Para poder elegir el tratamiento más idóneo se deberá someter a la pieza o artículo a una inspección ocular completa que nos permita conocer a fondo el estado superficial.

Con el fin de conocer de antemano el tipo de óxido, costras, grasa o aceite presentes en la superficie de la pieza a ser tratada, se da a conocer en la tabla VIII las suciedades más comunes según su origen.

Una etapa inicial en la preparación de superficies lo constituye el pulido. Antes de pulir un objeto que va a ser recubierto electrolíticamente, se deberán eliminar sus asperezas.

En la actualidad el bruñido ha pasado a segundo plano, empleándose directamente el pulido mecánico. Para pulir superficies planas se usan muelas de esmeril.

Luego las superficies metálicas son sometidas a un pulido final, con paños de acción mucho menos abrasiva, la misma que permite una adecuada preparación superficial.

2.4.2.1 DESENGRASADO

Luego de haber obtenido la pieza la preparación mecánica adecuada, se procede a someterla a un tratamiento químico necesario para eliminar de su superficie cualquier residuo de grasa, óxido, o cuerpos extraños que puedan impedir el cobreado y por lo tanto dificultar su adherencia, este es el desengrase.

En general, existen tres métodos principales para quitar las grasas y los aceites:

- a) Limpieza por solventes y vapores orgánicos
- b) Limpieza por emulsificación
- c) Limpieza con soluciones alcalinas

El primero utiliza solventes orgánicos, en los cuales se disuelven la mayor parte de las grasas, aceites, y ceras. Los solventes utilizados para la limpieza de metales, se encuentran limitados a los que llenan ciertos requisitos; como: no inflamables, no tóxicos, no corrosivos, volátiles, capaces de disolver las grasas, ceras y aceites presentes.

Entre los solventes orgánicos principales, se encuentran la nafta solvente, el bencol, el tetracloruro de carbono (de alto costo), el tricloroetileno, el tetracloroetileno, el percloroetileno (Perclor).

En el segundo método conocido como LIMPIEZA POR EMULSIFICACION, la su-

perficie se trata con un aceite que contiene un agente humectante que forma con la grasa presente, una emulsión que puede ser enjuagada fácilmente. Una de las principales ventajas de las emulsiones limpiadoras, es que quita las partículas sólidas más eficientemente que los solventes orgánicos.

En el tercer método, la limpieza se lleva a cabo mediante SOLUCIONES ALCALINAS con o sin paso de la corriente eléctrica; en el caso de que se use corriente, se llamará limpieza electrolítica.

Los cuatro compuestos alcalinos más comunmente utilizados como limpiadores, son:

- 1) hidróxido de sodio
- 2) carbonato de sodio
- 3) fosfato de sodio (en cualquier forma), y
- 4) silicato de sodio (generalmente metasilicato).

Las soluciones más utilizadas son la

sosa o potasa cáustica, bórax, carbonato de sodio, etc.

La sosa cáustica se ha usado durante mucho tiempo para ayudar a saponificar la grasa de la superficie metálica, su acción es rápida y el costo insignificante; además, entra como ingrediente de muchas mezclas, actuando de emulsificante y como agente de saponificación al mismo tiempo.

La LIMPIEZA ELECTROLITICA se está utilizando casi en todos los procesos de limpieza de metales, y constituye la última etapa de la misma, antes de proceder al cobreado.

En general, este proceso implica el paso de corriente a través de soluciones calientes alcalinas, en donde, los artículos que se van a limpiar hacen de uno de los electrodos, casi siempre de ánodos.

2.4.2.2 DECAPADO

Después que la superficie está libre de grasas o materiales orgánicos, se

presenta generalmente una película de óxido que debe limpiarse antes del cobreado, el decapado se aplica para eliminar la cascarilla y herrumbre de la superficie de los metales.

En el tratamiento del hierro y acero en gran escala, conviene usar ácido sulfúrico en virtud de su bajo precio. La concentración apropiada es el 10 %. El tiempo requerido depende, como es natural, de la cantidad de óxido. La acción de los ácidos no se concreta tan sólo a la disolución del óxido, sino que también atacan al metal, produciendo un desprendimiento de gases que favorecen su limpieza.

La exposición en el aire del objeto preparado deberá ser mínima, pues como su superficie se halla completamente limpia, es susceptible de sufrir una reoxidación.

2.4.2.3 SOLUCIONES NEUTRALIZANTES

Una vez terminado el decapado, es necesario realizar una operación con

el fin de garantizar la eliminación de vestigios de ácido o sales de hierro y evitar de esta manera una posible oxidación posterior.

En general, las soluciones alcalinas son las apropiadas para cumplir tal objetivo, como son las cenizas de sosa, óxido de sodio, borax y otros.

Otra ventaja que ofrece la utilización de las soluciones neutralizantes es de preparar el objeto para inmersiones inmediatas posteriores en baños alcalinos, cuya constitución química es diametralmente opuesta a los baños ácidos del decapado que las precedió.

Esta etapa es empleada en la mayoría de las plantas galvánicas de gran capacidad, sin embargo en plantas pequeñas se la puede suprimir.

2.4.3 COBREADO

El proceso electrolítico de la deposición de cobre consiste, en que mediante el paso de la corriente eléctrica continua a través de una

solución a base de sulfato o de cianuro de cobre, se produce en el electrodo negativo o cátodo en contacto con la solución, la descarga de dicho metal, al propio tiempo que en el electrodo positivo o ánodo de cobre, se produce la disolución parcial del mismo.

El cobre metálico a depositar está contenido en el baño en forma iónica. Estos iones pueden ser simples como en el baño de sulfato de cobre ó iones complejos como ocurre en el caso de los baños alcalinos de cobreado, en los cuales los iones metálicos se hallan presentes bajo la forma de cuprocianuro $[\text{Cu}(\text{CN})_3^-]$.

Es así como, sea el baño de tipo ácido o alcalino-cianurado, cuando se aplica un potencial a los dos electrodos sumergidos en el mismo, los iones cargados eléctricamente se ponen en marcha hacia uno de los electrodos. Los iones metálicos cargados positivamente (cationes) se dirigen hacia el cátodo y los iones cargados negativamente se mueven hacia el ánodo, transportando de esta forma la corriente eléctrica.

Por efectos de la corriente eléctrica, en el cátodo se producirá una reacción de reducción,

mientras que en el ánodo se efectúa el proceso de oxidación, ligados ambos fenómenos a una variación de la valencia, es decir, del número de electrones libres. Así pues, el cobre cede 2 electrones en ánodo, y pasa al estado iónico según la reacción:



en tanto que, en el cátodo toma 2 electrones, y pasa al estado metálico depositándose allí, según la siguiente reacción:



La electrodeposición se produce con la descarga de los iones metálicos, desde el momento en que éstos se dirigen hacia la superficie catódica hasta el momento en que se descargan, se llevan a cabo las siguientes etapas:

- 1.- Migración del ión
- 2.- Adsorción del ión sobre la superficie metálica catódica como un ad-ión
- 3.- Difusión del ad-ión a través de esa superficie, y
- 4.- Descarga del ión.

En la primera etapa el ión cargado eléctricamente emigra hacia la región catódica, pasando

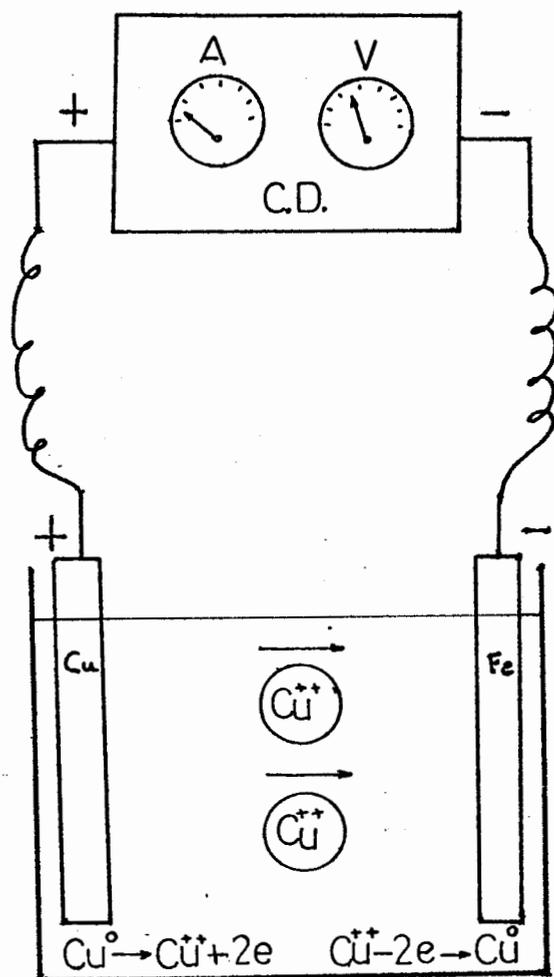


Figura No. 2 MIGRACION Y DESCARGA DE LOS IONES COBRE

luego a la superficie metálica, en la que se pierden las moléculas de hidratación, como se indica en la Figura Nº 2.

En la segunda etapa, el ión se adsorbe sobre la superficie metálica como un "ad-ión", es decir, se incorpora en una película superficial.

En la tercera etapa, se produce la difusión del ad-ión, a través de la superficie metálica, llenando los espacios cargados de electrones, perdiendo las moléculas de hidratación.

En la cuarta y última etapa, los iones transfieren electrones, es decir entregan su carga, se vuelven eléctricamente neutros y se depositan formando átomos metálicos puros.

Los átomos metálicos se descargan de una forma aleatoria, es decir, amorfa y sin orientación y después se re-arreglan y se convierten en cristales. Este es el proceso que da como resultado una capa metálica de cobre.

Cabe anotar, como una etapa muy importante dentro del proceso de cobreado, el enjuague el mismo que se lo deberá realizar necesariamente antes y después de cada tratamiento.

CAPITULO III

CONSTRUCCION DE LA PLANTA PILOTO DE COBREADO

GENERALIDADES

En virtud de que en la actualidad el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica no cuenta con un equipo en el que se puedan realizar recubrimientos metálicos vía electrolítica, se hizo necesario el diseño y construcción de una planta piloto para desarrollar las pruebas experimentales requeridas para el presente trabajo.

La planta piloto en cuestión estará alimentada mediante un rectificador, si bien de pequeña capacidad, pero muy versátil ya que permitirá variar el amperaje y el voltaje de acuerdo a la necesidad. Así se podrá trabajar hasta con 8 probetas a la vez, teniendo cada una un decímetro cuadrado de superficie; o bien, se tendrá la facultad de trabajar con intensidades que van de 1 a 10 amperios por decímetro cuadrado de área total.

No solamente el cobreado, tema de este trabajo, se podrá llevar a cabo en dicha planta, sino por el contrario, se podrán efectuar también recubrimientos de níquel y cromo, por supuesto con las condiciones de operación que éstos procesos exigen como son: agitación y temperatura.

El proceso completo será llevado a cabo empezando por los desengrases a inmersión y electrolítico, cobreado, niquelado y cromado, para lo cual se emplearán cubas de fibra de vidrio de iguales dimensiones y características.

La ubicación que tiene la planta dentro del laboratorio de metalurgia, presenta las facilidades necesarias para llevar a efecto el trabajo propuesto, ya que, está provisto de alimentación eléctrica, de agua, posee excelente ventilación y además está próxima al banco de lijas, esmeril y en especial del laboratorio de microscopía.

De esta manera, nuestra planta tiene una ubicación bastante adecuada, en donde los distintos baños electrolíticos siguen un lógico orden operativo, sin ningún transtorno de origen manual por parte del ejecutor.

3.1 ELEMENTOS BASICOS CONSTITUYENTES

La Planta Piloto de cobreado, niquelado y cromado está compuesta por los siguientes elementos y accesorios:

- 1.- Un transformador-rectificador, con sus accesorios de control tanto de corriente como de voltaje, fusibles, sistema de alimentación, inversor de polaridad, etc.
- 2.- Las cubas, que son los recipientes que alojarán a los distintos baños galvánicos y de enjuague.
- 3.- Cables e hilos conductores

- 4.- Los baños de desengrase, galvánico propiamente dicho, y de enjuague
- 5.- Los ánodos y las armaduras de conducción, esto es, varillas de conducción para colgar los ánodos y los objetos, junto con las uniones transversales, bornes de conexión y de unión.
- 6.- Reguladores de la corriente y del voltaje, con un amperímetro y un voltímetro, montados en un cuadro de distribución común.
- 7.- Los calefactores, cuya función será la de mantener a los baños en un rango adecuado de temperatura la misma que será controlada regularmente.
- 8.- Los agitadores mecánicos para el cobreado y níquelado, por aire para el cromado

En la Figura Nº 3, se muestra una perspectiva de todos los componentes de la planta.

3.2 DISEÑO DE COMPONENTES Y ACCESORIOS

3.2.1 MESA PORTA CUBAS

Por tratarse de una pequeña planta de recubrimientos, como en nuestro caso las cubas irán sobre una mesa que brinde el apoyo requerido para tal propósito.

En nuestra planta se utilizan dos mesas de estructura metálica, las mismas que reúnen los siguientes requerimientos:

- Son lo suficientemente fijas de tal forma que prestan la seguridad necesaria, evitando la salpicadura de los baños con el menor movimiento.
- La superficie de trabajo está protegida de la acción corrosiva de los ácidos.
- Puesto que la estructura de la mesa es metálica, esta es aislada de la corriente eléctrica con el uso de terminales de caucho en los extremos inferiores de las armaduras de apoyo.
- Brindan la comodidad necesaria al operador, de tal manera que el trabajo puede desarrollarse en el orden secuencial apropiado; así también, permite realizar la limpieza rápida y eficazmente
- Sus dimensiones son adecuadas, permitiendo el cambio o retiro de alguna cuba en caso de ser necesario.

En la Figura N^o 4 se dan a conocer detalladamente las características de la mesa porta

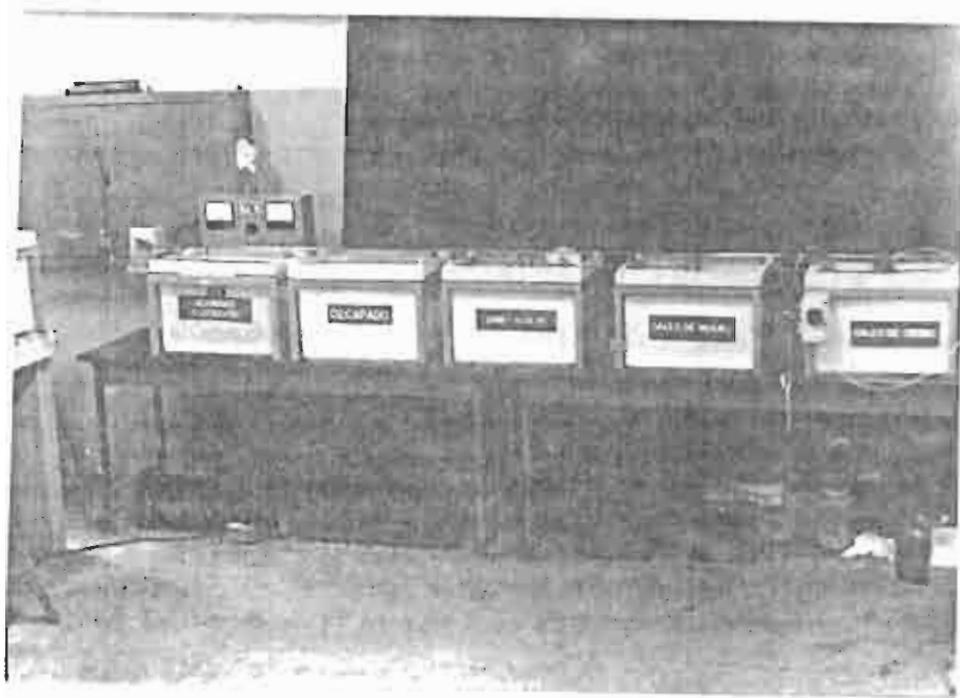


Figura No. 3 PLANTA PILOTO DE COBREADO, NIQUELADO Y CROMADO

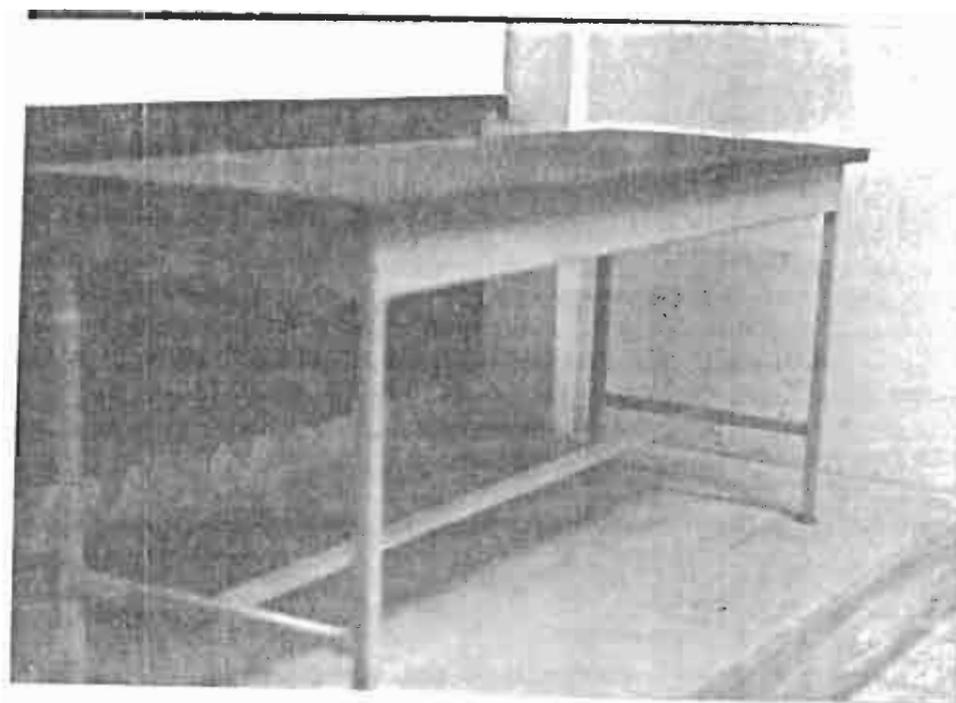


Figura No. 4 MESA FORTA CUBAS

cubas en mención.

3.2.2 CUBAS

Por cuba se denomina al receptáculo que contiene la solución salina. Sus dimensiones están definidas en el Apéndice E, las mismas que fueron adoptadas de la cuba existente en el Laboratorio de Metalurgia.

En este trabajo se emplean 6 cubas de fibra de vidrio, material que fue seleccionado en virtud a que fueron satisfechos los siguientes requisitos:

- Resiste al ataque químico de los baños electrolíticos,
- No contamina dichos baños,
- Resiste altas temperaturas, y
- No conduce la corriente eléctrica.

El espesor de dichas cubas es de 4 mm., y su estructura es lo suficientemente resistente a pequeños esfuerzos mecánicos ejercidos por la armadura de conducción.

La Figura N^o 5 muestra sus características, las mismas que son el resultado del diseño de acuerdo a nuestras necesidades, prestando las

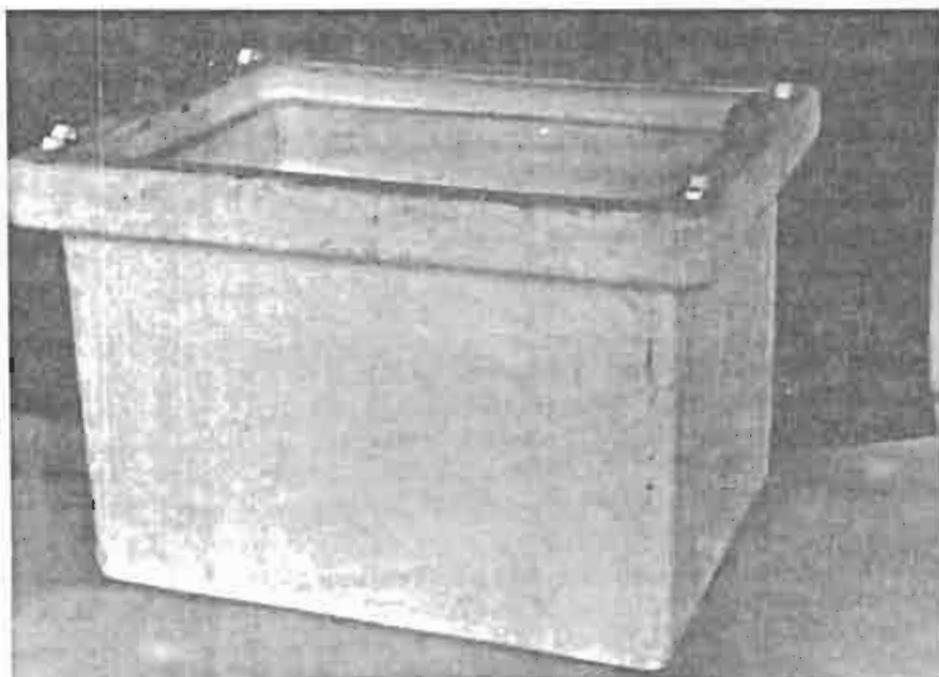


Figura No. 5 CUBA ELECTROLITICA

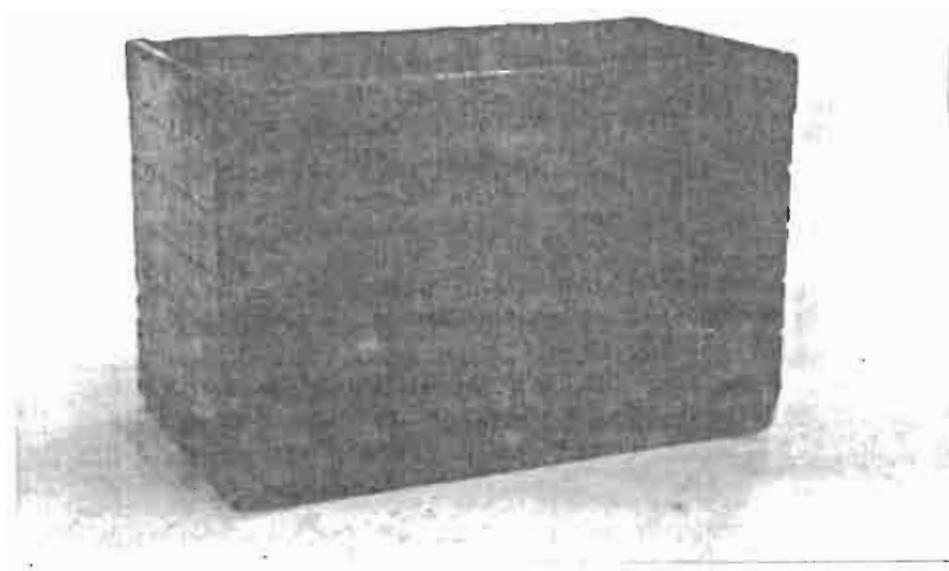


Figura No. 6 CUBA DE ENJUAGUE

cubas las facilidades necesarias para su limpieza y transporte.

Las cubas de fibra de vidrio empleadas presentan ventajas frente a las de chapa de hierro o acero ya que no necesitan ser recubiertas de otro material adicional, aumentando el costo de estas.

Las cubas de plástico si bien aíslan la corriente eléctrica, no resisten mayormente la acción química de las soluciones alcalinas empleadas en el trabajo.

Como se mencionó anteriormente, el enjuague de la pieza, se lo llevará a efecto antes y después de cada baño para evitar la contaminación de éstos.

Como cubas de enjuague, en el presente trabajo se utilizarán recipientes de brea, los mismos que contendrán agua natural, realizándose esta etapa con agitación manual. En la Figura N^o 6 se muestra dicha cuba de enjuague.

3.2.3 ARMADURAS DE APOYO

El objetivo que se persigue al utilizar las armaduras de apoyo, es el de disminuir la

acción de los esfuerzos ejercidos sobre las cubas y servir de soporte para los calefactores, agitador, termostato, y transformador rectificador; ya que, en caso de ir sujetos estos a las cubas, se producirían fisuramientos debido al peso ejercido sobre éstas, presentándose el peligro de derramamiento de las diversas soluciones que contienen. Además, se logrará aislar las cubas de la mesa sobre la cual está apoyada ya que no estarán en contacto directo.

La construcción de las armaduras se llevó a cabo en el taller mecánico, utilizándose tubos cuadrados de una pulgada, cuyas características se muestran en la Figura Nº 7.

3.2.4 ARMADURA DE CONDUCCION

Para conducir la corriente eléctrica desde el transformador-rectificador a las cubas donde se va a realizar la electrólisis, se utilizan cables de cobre Nº 10 ya que la intensidad de corriente es baja en nuestro caso.

Las cubas son colocadas en serie, y sobre éstas la armadura de conducción, la misma que está compuesta por varillas de cobre de 5/16

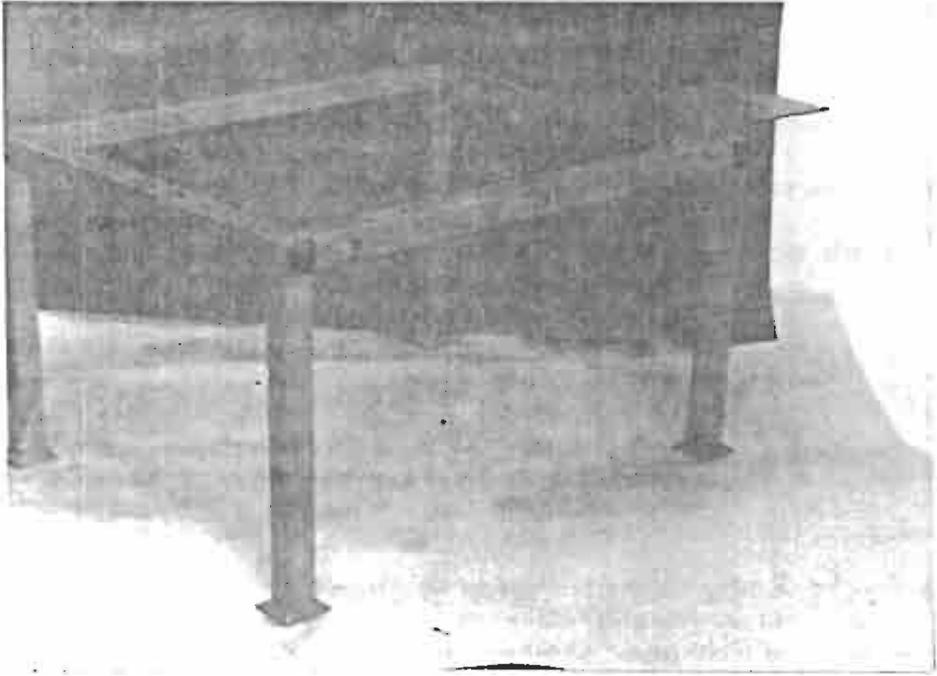


Figura No. 7 ARMADURA DE APOYO

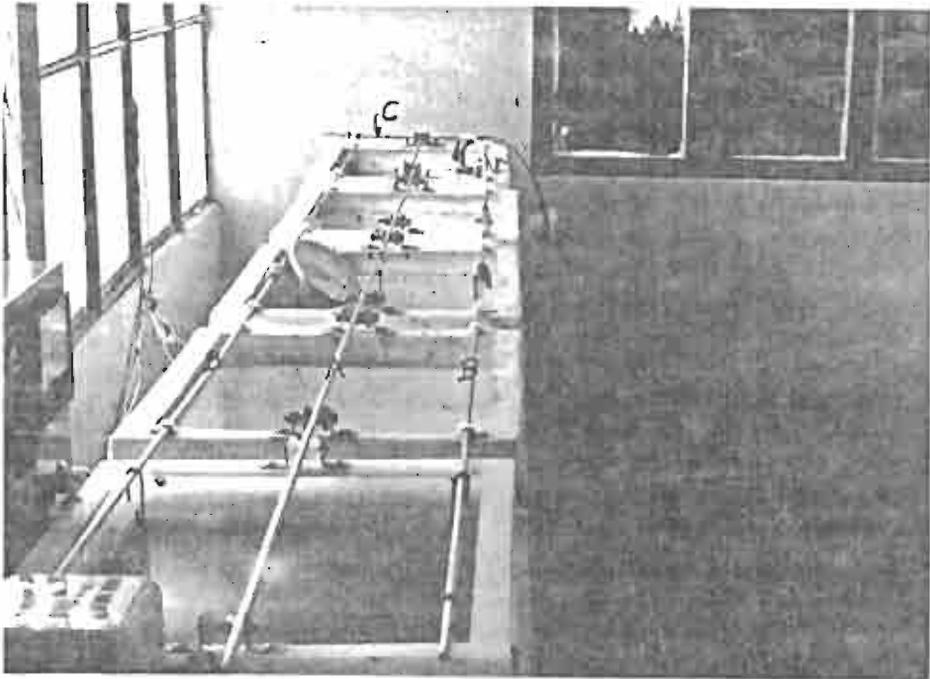


Figura No. 8 ARMADURA DE CONDUCCION

de pulgada dispuestas paralelamente, la primera constituye la barra catódica, ya que de esta irán suspendidos los cátodos, en este caso el objeto a recubrir; mientras que la segunda constituye la barra anódica de la cual se suspenderán los ánodos.

Para asegurar una buena distribución de la corriente, cada barra catódica (A) va intercalada entre dos barras anódicas (B), como lo indica la Figura N^o 8.

Las barras anódicas, se unirán mediante una barra perpendicular (C), constituyendo el conjunto una sólida armadura metálica.

3.2.5 BASTIDORES

Para trabajar en las mejores condiciones de electrólisis y facilitar un buen contacto entre las barras conductoras y las piezas a tratar se utilizan ganchos, de formas muy diversas, llamados bastidores.

Los objetos cuelgan de éstos bastidores también de material conductor, de cobre en nuestro caso, pendiendo éstos a su vez de la barra catódica.

La limpieza periódica es indispensable en los bastidores, la misma que se realizará fuera de la cuba, garantizándose de esta forma un eficaz contacto y buena conducción de la corriente eléctrica, evitándose también la caída de residuos de óxido en el baño.

Al diseñar los bastidores se tomó en consideración los siguientes factores:

- 1.- Tamaño, forma y peso de las piezas a recubrir
- 2.- Disposición de las piezas con relación a los ánodos
- 3.- Facilidad para el montaje y desmontaje de las piezas
- 4.- Clase de baño a emplearse
- 5.- Capacidad del contacto eléctrico
- 6.- Distancia de la barra catódica a la superficie del baño.

En base a las consideraciones anteriores se utilizaron como bastidores, alambres de cobre de 2 y 3 mm. de diámetro para la suspensión de las probetas; mientras que, para la suspensión de los ánodos de cobre, se construyeron ganchos de cobre con un diámetro de 5/16 de

pulgada. En la Figura N^o 9 se presentan los tres tipos de bastidores utilizados en nuestra planta piloto.

3.2.6 ANODOS

Los ánodos son piezas metálicas de forma y sección particular, de material soluble o no.

El gancho de sostén va asegurado al ánodo en forma rígida y la superficie útil del ánodo tiene que ser mínimo de la misma magnitud que la pieza a recubrir, con un espesor no inferior a 10 mm. para dar el mejor paso de corriente.

Hay tres tipos principales de ánodos de cobre, conocidos como:

- 1.- Cobre Laminado
- 2.- Cobre Fundido
- 3.- Formado por depósitos galvánicos

Todos son hechos ordinariamente de cobre electrolítico, es decir, cobre de alta pureza, llegando hasta un 99.9 % .

Los ánodos de cobre laminado son de disolución difícil, dan menor proporción de impurezas, y son ampliamente utilizados en todos los baños

de cobre. Los ánodos de cobre fundido presentan fácil disolución, pueden ser hechos de cualquier forma y tamaño, incluso como barras y esfera.

Los ánodos formados por depósitos galvánicos presentan un alto residuo fangoso que se desprende de éstos y ensucian el baño y son poco usados por exfoliarse con facilidad.

Los ánodos de cobre puro deben tener siempre un color de cobre rojo y están recubiertos de una capa de polvo parduzco. Los ánodos de cobre impuro se recubren pronto de una costra negra que impide el libre paso de la corriente. Por tanto se debe quitar esta costra con el cepillo.

En el desarrollo de nuestras pruebas experimentales se utilizaron ánodos de cobre electrolítico laminado tipo soluble, en base a que satisfacen los siguientes requerimientos:

- Son más económicos que los obtenidos galvánicamente.
- El porcentaje de impurezas es menor que los ánodos fundidos.
- No es necesario emplear fundas protectoras para evitar la precipitación de impurezas.

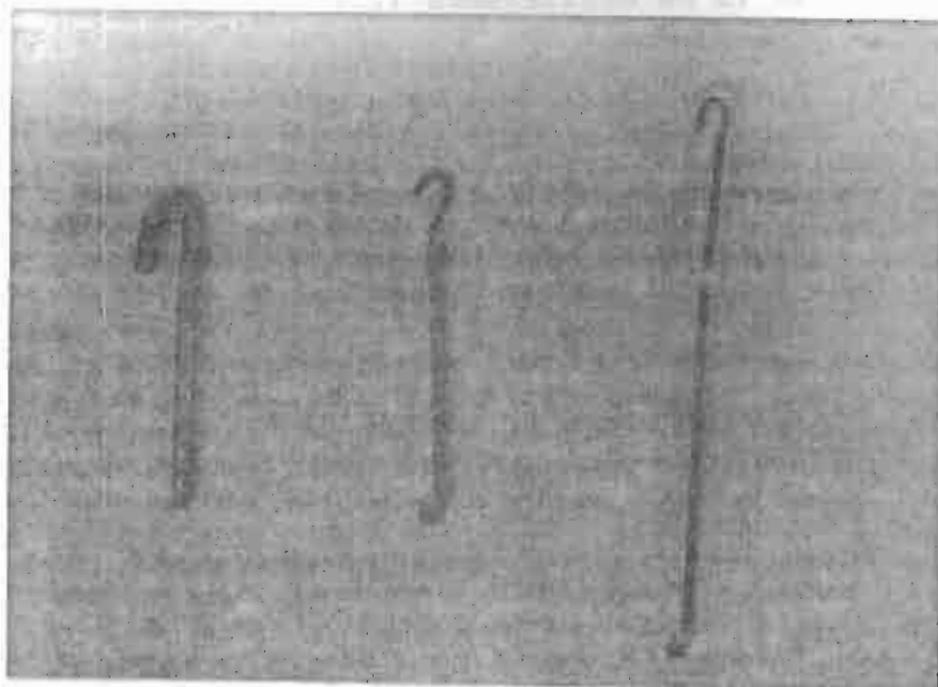


Figura No. 9 BASTIDORES UTILIZADOS EN LA PLANTA PILOTO

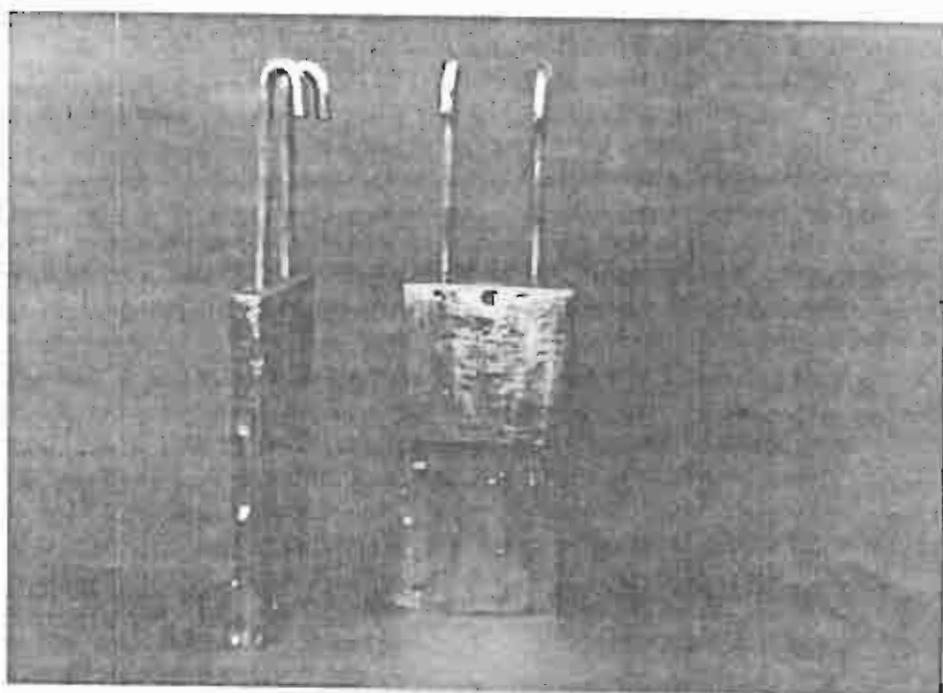


Figura No. 10 ANODOS DE COBRE ELECTROLITICO

- Son de fácil adquisición en el mercado.
- Presentan facilidad para la limpieza de óxidos y cualquier suciedad.

En la Figura Nº 10 se muestran con claridad los ánodos que se utilizaron en las pruebas experimentales.

Debido a que se trabajará con probetas de un decímetro cuadrado, las dimensiones de los ánodos deberán ser tales que abarquen la superficie de dichas probetas; de aquí que, se tiene un ánodo con 15 cm. de largo, 8 cm. de ancho y 2 cm. de espesor, como el tamaño adecuado que satisfacen plenamente nuestras necesidades.

3.2.7 CALENTADOR

Se utilizaron dos tipos de calentadores:

El calentador que se utilizará en los desengrases a inmersión, electrolítico y en el cobre alcalino es de acero inoxidable de 500 vatios, para el cual se usó el suministro de energía de la red común de 110 V. disponible en el laboratorio de Metalurgia; este tipo de calentador no se lo empleo en los baños de ní-

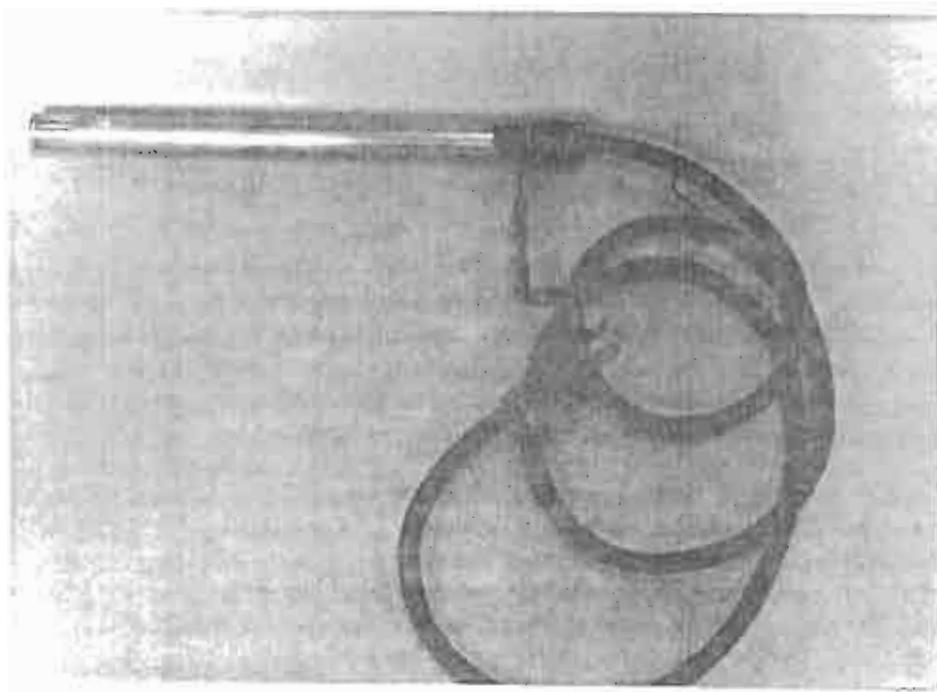


Figura No. 11 CALENTADOR DE ACERO INOXIDABLE DE 500 VATIOS

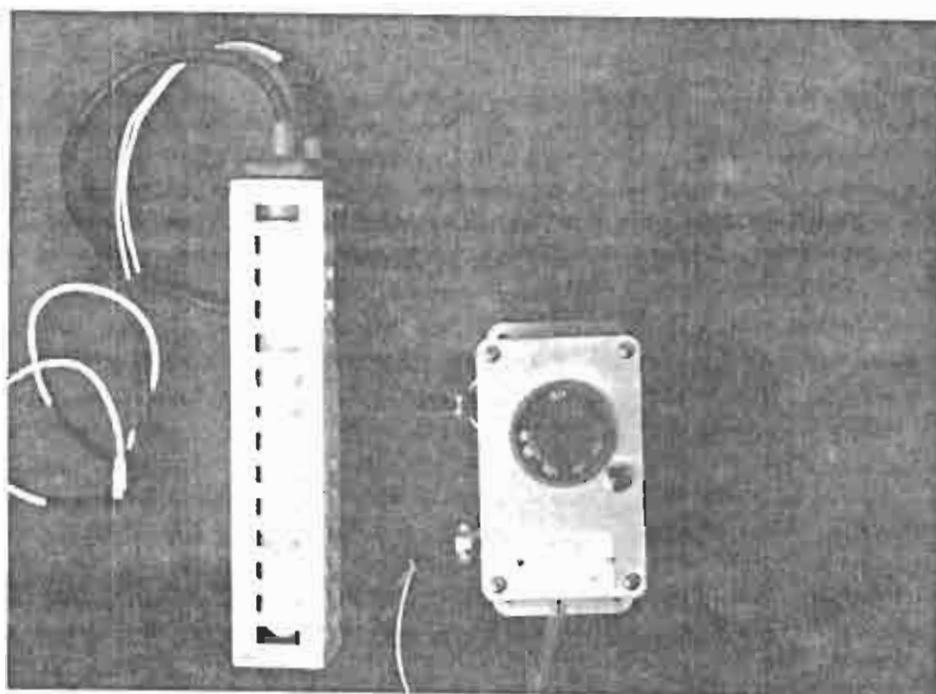


Figura No. 12 CALENTADOR DE CUARZO DE 800 VATIOS

quel y cromo por cuanto estas sales atacan a éste. Para estos últimos baños se usó un calentador de cuarzo de 800 vatios con termostato incorporado.

En las Figuras Nº 11 y Nº 12 se aprecian los calentadores de acero inoxidable y de cuarzo, los cuales irán sujetos sobre la armadura de apoyo, generalmente en una esquina de las cubas, a efectos de prestar comodidad en el trabajo.

El calentador consta de una resistencia eléctrica aislada, permanecerá sumergido en los baños y mantendrán a los de desengrase, cobre, níquel y cromo dentro del rango apropiado de trabajo, que para nuestro caso estará comprendido entre 40 y 60°C.

A continuación calculamos el tiempo requerido en el calentamiento de los baños de desengrase a inmersión, desengrase electrolítico y cobre alcalino.

$$\text{Fórmula: } Q = m c (T_2 - T_1)$$

$$1 \text{ KWh} = 860 \text{ Cal}$$

T_2 : temperatura de trabajo (°C)

T_1 : temperatura ambiente (°C)

c : calor específico (cal/g-°C)

Volumen: 45 Litros

1.- Desengrase a inmersión:

Densidad = 1.062 g/cm = 8.5° Bé

Peso = (45 lt)(1.062 g/cm) = 47.79 Kg

$Q = (47.79 \text{ Kg})(1 \text{ Cal/Kg-}^\circ\text{C})(40 - 27)^\circ\text{C}$

$Q = 621.27 \text{ Cal}$

Calor perdido (10%) = 62.127 Cal

$Q_r = 683.397 \text{ Cal} = 0.79 \text{ KWh}$

Tiempo requerido = 0.79 KWh/0.5 KW

$t = 1.6 \text{ horas}$

2.- Desengrase electrolítico

Densidad = 1.5 g/cm = 7° Bé

Peso = (45 lt) (1.05 g/cm) = 47.25 Kg

$Q = (47.25 \text{ Kg})(1 \text{ Cal/Kg-}^\circ\text{C})(45 - 27)^\circ\text{C}$

$Q = 850.5 \text{ Cal}$

Calor perdido (10%) = 85.05 Cal

$Q_r = 935.55 \text{ Cal} = 1.09 \text{ KWh}$

Tiempo requerido = 1.09 KWh/0.5 KW

$t = 2.2 \text{ horas}$

3.- Cobre alcalino

Densidad = 1.115 g/cm = 15° Bé

Peso = (45 lt) (1.115 g/cm) = 50.2 Kg

$Q = (50.2 \text{ Kg})(1 \text{ Cal/Kg-}^\circ\text{C})(50 - 27)^\circ\text{C}$

$$Q = 1154 \text{ Cal}$$

$$\text{Calor perdido (10\%)} = 115.4$$

$$Q_r = 1269.4 \text{ Cal} = 1.5 \text{ KWh}$$

$$\text{tiempo requerido} = 1.5 \text{ KWh} / 0.5 \text{ KW}$$

$$t = 2.9 \text{ horas}$$

De esta forma se demuestra que el calentador de 500 vatios provee el calentamiento lento requerido, ya que un calentador de mayor capacidad producirá la descomposición prematura de las soluciones.

3.2.8 CONTROL DE TEMPERATURA

En el cobreado, y en general en todo el proceso de cromado, los límites en que van a variar los valores de temperatura son tan estrechos, que se hace necesario el control periódico durante el tiempo que dura el proceso.

Tal control de temperatura se llevará a cabo con la ayuda de dos termómetros de carátula de acero inoxidable con un rango de 130° F, el mismo que es suficiente para la capacidad de 45 litros de los baños.

La Figura N° 13 muestra dicho termómetro y sus características.

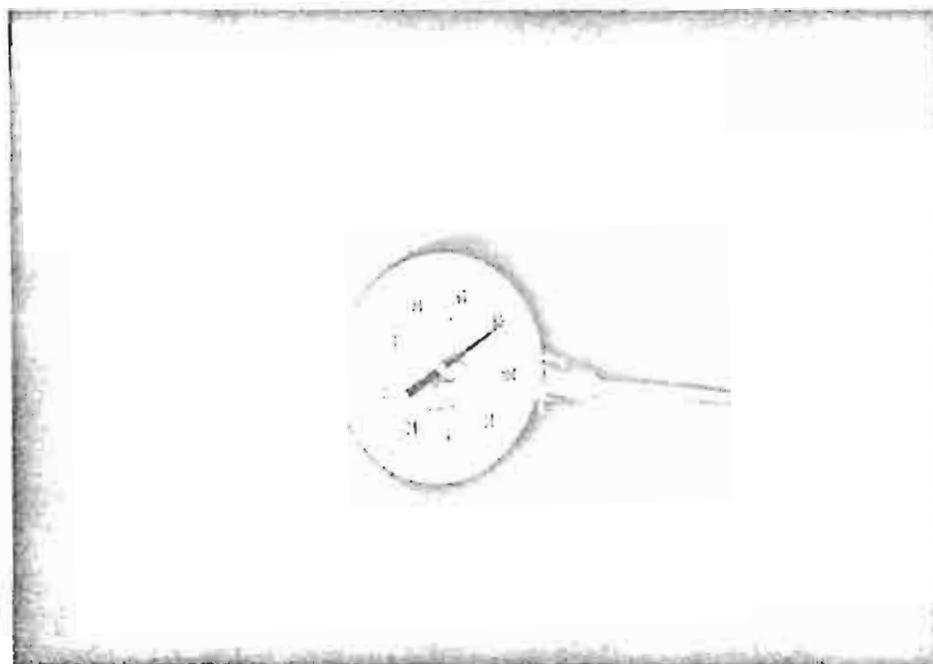


Figura No. 13 TERMOMETRO DE ACERO INOXIDABLE



Figura No. 14 ABITADOR

3.2.9 AGITADOR

El tipo de agitación en esta planta piloto será mecánico. Para esto nos serviremos de un motor-reductor con una velocidad de 10 RPM. que da como consecuencia una velocidad lineal de 6.2 cm/seg, el cual existe en el laboratorio de metalurgia. Este motor va conectado a la fuente de 110 V.; consta de un brazo de 6 cm. de largo y otro que estará fijo a la barra catódica, de la cual irán suspendidas las probetas. En la Figura No. 14 se aprecian las características del agitador en cuestión.

3.3 SELECCION DE LA FUENTE DE PODER

3.3.1 GENERALIDADES

Obviamente, el requisito más esencial para el proceso de depósito electrolítico es la corriente continua, la misma que puede ser obtenida a partir de un dínamo, acumuladores o pilas. Sin embargo, hoy en día en toda instalación de galvanotecnia se suele utilizar un transformador para reducir la tensión de la red de alimentación de 120 o 240 voltios, a la

requerida; luego de lo cual, la corriente alterna (c.a.) será transformada, es decir, llevada a corriente continua o directa (c.d.), quedando de esta manera apta para ser utilizada en procesos galvánicos en general.

Para nuestra planta experimental será necesario tan solo un transformador-rectificador de pequeña capacidad, que brinde las facilidades necesarias como para llevarse a cabo las pruebas con mediciones exactas de corriente y voltaje, parámetros de estudio en este proyecto.

Además, el rectificador en cuestión, deberá ser muy versátil, es decir, que su maniobrabilidad por parte del ejecutor será realizada con facilidad, ayudado mediante una botonera de regulación y control.

3.3.2 SELECCION DE LA FUENTE

El cobreado, al igual que otros procesos de galvanotecnia, se caracteriza por la baja densidad de corriente requerida para el proceso.

La intensidad de corriente total necesaria

para el desarrollo del proceso depende de la superficie global en tratamiento simultáneo y de la densidad de corriente aplicada. El voltaje necesario para alcanzar dicha intensidad de corriente, depende de las condiciones en las cuales se realiza el proceso, además de las características anotadas; es así, como en el borde de la cuba se obtendrá el mayor valor de voltaje, disminuyendo éste a medida que se acorta la distancia cátodo-ánodo.

Básicamente en la selección del rectificador se deben considerar dos parámetros:

- 1.- El área máxima a recubrir $A_{\text{máx}}$ (dm^2)
- 2.- La densidad de corriente máxima $D_{\text{máx}}$ (amp/dm^2)

De tal forma que, la intensidad de corriente total I viene dada por la siguiente expresión:

$$I = A_{\text{máx}} \times D_{\text{máx}}$$

En el proceso de cobreado se trabajará con probetas de 1 dm^2 de superficie total, con valores de densidad de corriente que oscilarán entre 0.5 y $10 \text{ amp}/\text{dm}^2$, mientras que el voltaje lo hará entre 0.6 y 15 V , para una separación cátodo-ánodo de 15 cm .

A una separación mayor a ésta, el recubrimiento se realizará con lentitud y los iones metálicos perderán adherencia al depositarse; en tanto que, a una separación menor a los 15 cm. se obtendrán depósitos esponjosos y quemados.

De acuerdo a la expresión anterior el valor máximo de la intensidad de corriente será:

$$I_{\text{máx}} = 1 \text{ dm}^2 \times 10 \text{ amp/dm}^2$$

$$I_{\text{máx}} = 10 \text{ Amp.}$$

En virtud de que se trabajará con valores inferiores a 10 amp/dm² de densidad de corriente, un rectificador con 10 amperios y 10 voltios satisface plenamente los requerimientos exigidos para el desarrollo del cobreado y por tanto los objetivos trazados en el presente trabajo.

3.3.3 EL TRANSFORMADOR RECTIFICADOR

En la planta se utilizará un transformador-rectificador con una capacidad nominal de 10 amperios y 15 voltios, enfriado por aire, como se indica en la Figura N^o 15. La función del

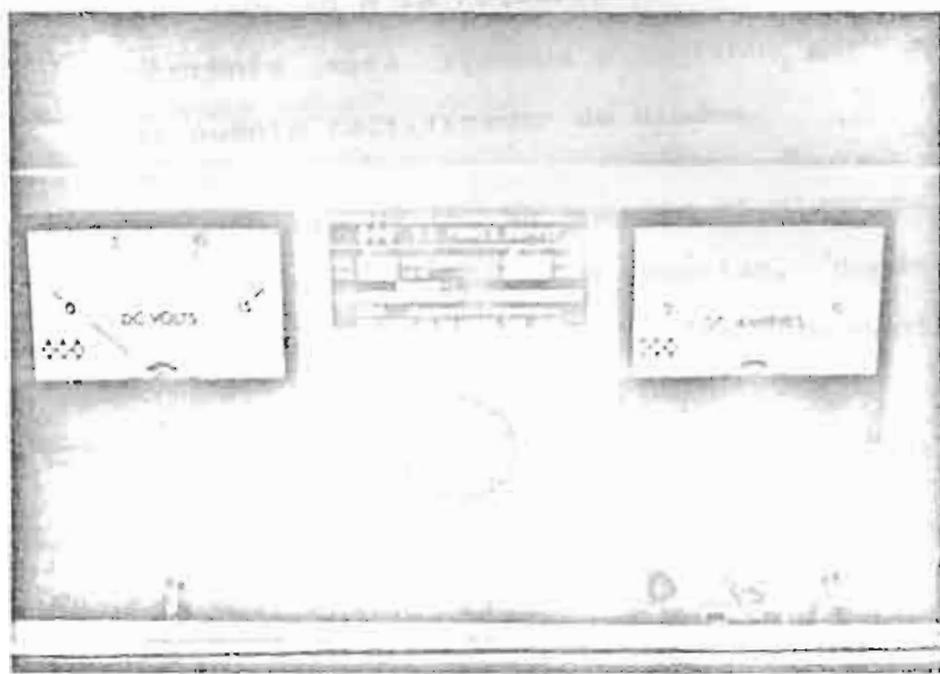


Figura No. 15 TRANSFORMADOR-RECTIFICADOR

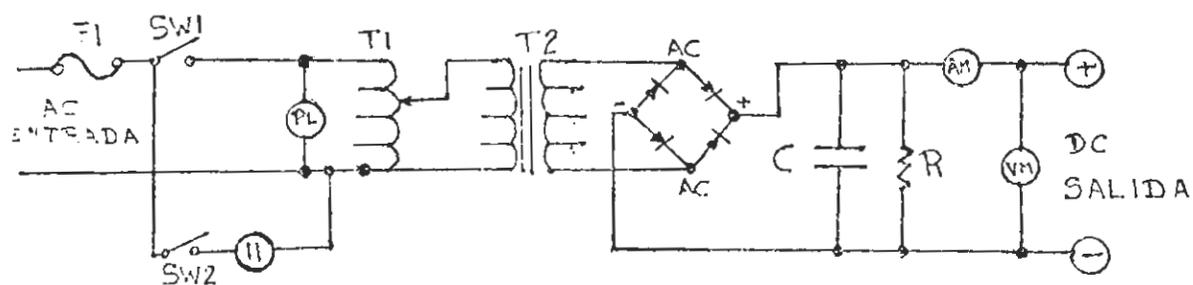


Figura No. 16 DIAGRAMA ELECTRICO DEL TRANSFORMADOR-RECTIFICADOR

transformador será de reducir la tensión de alimentación a la requerida, en tanto que la corriente será llevada a continua por medio del puente rectificador de diodos.

En la Figura Nº 16 se muestra el diagrama del circuito del equipo en mención, donde se destacan todos y cada uno de los componentes.

La secuencia del circuito es la siguiente:

La corriente de alimentación es tomada y transportada hacia el autotransformador T1, luego de haberse cerrado el interruptor SW1, al tiempo que se encenderá la luz piloto PL; obteniéndose así, la tensión variable de 0 a 110 V. en A.C.

Esta tensión alimenta al primario de T2, obteniéndose una tensión de 0 a 10 voltios AC. en el secundario de T2 de acuerdo a la posición que tenga T1.

La energía eléctrica proveniente del secundario de T2 entra al puente rectificador de diodos, obteniéndose a la salida la corriente directa deseada.

Los diodos están hechos de silicio, y tienen

la facultad de dejar pasar la corriente en un solo sentido; es así como, la señal sinusoidal positiva y negativa es llevada tan solo a una señal puramente positiva como se indica en la Figura N^o 17 que muestra las etapas de la rectificación en cuestión.

La corriente con estas características entra a un filtro RC compuesto por un condensador y una resistencia, el cual convierte la DC pulsante en DC pura.

El control de la corriente y voltaje así obtenidos es llevado a efecto por un amperímetro y un voltímetro respectivamente.

Este transformador-rectificador, por las características anotadas, reúne las condiciones necesarias para su empleo en el proceso de cobreado; sin embargo, no podrá utilizarse en el desengrase y cobreado simultáneamente ya que su capacidad no es suficiente y además la polaridad deberá invertirse de uno a otro paso. Por esta razón, se hizo necesaria la implementación de un inversor de polaridad detallado en la Figura N^o 18, el mismo que ayudará a que el proceso se desarrolle en secuencia y sin interrupción alguna.

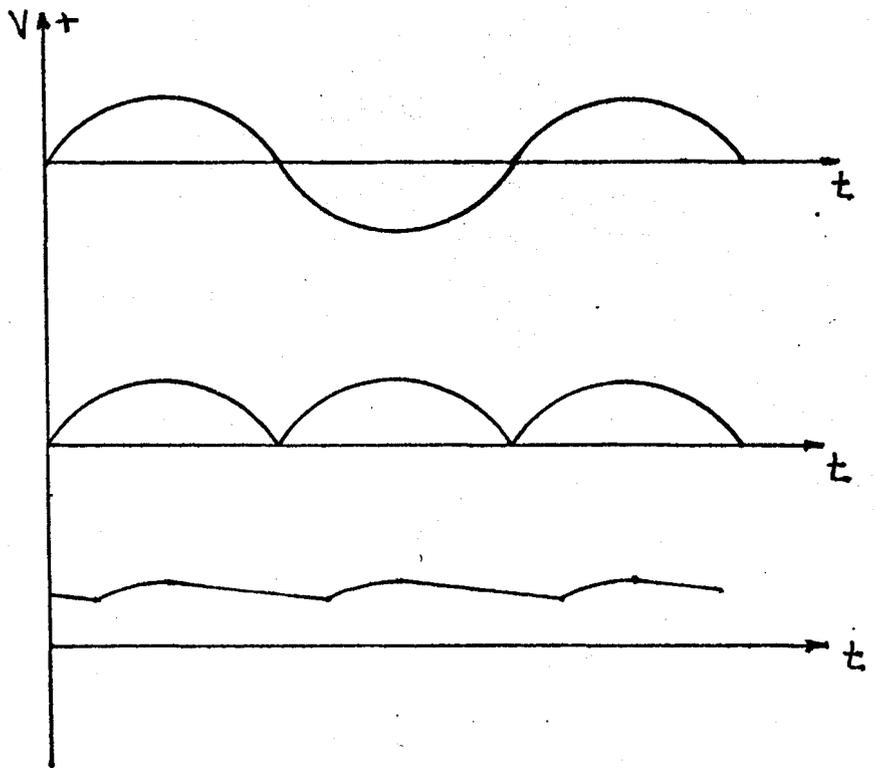


Figura No. 17 ONDAS DE RECTIFICACION SINUSOIDALES

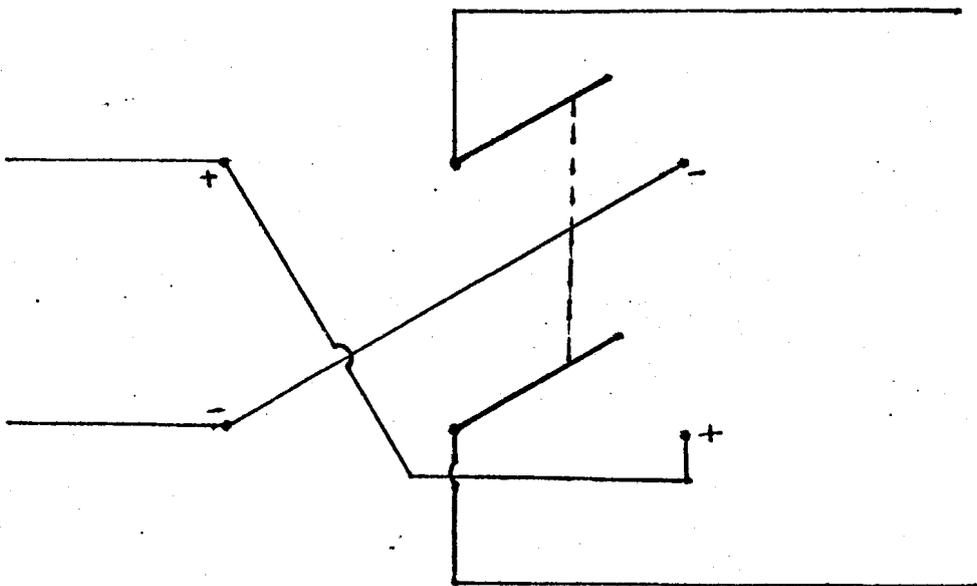


Figura No. 18 INVERSOR DE POLARIDAD

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

El trabajo relacionado con el proceso de cobreado, incluye una serie de operaciones empezando por la perfecta limpieza del metal a recubrir, luego la aplicación del proceso fundamental y terminado hasta llegar por fin al control de calidad, destinado a poner en cuestionamiento el resultado obtenido.

Ya se ha mencionado ligeramente los objetivos que se persiguen en esta tesis; sin embargo, aquí ampliaremos más detalladamente los mismos. Es así que, se realizarán recubrimientos de cobre tendientes a explicar el efecto producido por parámetros importantes como la densidad de corriente y tiempo de inmersión, confrontados estos resultados lógicamente en el control de calidad aplicado al final del proceso.

Al encontrarse gobernado el cobreado por los parámetros anotados, nuestro interés radica en estudiar la influencia de éstos en el resultado obtenido. Para ello, se realizarán pruebas de adherencia, masa depositada y espesor de la capa de recubrimiento, siguiendo sistemas de control establecidos por las normas del Instituto Nacional de Normalización INEN, con los cuales se llegará a determinar la aceptación o rechazo de la capa de cobre en cuestionamiento.

La secuencia del trabajo a desarrollarse es la siguiente:

- 1.- Corte de Probetas
- 2.- Limpieza Mecánica
- 3.- Enjuague
- 4.- Desengrase a Inmersión
- 5.- Enjuague
- 6.- Desengrase Electrolítico
- 7.- Enjuague
- 8.- Decapado
- 9.- Enjuague
- 10.- Cobreado Alcalino
- 11.- Enjuague
- 12.- Secado
- 13.- Laqueado
- 14.- Control de Calidad

4.1 SELECCION DEL METAL BASE

En general todo metal puede aceptar cualquier tipo de electrodepósito ya sea en mayor o menor grado. Para realizar nuestras pruebas se han tomado los siguientes parámetros de selección del metal base:

- 1.- Utilización en la industria
- 2.- De fácil adquisición
- 3.- Bajo costo
- 4.- Aceptable maquinabilidad

- 5.- Prestar facilidades en la preparación y limpieza misma
- 6.- Prestar facilidades en la electrodeposición
- 7.- Prestar facilidades necesarias para realizar el control de calidad
- 8.- Facilmente recuperable

Analizados cada uno de los puntos anteriores, el metal que reúne las características necesarias para hacer de base del depósito de cobre es el acero SAE 1010, utilizado en láminas con un espesor de 1/16 de pulgada.

Las dimensiones de la probeta serán aquellas con las cuales se obtenga una superficie total aproximada de 1 dm². El espesor de éstas es el óptimo para los fines que se persiguen, ya que, el corte se lo puede realizar con facilidad al igual que el montaje, a efectos de observar al microscopio así como también realizar las medidas respectivas del espesor. Además, las pruebas de adherencia por doblado, serán efectuadas sin complicación alguna.

La Figura Nº 19 muestra la probeta que hará de base para el electrodeposito de cobre la misma que será suspendida de la barra catódica con la ayuda del bastidor, el cual sujetará a ésta desde el orificio

en ella practicada con tales propósitos.

4.2 PREPARACION DE PROBETAS

Esta etapa constituye una fase de gran importancia en el proceso de cobreado y en general de todo proceso galvánico, ya que el recubrimiento será fiel a la superficie de la probeta, tomando las características de éste; además, del grado de limpieza dependerán en gran parte las propiedades y características de la capa cobreada.

La preparación de probetas se llevará a cabo en tres etapas:

- 1.- Limpieza mecánica
- 2.- Desengrase a inmersión
- 3.- Desengrase electrolítico
- 4.- Decapado

A su vez, la limpieza mecánica se puede subdividir en los siguientes pasos:

- a.- Esmerilado
- b.- Cepillado
- c.- Pulido duro
- d.- Pulido suave

El esmerilado es un proceso en el cual, la probeta es sometida al efecto abrasivo de un esmeril, con la

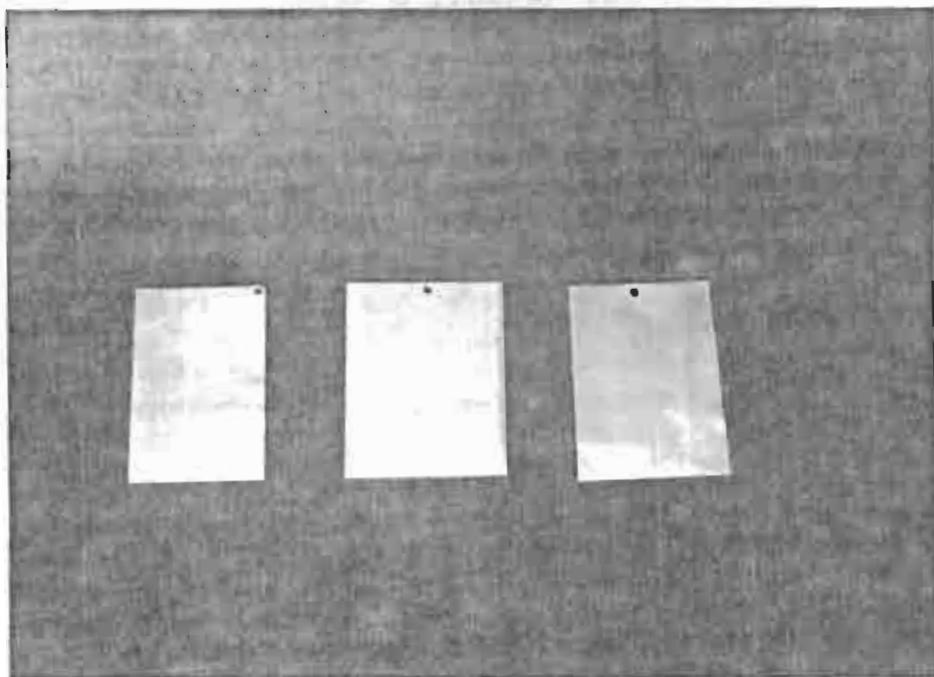


Figura No. 19 PRUEBA DE ACERO SAE 1010

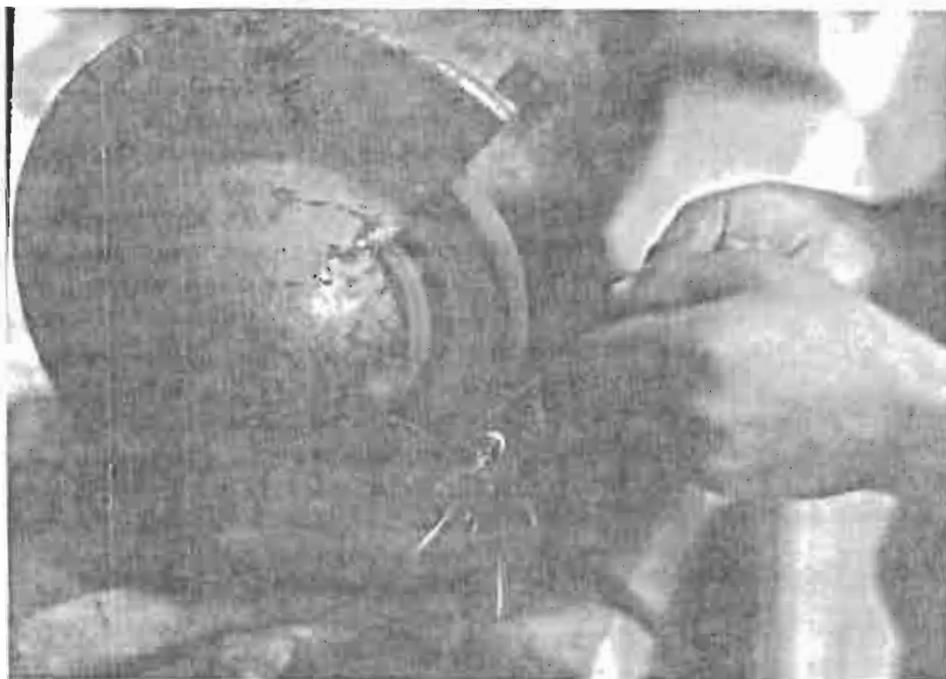


Figura No. 20 ESMERILADO

finalidad de arrancar o liberar las rebabas o salientes del metal producto del corte y taladrado practicado en estas probetas. Además, se eliminarán la mayor cantidad de costras e impurezas visibles sobre su superficie.

Cierto porcentaje de herrumbre y óxidos, serán eliminados de la superficie de la probeta, mediante la aplicación del cepillado, a la vez que, ayudará a obtener cierta característica de limpieza aceptable.

Con el fin de eliminar el rayado de la superficie metálica, producto de los tratamientos anteriores, se procede a efectuar un pulido que lo denominamos duro, en el banco de lijas con granos 220, 230, 400 y 600.

El pulido suave se lo realiza en un disco de tela giratorio, con el propósito de obtener la mayor brillantez posible.

Toda esta secuencia de limpieza mecánica se ilustra en las Figuras Nº 20, Nº 21 y Nº 22.

La segunda etapa corresponde a la limpieza química, la misma que tiene por objeto activar químicamente la probeta a cobrear, separar de la superficie del metal cualquier partícula de suciedad o grasa, aceites o material abrasivo que haya quedado adherido, como consecuencia de la preparación mecánica anterior, o



Figura No. 21 CEPILLADO

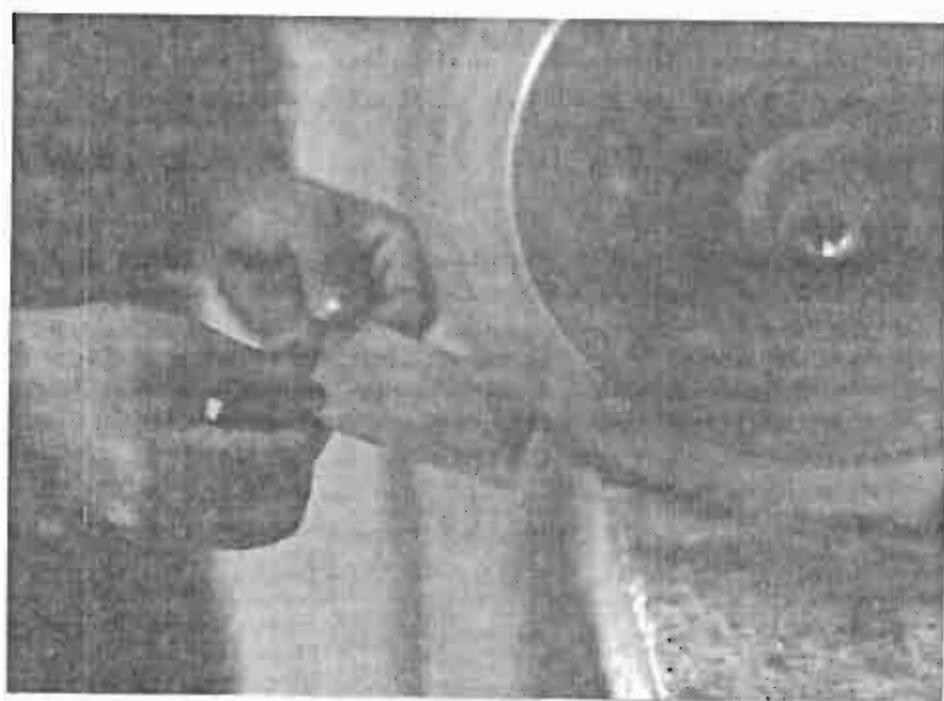


Figura No. 22 PULIDO SUAVE

por efecto del contacto manual que en la preparación se produce.

El desengrase químico se lo realiza por inmersión de la probeta en el baño alcalino de Sosa cáustica, cuya composición y características se dan a continuación:

Sosa cáustica	38 g/lt.
Carbonato de Sodio	25 g/lt.
Fosfato trisódico	6.2 g/lt.
Temperatura	35 - 50° C
Densidad	8.5° Bé

En la Figura Nº 23, se puede observar como se lleva a cabo dicho desengrase químico. El tiempo de inmersión para obtener un buen desengrase, varía según el estado de la probeta; sin embargo, un rango aceptable fue establecido entre los 10 y 15 minutos, con agitación manual.

En la tercera etapa, la probeta es sometida a un desengrase electrolítico, para la cual ésta es sumergida en un baño alcalino de sosa cáustica de composición diferente a la anterior.

La probeta penderá de la barra anódica, mientras que, se utilizarán dos láminas de acero inoxidable de 40 x 30 cm., como cátodos.

Se aplica este tipo de desengrase, con el fin de

desprender todas las impurezas y residuos grasos de la superficie de la probeta. La agitación es mecánica y la solución es calentada para mayor efectividad.

La composición y características del baño de desengrase electrolítico son las siguientes:

Sosa cáustica	30 g/lt.
Fosfato de Sodio	39.5 g/lt.
Carbonato de Sodio	30 g/lt.
Temperatura	40 - 60 °C
Voltaje	4 - 6 voltios
Densidad	7° Bé

Los cátodos, la probeta y la acción del baño sobre ésta, se ilustra en la Figura N^o 24, en la cual se puede observar en la superficie del baño una espuma blanca producida durante este proceso de limpieza electrolítica.

La última etapa en el proceso de limpieza de la probeta lo constituye el Decapado, el mismo que tiene por objeto separar de la superficie metálica en tratamiento, la capa o costra de óxido; al mismo tiempo que sirve para neutralizar cualquier residuo alcalino.

Para el decapado se utiliza un baño de ácido sulfúri-



Figura No. 23 DESENGRASE A INMERSION

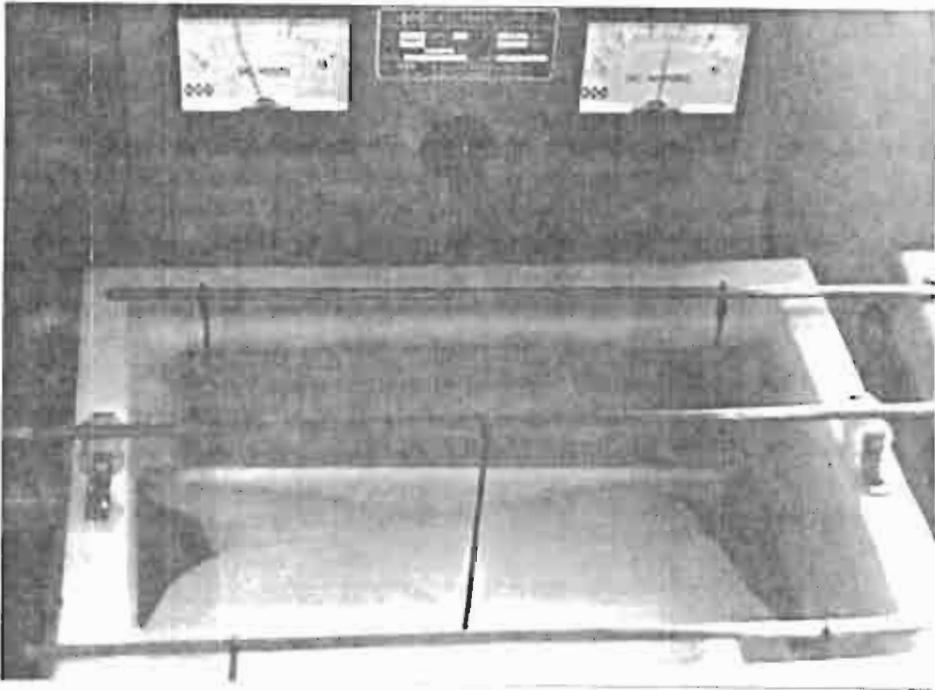


Figura No. 24 DESENGRASE ELECTROLITICO

co diluido al 10%, con 5.3° Bé de densidad, se trabajará a temperatura ambiente con agitación mecánica y sin corriente.

4.3 PREPARACION DEL BAÑO PARA COBREAR

Los depósitos de cobre pueden ser obtenidos mediante diferentes soluciones, las mismas que contienen el metal en forma iónica. Así, existen dos tipos bien definidos de soluciones para tal propósito:

- 1.- Baños de cobre ácidos
- 2.- Baños de cobre alcalinos

En general los baños ácidos presentan gran facilidad de operación, son de bajo costo, presentan buena estabilidad durante la operación, permiten fácil deposición de cobre, por lo cual son ampliamente usados en galvanoplastia. Sin embargo, estos baños se ven afectados por su bajo poder penetrante, producen depósitos poco uniformes y arborescentes, pero la mayor desventaja de éstos es la imposibilidad de electrodepositar directamente cobre sobre hierro y acero.

A su vez, los baños alcalinos en especial los cianurados ofrecen gran poder penetrante, excelente brillo, buena adherencia, aceptan depósitos posteriores,

se puede aplicar directamente sobre el metal base y no producen depósitos por simple inmersión como sucede con los baños ácidos.

Los baños cianurados son más costosos que los ácidos, sin embargo, por las cualidades antes mencionadas se constituyen en los más adecuados para lograr los objetivos propuestos.

El baño de cobre cianurado fué preparado en el Laboratorio de Metalurgia, mezclando los siguientes elementos en las proporciones indicadas:

Cianuro de Cobre	80 g/lt
Cianuro de Sodio	105 g/lt
Hidróxido de Sodio	30 g/lt

Posteriormente se mandó muestras al Laboratorio del Instituto de Química de la ESPOL y se obtuvo los siguientes resultados:

Cianuro de Cobre	78.85 g/lt
Cobre Metálico	55.6 g/lt
Cianuro libre	22.7 g/lt
Densidad	15 °Bé
PH	13

Dicha composición fué analizada mediante el método de absorción atómica. En el apéndice A se da el proce-

dimiento a seguir en el análisis del baño de cobre por medio de reactivos e indicadores; sin embargo, este método no fue utilizado debido al alto costo del mismo.

4.4 COBREADO CON VARIACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y DEL VOLTAJE

Para determinar el efecto que ejercen la densidad de corriente y el voltaje en el cobreado, realizamos pruebas con diferentes intensidades de corriente: 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 amperios con su correspondiente variación de voltaje. A la vez se realizaron variaciones en el tiempo de inmersión de la probeta en el baño: 5, 7, 10, 15 y 20 minutos.

La influencia de las variaciones en cuestión sobre el cobreado serán analizadas en las siguientes tres características importantes:

- 1.- Masa de Cobre depositado
- 2.- Espesor de la capa cobreada
- 3.- Adherencia de la capa cobreada

Los requisitos del recubrimiento electrolítico de cobre sobre acero están especificados según la Norma INEN 1056-1984-07 la misma que está contenida en el apéndice B.

4.4.1 CONTROL DE LA MASA DEPOSITADA

Es importante el control de la masa de cobre depositada, ya que de esta depende la eficiencia de corriente o del baño, la misma que relaciona el peso real depositado con el peso teórico que debería haberse depositado.

En el Instituto Ecuatoriano de Normalización no existe una norma que rija el control de la masa depositada, por lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- 1.- Una vez desengrasada y decapada la probeta, se procedió a determinar el peso inicial (G_0), es decir el peso sin recubrimiento.
- 2.- Luego de cobreada la probeta se determino nuevamente su peso (G_1), es decir, con recubrimiento.
- 3.- El peso del cobre depositado se obtiene por diferencia de peso después y antes del recubrimiento:

$$G \text{ (gr)} = G_1 - G_0$$

Para realizar este procedimiento, utilizamos la balanza digital "YAMATO", la misma que



Figura No. 25 CONTROL DEL PESO ELECTRODEPOSITADO



Figura No. 26 MEDICION DE ESPESORES

tiene una precisión de 1 centésima de gramo como se indica en la Figura Nº 25.

4.4.2 CONTROL DEL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO

Resulta importante la determinación del espesor de la capa de cobre ya que constituye una de las cualidades físicas más interesantes. Menor porosidad y mayor continuidad se obtendrán a medida que el espesor aumenta.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización presenta varias alternativas para controlar el espesor de la capa de cobre, sin embargo, concientes de las limitaciones existentes en el Laboratorio de Metalurgia, se emplea la norma INEN 601-1981-01: RECUBRIMIENTOS METALICOS Y NO ORGANICOS. DETERMINACION DEL ESPESOR POR EL METODO MICROSCOPICO.

Según las especificaciones dadas en la norma INEN 1056-1984-07 el espesor será tal que satisfaga el índice de servicio 1.

En el apéndice C se indican las especificaciones de la norma INEN 601.

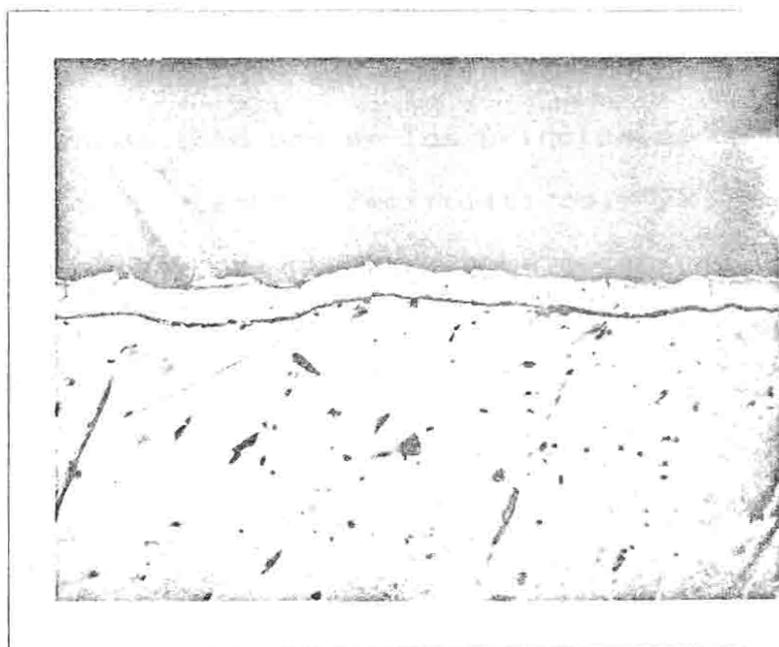


Figura No. 27 CAPA ELECTRODEPOSITADA DE COBRE A 200X

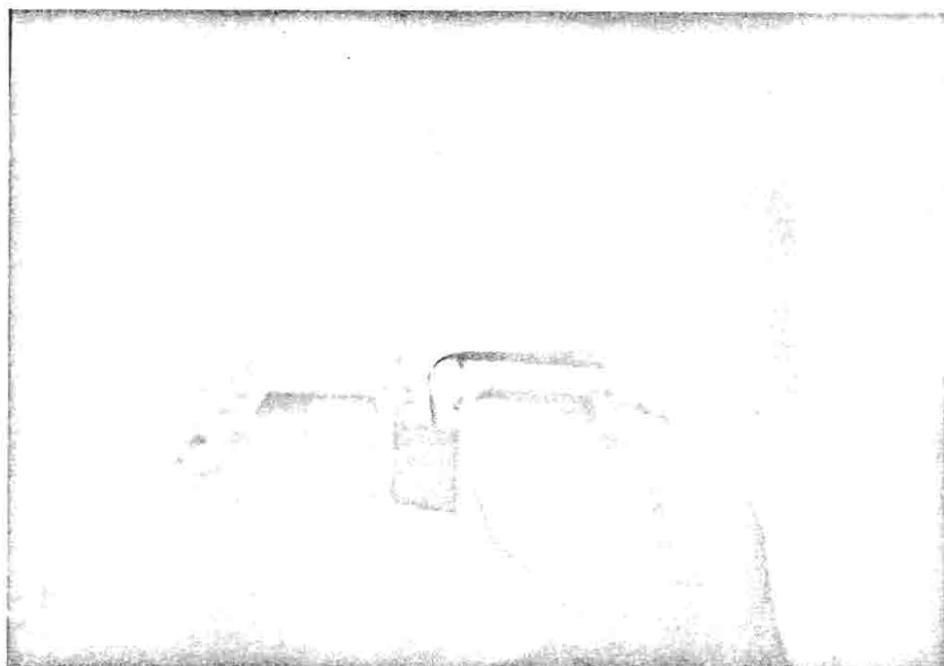


Figura No. 28 DOBLADO DE PROBETAS

4.4.3 CONTROL DE LA ADHERENCIA

La falta de adherencia suele presentarse a menudo como uno de los principales defectos en los procesos electrolíticos, ya sea, como resultado de deformaciones mecánicas, desprendimiento de gases ocluidos, cambios de temperatura, etc., de tal forma que el control de la adherencia se hace necesario ya que por medio de éste se tendrá la facultad de determinar si los depósitos de cobre reúnen o no la fijeza necesaria para el propósito trazado.

Para llevar a cabo dicho control seguiremos las pruebas de doblado según lo determina el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la Norma INEN 950-1984-04: RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA. METODOS DE ENSAYO.

En la Figura Nº 28 se indica la aplicación de esta norma cuyas regulaciones se dan en el apéndice D.

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

Para analizar los efectos que sobre la masa, espesor y adherencia ejercen los parámetros eléctricos y el tiempo de inmersión se da a continuación las siguientes tablas de resultados:

TABLA I

A 5 minutos de inmersión

Prueba	Corriente	Area	Densidad de corriente	Voltaje	Eficiencia	Masa	Espesor	Adherencia	Potencia
nº	Amp	dm ²	Amp/dm ²	voltios	%	gr	µm	n	vattios
1	0.5	0.93	0.51	0.9	20	0.02	0.3	12	0.45
2	1	0.9	1.11	1.2	30.4	0.06	0.8	12	1.2
3	2	0.95	2.1	1.8	33	0.13	1.6	11	3.6
4	3	0.95	3.2	2.2	35.4	0.21	2.5	10	6.6
5	4	0.95	4.21	2.7	31.6	0.25	3.0	10	10.8
6	5	0.92	5.43	2.9	29.4	0.29	3.6	10	14.5
7	6	1	6	3.3	27.1	0.44	5.0	9	19.8
8	7	1.02	6.86	3.7	32	0.45	5.4	9	25.9
9	8	1.03	7.8	3.9	30.4	0.48	5.3	9	31.2
10	9	1.04	8.6	4	30.0	0.51	5.6	9	36

TABLA II

A 7 minutos de inmersión

Probeta	Corriente	Area	Densidad de corriente	Voltaje	Eficiencia	Masa	Espesor	Adherencia	Potencia
Nº	Amp	dm ²	Amp/dm ²	voltios	%	gr	µm	n	vaticos
1	0.5	0.93	0.54	1.1	29	0.04	0.5	10	0.55
2	1	0.92	1.1	1.2	40	0.11	1.4	10	1.2
3	2	0.97	2.1	1.8	38	0.21	2.5	9	3.6
4	3	0.98	3	2.3	41	0.34	3.9	10	6.9
5	4	0.98	4.1	2.6	36	0.4	4.6	10	10.4
6	5	1.05	4.8	3	34	0.47	5.0	9	15
7	6	0.99	6	3.3	38	0.63	7.2	9	19.8
8	7	1	7	3.4	34	0.66	7.5	8	23.8
9	8	0.99	8	3.9	31	0.68	7.7	8	31.2
10	9	1.02	8.8	4.1	30	0.74	8.3	8	36.9

TABLA III

A 10 minutos de inmersión

Probeta	Corriente	Area	Densidad de corriente	Voltaje	Eficiencia	Masa	Espesor	Adherencia	Potencia
Nº	Amp	dm ²	Amp/dm ²	voltios	%	gr	µm	n	vatios
1	0.5	0.9	0.56	0.9	26	0.05	0.7	10	0.45
2	1	0.92	1.1	1.3	43	0.17	2.1	10	1.3
3	2	0.9	2.2	1.8	46	0.36	4.5	10	3.6
4	3	0.97	3.1	2.2	43	0.51	6.0	9	6.6
5	4	0.96	4.2	2.6	37	0.58	6.8	8	10.4
6	5	0.97	5.13	3	34.5	0.68	7.9	8	15
7	6	0.96	6.3	3.2	32.5	0.77	9.0	8	19.2
8	7	0.81	7.3	3.8	29	0.81	9.5	8	26.6
9	8	0.97	8.3	4.7	28.8	0.91	10.5	8	37.6
10	9	0.98	9.2	5	27.5	0.97	11.2	7	45

TABLA IV

A 15 minutos de inmersión

Probeta	Corriente	Area	Densidad de corriente	Voltaje	Eficiencia	Masa	Espesor	Adherencia	Potencia
Nº	Amp	dm ²	Amp/dm ²	voltios	%	gr	µm	n	vattios
1	0.5	0.97	0.51	0.8	48.6	0.15	1.8	9	0.4
2	1	0.97	1.03	1.3	53	0.32	3.8	9	1.3
3	2	1	2	1.8	53.5	0.62	7.0	9	3.6
4	3	1	3	2.3	46.5	0.81	9.2	9	6.9
5	4	1	4	2.6	40	0.95	10.8	8	10.4
6	5	0.87	5.8	3.1	33.4	0.99	13.0	8	15.5
7	6	0.8	7.5	3.6	29	1.03	14.5	8	21.6
8	7	0.85	8.2	4.5	27	1.12	14.8	7	31.5
9	8	0.97	8.28	5.3	27.6	1.31	15.2	7	42.4
10	9	0.99	9.1	5.9	26.8	1.43	16.4	6	45

TABLA V

A 20 minutos de inmersión

Probeta	Corriente	Area	Densidad de corriente	Voltaje	Eficiencia	Masa	Espesor	Adherencia	Potencia
Nº	Amp	dm ²	Amp/dm ²	voltios	%	gr	µm	n	vattios
1	0.5	0.97	0.52	0.9	48	0.19	2.2	9	0.45
2	1	0.95	1.05	1.2	60.7	0.48	5.8	9	1.2
3	2	1	2	1.6	63.2	1	11.2	8	3.2
4	3	0.88	3.4	2.2	50.6	1.2	15.5	8	6.6
5	4	0.86	4.65	2.6	45.2	1.43	18.6	7	10.4
6	5	1	5	2.8	36.2	1.44	16.3	7	14
7	6	1.01	5.9	3.1	41.7	1.98	22.0	7	18.6
8	7	1.04	6.7	4	39.4	2.18	23.8	6	28
9	8	1.04	7.7	4.5	36.4	2.3	24.8	6	36
10	9	1	9	4.2	33.3	2.37	26.6	6	37.8

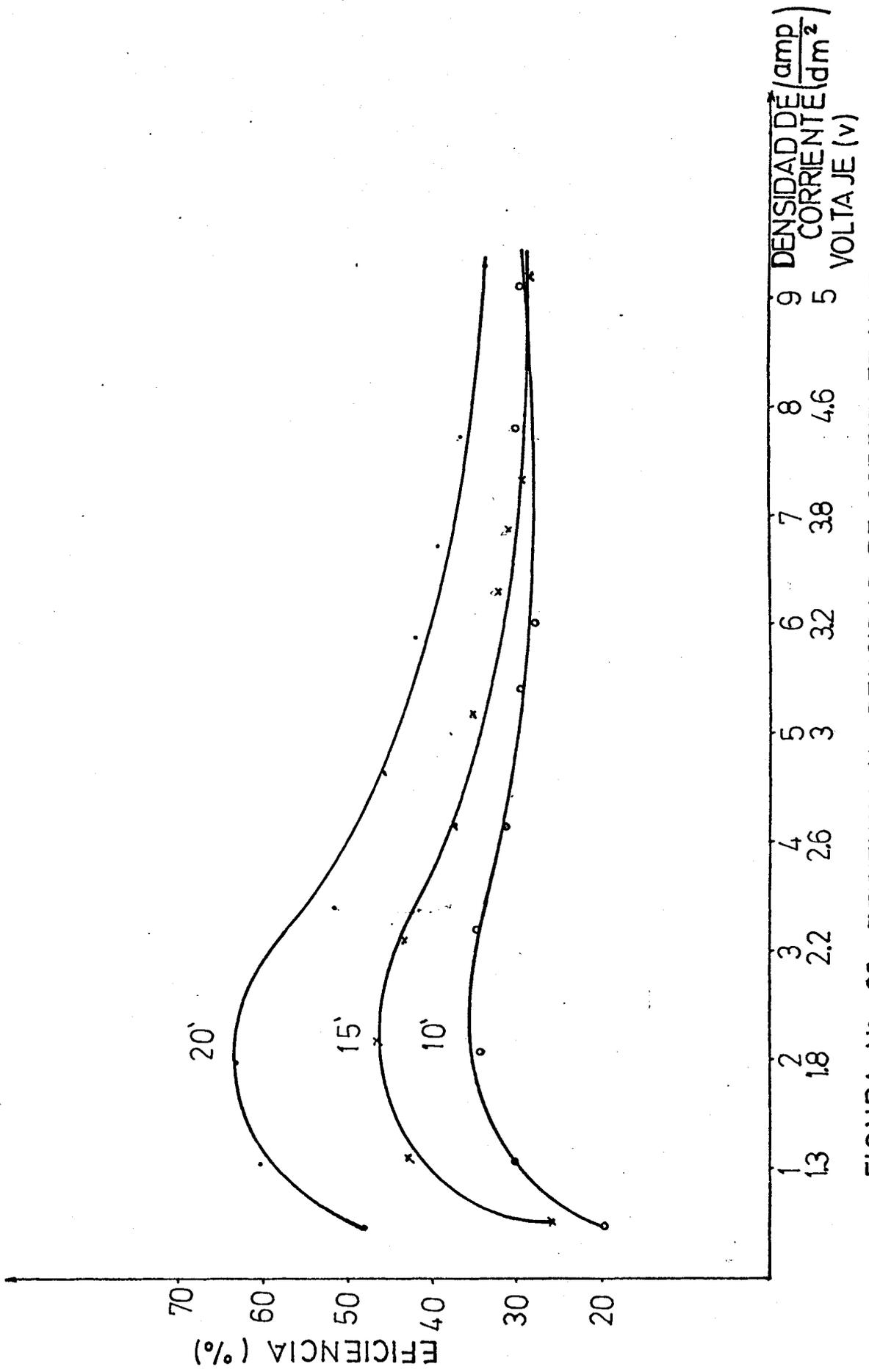


FIGURA Nº 29 EFICIENCIA VS DENSIDAD DE CORRIENTE Y VOLTAJE

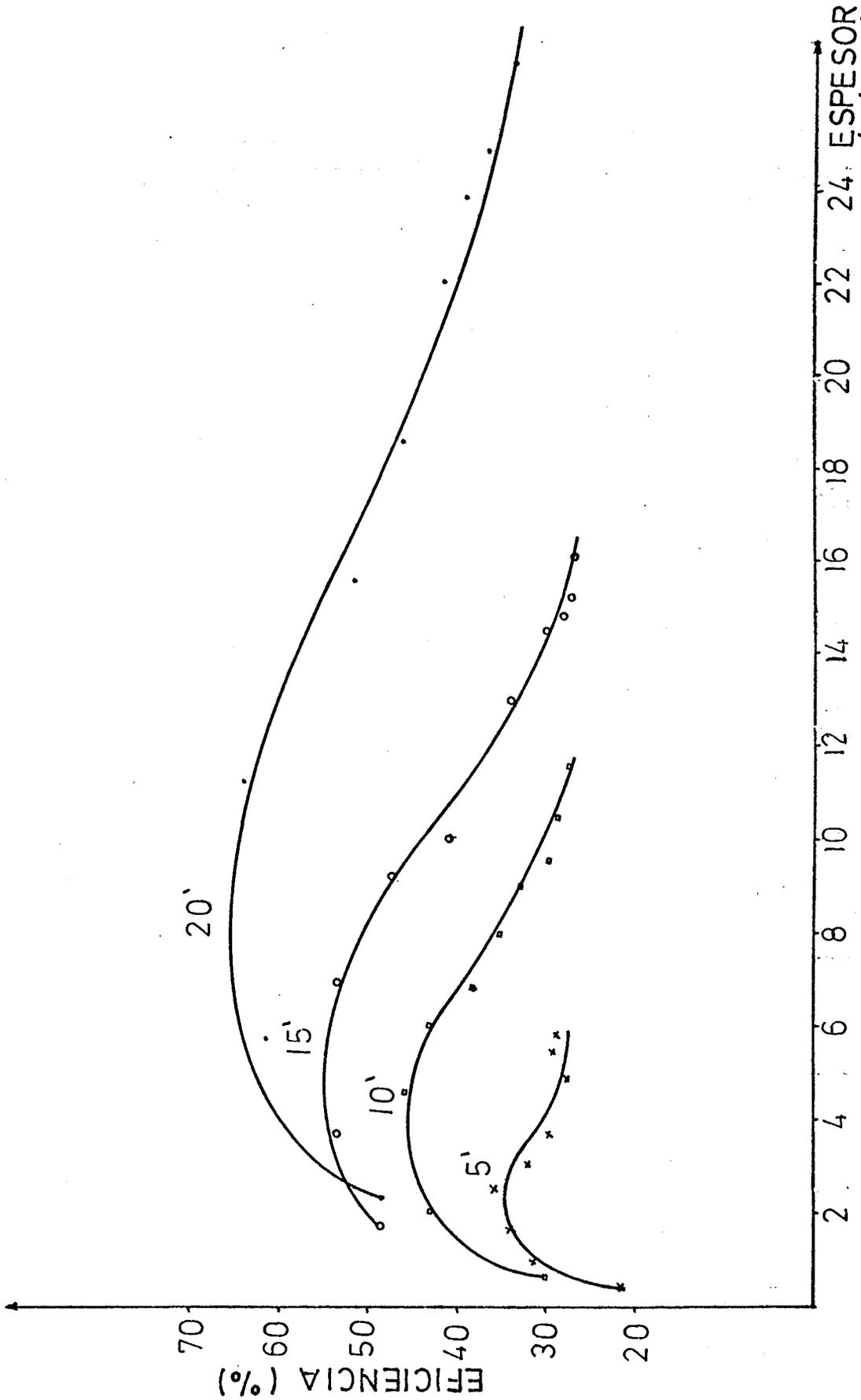


FIGURA N 30 EFICIENCIA VS. ESPESOR

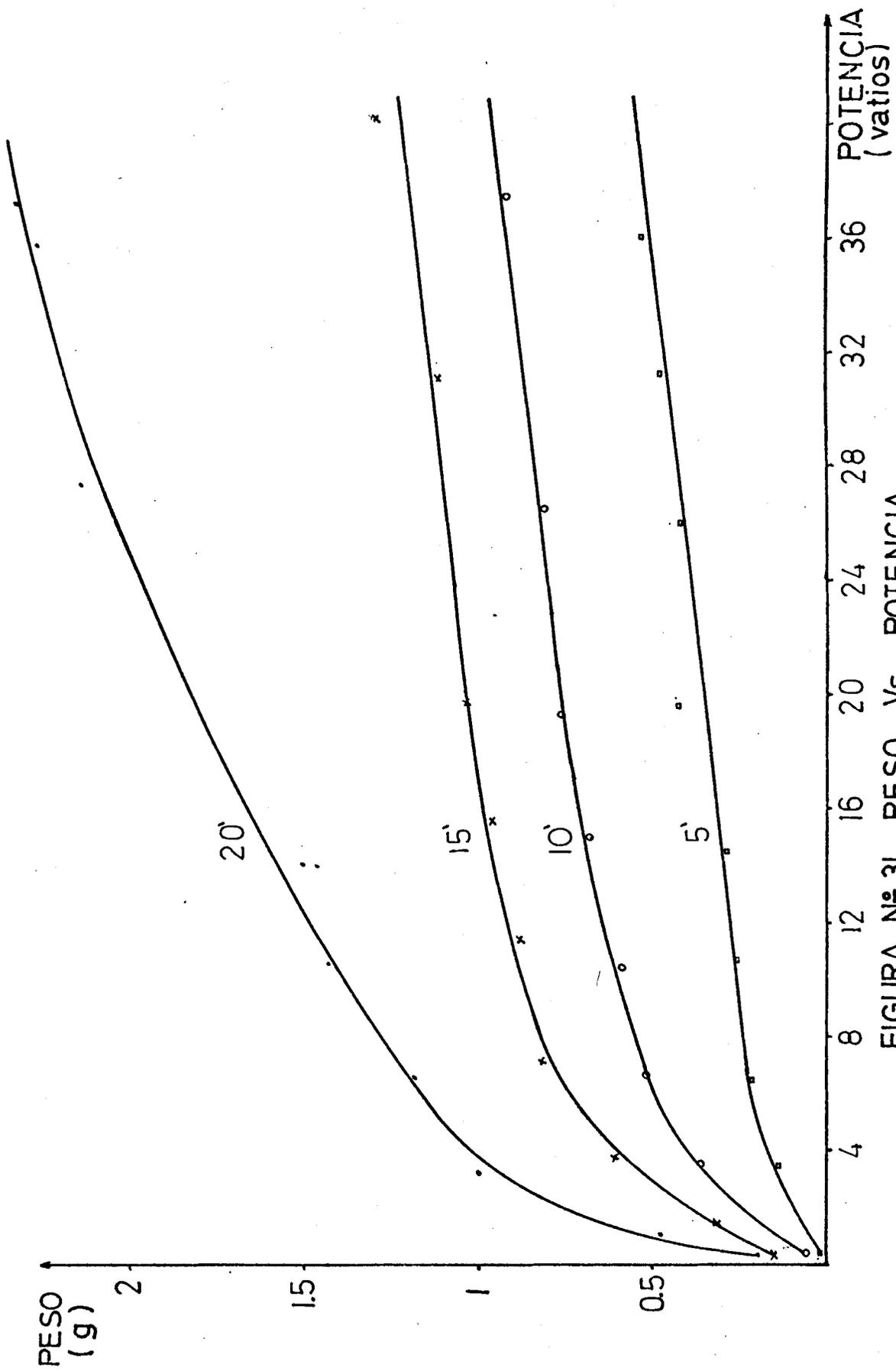


FIGURA Nº 31 PESO Vs. POTENCIA

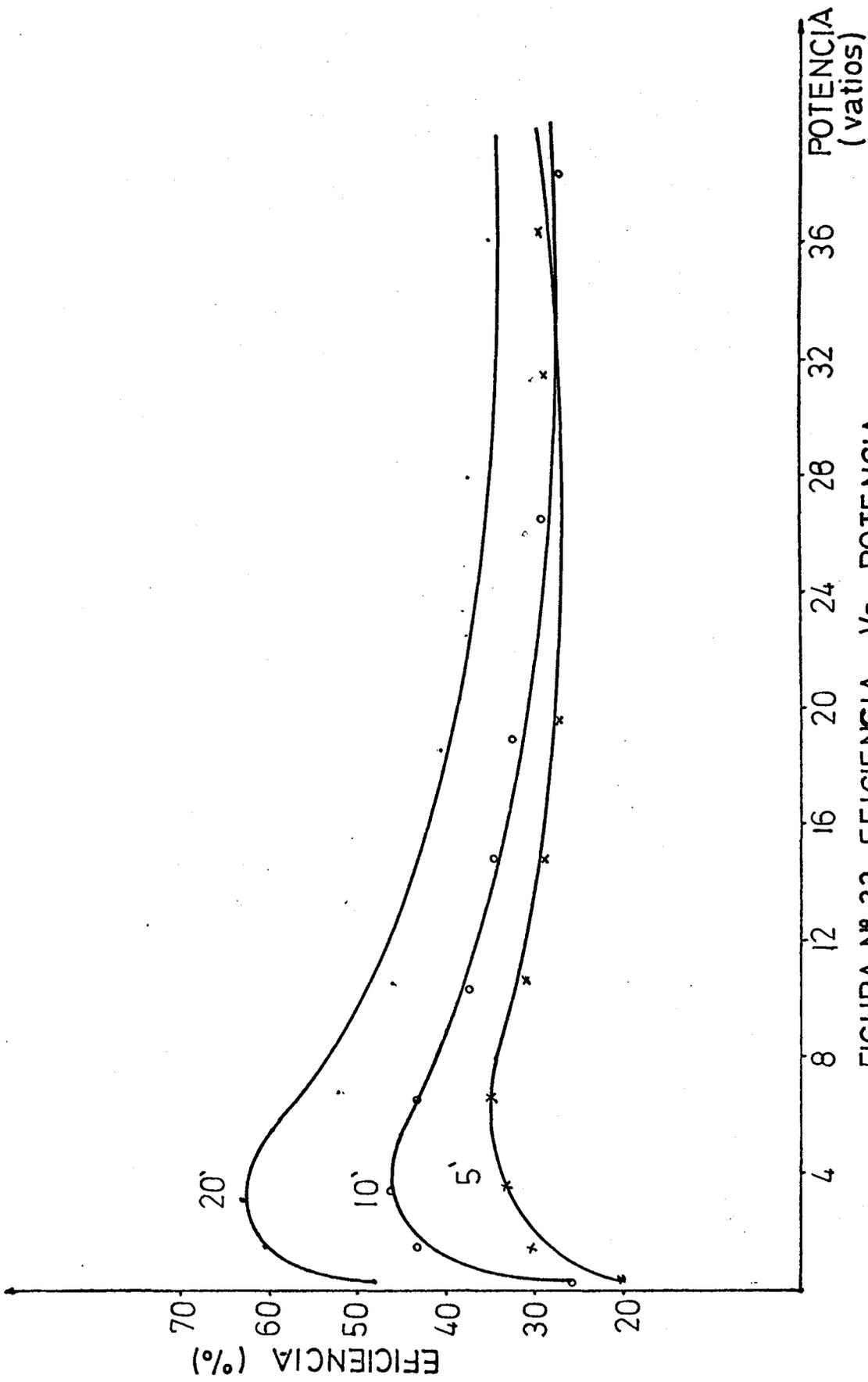


FIGURA Nº 32 EFICIENCIA VS. POTENCIA

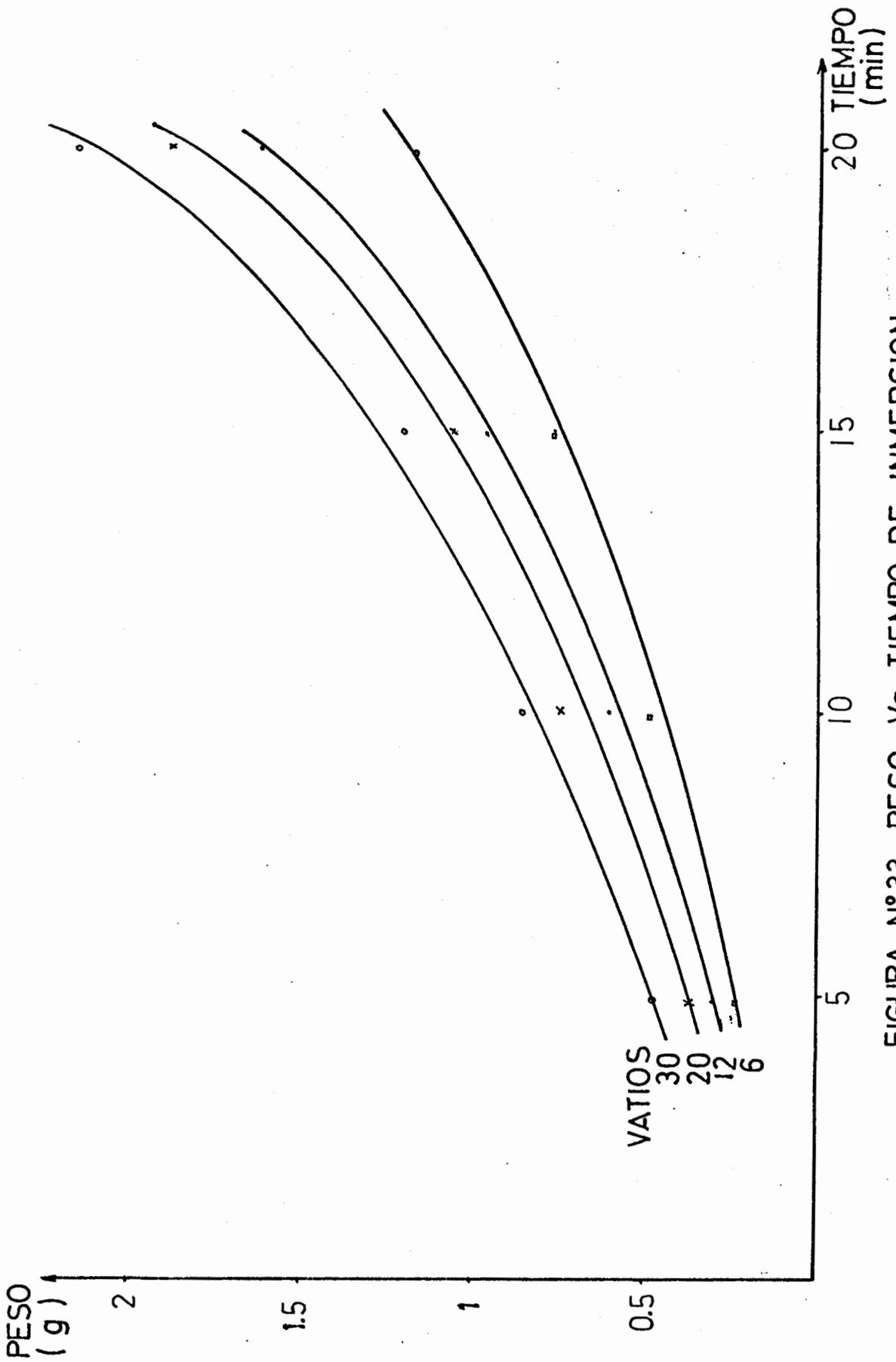


FIGURA N°33 PESO VS. TIEMPO DE INMERSION

En la Figura Nº 29 se da el comportamiento que tiene la eficiencia frente a las variaciones de densidad de corriente. Dichas curvas, independientes del tiempo de inmersión presentan bajos valores de eficiencia para valores pequeños de amperaje y voltaje, esto se debe a que la resistencia que ofrece el baño no ha sido totalmente vencida, como producto del efecto de polarización presente.

Luego se presenta un rango de amperaje y voltaje dentro del cual la eficiencia toma sus máximos valores, depositándose la mayor cantidad de metal. Para densidades de corriente y voltaje mayores a 3.5 amp/dm^2 y 2.3 voltios, la eficiencia disminuye y luego tiende a estabilizarse en un valor de 35%.

Esta disminución de la eficiencia explica, que no todo incremento de la densidad de corriente trae consigo un aumento en el peso del cobre depositado en relación al valor teórico esperado, este efecto puede explicarse por el empobrecimiento en iones metálicos de la capa líquida catódica y a la excesiva generación de hidrógeno, los cuales obstruyen la libre circulación y el depósito mismo de los iones cobre en la superficie catódica.

El rango de densidad de corriente y voltaje dentro de los cuales el peso de cobre obtenido experimentalmente se

acerca más al peso teórico esperado está entre: 1.5 - 3.0 amp/dm² y 1.4 - 2.2 voltios aproximadamente.

En la Figura N^o30 se observa el comportamiento adquirido por la eficiencia frente a variaciones del espesor de la capa de cobre depositado.

Como era de esperarse el espesor al igual que el peso del cobre depositado se incrementan a medida que lo hacen la densidad de corriente, el voltaje y el tiempo de inmersión.

La variación que presenta el espesor de la capa de cobre frente a la eficiencia es idéntica al comportamiento de la densidad de corriente frente a la eficiencia.

Dicho comportamiento es el esperado, ya que la mayor cantidad de metal se depositará a las más altas densidades de corriente, y debido a que se trabajó con probetas de un dm² aproximadamente de área total, el espesor tendrá también un comportamiento similar al peso depositado.

Los rangos de espesores dentro de los cuales la eficiencia es mayor, para los diferentes tiempos de inmersión son los siguientes:

Tiempo	Espesor	Eficiencia
5 min	2 - 3 μm	35 %
7 min	3 - 4 μm	40 %
10 min	3 - 5 μm	46 %
15 min	4 - 6 μm	55 %
20 min	7 - 10 μm	63 %

La Figura N^o31 indica como varía el peso de metal depositado en función de la potencia entregada durante el proceso de cobreado. En este gráfico se observa que a bajos valores de potencia el peso presenta la mayor tasa de incremento para cualquier tiempo de inmersión, esto demuestra que a bajas densidades de corriente la energía suministrada tiene un bajo porcentaje de pérdidas, por lo tanto ésta es mejor aprovechada para la electrodeposición. Llega un punto en el cual la curva presenta una disminución en la pendiente, correspondiendo este valor al límite del máximo aprovechamiento de la energía entregada, cuyos valores coinciden con los de las eficiencias máximas encontradas en la Figura N^o 29. A partir de este punto las tasas de incremento del peso disminuye, lo cual indica un alto porcentaje de pérdidas de la energía suministrada, por esta razón los resultados que se obtienen experimentalmente a valores elevados de densidad de corriente son relativamente menores que aquellos que se obtienen a valores menores de densidad de corriente.

En la misma Figura Nº 31, se observa que los rangos del peso de cobre depositado dentro de los cuales se aprovecha la mayor cantidad de energía corresponden a los valores más altos de eficiencia para los diferentes tiempos de inmersión.

La Figura Nº 32 nos muestra la variación de la eficiencia con la potencia suministrada en el proceso a diferentes tiempos de inmersión. Nos damos cuenta que los valores de eficiencia aumentan rápidamente para valores bajos de potencia llegando a un valor máximo y luego lentamente van disminuyendo. Las máximas eficiencias se obtienen para un rango de potencia comprendido entre 2.5 y 6 vatios. También observamos que a un valor de potencia dado la eficiencia aumenta a medida que lo hace el tiempo de inmersión. Para valores de potencia elevados las tres curvas de eficiencia tienden a unirse.

La Figura Nº 33 nos muestra la variación del peso de la capa de cobre con el tiempo de inmersión para distintos valores de potencia utilizados en el proceso. Podemos observar que el peso de la capa de cobre aumenta a medida que lo hace el tiempo de inmersión para cualquier potencia utilizada en el proceso, y este incremento es mayor cuando la potencia del proceso es de valores elevados

La adherencia en general disminuye a medida que se incre-

mentan la densidad de corriente, el voltaje y el tiempo de inmersión como se observa en los valores obtenidos en las tablas anteriores.

Esta disminución de la adherencia es gradual en todo tiempo de inmersión. El número máximo de doblados que se obtuvo fue 12 en las probetas 1 y 2 correspondientes a 5 minutos de inmersión, a 0.51 y 1.11 amp/dm² y a 0.9 y 1.2 voltios respectivamente. Así también el valor mínimo de adherencia es de 6 establecido a 20 minutos de inmersión, 6.7, 7.7 y 9 amp/dm² y 4, 4.5 y 4.2 voltios respectivamente.

Las características de apariencia y brillo son aceptables en las probetas cobreadas con valores de densidad de corriente de hasta 8 amp/dm². Los recubrimientos realizados con valores que superan este límite presentan características pobres, debido a que en los bordes y vértices se encuentran quemaduras y arborescencia, nada deseables para un posterior recubrimiento de níquel y cromo.

Para seleccionar los mejores resultados se establecieron los siguientes límites de aceptación en base a recomendaciones del INEN; dependiendo estos valores de la aplicación de las piezas a cobrarse.

1. la apariencia o brillo de la capa de cobre en procesos de cromado: brillante

2. adherencia mínima de la capa 5 doblados

3. rango de espesor de 5 a 15 μm

De las probetas ensayadas, las que satisfacen plenamente los límites de aceptación anteriores son:

Tiempo de inmersión	Probetas
20 min	2 - 3 - 4
15 min	3 - 4 - 5 - 6 - 7
10 min	4 - 5 - 6 - 7 - 8
7 min	6 - 7 - 8 - 9
5 min	7 - 8 - 9

Lo cual determina las condiciones óptimas del proceso.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos presentan características satisfactorias para los propósitos requeridos, puesto que están en capacidad de recibir el recubrimiento posterior de níquel y cromo.

- Una correcta limpieza de las probetas se obtiene a 5 minutos de inmersión y 40° C en el desengrase químico; a 5 minutos, 6 voltios, y 45° C en el desengrase electrolítico. El decapado es más eficiente cuando se trabaja a temperatura ambiente con tiempo de inmersión de 2 minutos. La temperatura óptima de trabajo del baño de cobre alcalino, fue establecido en los 50°C.

- Los valores máximos de eficiencia se producen a densidades de corriente entre 1.5 y 3 amp/dm², independientemente del tiempo de inmersión.

- A densidades de corriente mayores a 3.5 amp/dm² la eficiencia va disminuyendo hasta estabilizarse a un valor de aproximadamente 35%.

- Para el rango de densidad de corriente óptimo (1.5 - 3 amp/dm²) la eficiencia aumenta con el tiempo de inmersión.

- A mayor densidad de corriente se produce un mayor depósito de metal.
- Los valores de potencia bajos corresponden a una mayor tasa de incremento del peso.
- La eficiencia es mayor cuanto mayor es el tiempo de inmersión a un valor dado de potencia.
- Eficiencias máximas se producen a rangos de 2.5 y 6 vatios.
- A potencias elevadas la variación del tiempo de inmersión tiene poco efecto sobre la eficiencia.
- A tiempos iguales, potencias más elevadas producen pesos de metal depositado mayores.
- A tiempos de inmersión dados, la adherencia disminuye a medida que aumenta la potencia que se aplica en el proceso.
- Capas de espesores menores tienen mayor adherencia.
- Iguales espesores de capa independientemente del tiempo de inmersión y de la potencia aplicada tienen valores similares de adherencia.

- Los rangos de eficiencia máxima del baño se obtiene a valores de densidad de corriente ligeramente menores en comparación a los valores en los cuales se obtiene la eficiencia práctica del baño que satisface los límites requeridos de espesor, apariencia y adherencia.

- El valor límite de densidad de corriente hasta el cual los recubrimientos de cobre presentan características aceptables está en los 8 amp/dm², para valores superiores a este los depósitos se queman y pierden brillo.

RECOMENDACIONES

- El trabajo se debe llevar a efecto en secuencia ininterrumpida para evitar la inmediata contaminación de la probeta que se produce al estar expuesta al medio.

- Debido a que esta planta de recubrimientos electrolíticos quedará para uso de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, se recomienda trabajar con las medidas de seguridad adecuadas, sobre todo el uso de mascarilla para evitar la inhalación de gases tóxicos y la instalación de una campana de extracción de gases.

- En virtud del alto costo de los baños se debe mantener siempre cubiertos con plástico para evitar la contaminación de los mismos por la caída de elementos extraños. Así también es necesario filtrar periódicamente los baños para eliminar los sólidos sedimentados en el fondo de la cuba electrolítica.

- Debido a la falta de información técnica con que cuentan nuestros talleres de recubrimientos electrolíticos en el medio, se recomienda que la ESPOL ofrezca el asesoramiento técnico para mejorar la calidad de los trabajos.

- Se recomienda la implementación de un laboratorio para

poder efectuar los análisis de los baños de recubrimientos en general para poder mantener las concentraciones en los rangos de trabajo adecuados. La creación de este laboratorio puede llevarse a cabo como un nuevo tema de Tesis.

APENDICE A

ANALISIS DEL BAÑO DE COBRE ALCALINO CIANURADO

a) Determinación del contenido en cobre.

Procedimiento:

Para la determinación del contenido en cobre del baño alcalino cianurado, se introducen 2ml de solución-baño en un erlenmeyer de 250 ml de capacidad y se añade a continuación un gramo de persulfato amónico (para la destrucción de los cianuros), agitando vigorosamente. Al cabo de 30 segundos la solución habrá adquirido color azulado verdoso. Si no es así, añadir unos 10 ml de agua destilada y calentar ligeramente hasta ebullición. A continuación, a la solución fría, se agrega solución de NH_4OH 6N hasta que el color pase a azul fuerte. Añadir entonces agua destilada hasta completar 100 ml, agregar 5 gotas de indicador PAN (solución alcohólica al 0.1 %) y valorar con solución de complexón III (EDTA) 0.1 M hasta que el color de la solución pase a verde permanente.

Cálculo:

1 ml de solución de complexón III (EDTA) 0.1 M equivale a 6.357 mg de cobre.

b) Determinación del contenido en cianuro libre.

Procedimiento:

Se introducen 5 ml de solución-baño en un erlenmeyer

de 300 ml de capacidad, se diluye con agua destilada hasta 100 ml, se añaden 6 ml de NH_4OH 6N y 0.1-0.2 g de IK. Se calienta ligeramente esta solución y se valora seguidamente con solución de NO_3Ag 0.1N contra fondo oscuro, hasta que se obtiene una turbidez permanente de color amarillento.

Cálculo:

1 ml de solución de NO_3Ag 0.1N equivale a 9.8 mg de CNNa o a 13 mg de CNK .

c) Determinación del contenido en hidróxido de sodio

Procedimiento:

Se introducen 10 ml de solución baño en un erlenmeyer de 300 ml de capacidad, y se diluyen hasta 100 ml con agua destilada, se añaden 5-6 gotas de tropeolina 0 (solución acuosa al 1%) y se valora seguidamente con solución de ClNH hasta que el color amarillo adquirido al principio cambie a rojo. Para realizar esta valoración con mayor exactitud es muy conveniente usar una solución comparadora, constituida por 5-6 gotas de indicador en 100 ml de agua destilada.

Cálculo:

1 ml de solución de ClHN equivale a 40 mg de NaOH .

d) Determinación del contenido en carbonato

Procedimiento:

Se introducen 10 ml de solución baño en un vaso preci-

pitador, se diluyen hasta 100 ml con agua destilada y se añade seguidamente solución 2N de nitrato de bario o cloruro de bario hasta precipitación completa del carbonato presente, agregándose después un ligero exceso. Se separa el precipitado obtenido por filtración a través del filtro de papel de cenizas conocidas, se lava con agua destilada caliente y se transfiere a un erlenmeyer. Se añaden 50 ml aproximadamente de agua destilada y 2-3 gotas de anaranjado de metilo (solución acuosa al 2 % y se valora con solución de ClHN hasta que se obtiene una coloración débilmente rosada que persiste.

Cálculo:

1 ml de solución de ClHN equivale a 53 mg de carbonato de sodio.

APENDICE B

RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE "COBRE"

SOBRE ACERO. "REQUISITOS"

Norma Ecuatoriana INEN 1056-1984-07

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los recubrimientos de cobre aplicados sobre base de acero por vía electrolítica.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a productos de acero recubiertos de cobre, excepto en los casos siguientes:

- a) recubrimientos sobre roscas,
- b) recubrimientos sobre láminas, flejes o alambres en sus formas no elaboradas, así como sobre resortes espirales
- c) recubrimientos aplicados con fines distintos a la protección contra la corrosión.

2.2 Esta norma no especifica la condición superficial del metal base antes de la electrodeposición, el grado de rugosidad aceptable deberá determinarse de acuerdo entre las partes interesadas o en conformidad con las normas del producto vigentes.

3. TERMINOLOGIA

3.1 Superficie significativa. Es la parte de la superfi-

cie de la pieza que es esencial para la apariencia o utilidad de la misma, que debe ser recubierta o sobre la que se ha aplicado ya el recubrimiento. En caso de necesidad, la superficie significativa debe indicarse en dibujos o planos, o mediante la provisión de muestras debidamente marcadas.

4. SIMBOLOGIA

4.1 En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:

s espesor de recubrimiento (μm);

\bar{s} espesor promedio de recubrimiento (μm).

5. CLASIFICACION

5.1 De acuerdo al índice de servicio, los recubrimientos de cobre sobre acero pueden ser de los tipos 1, 2, 3 y 4.

6. REQUISITOS

6.1 Apariencia

6.1.1 El área que corresponde a la superficie significativa del artículo recubierto debe estar libre de defectos visibles, como ampolladuras, picaduras, rugosidades, rajaduras o discontinuidades en el recubrimiento.

La magnitud de las ampolladuras fuera del área significativa, que se considera todavía como aceptable, deberá establecerse por mutuo acuerdo entre las partes interesadas. En las piezas en las cuales es inevitable la presencia de una marca de contacto, la posición de la misma

también debe ser de acuerdo entre las partes. La pieza debe estar limpia y sin daños. El comprador deberá especificar la condición del brillo expresamente, por ejemplo brillante, lustroso, mate. En caso necesario, el comprador proveerá de muestras al fabricante, con el acabado requerido.

6.2 Espesor

6.2.1 Los espesores de recubrimiento de cobre sobre acero se establecen en la Tabla B.1, donde, además, se dan las abreviaturas y los índices de servicio respectivos:

TABLA B.1 Espesores de recubrimiento de cobre (s)

1	2	3
Abreviatura/recubrimiento	Espesor mínimo (μm)	Índice de servicio
Fe/el Cu 5	5	1
Fe/el Cu 15	15	2
Fe/el Cu 20	20	3
Fe/el Cu 50	50	4

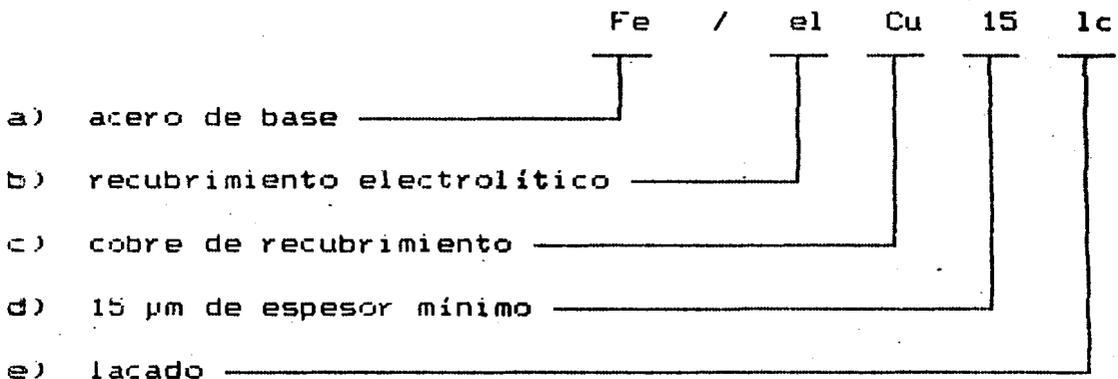
6.2.2 Los recubrimientos de cobre que se sometan en servicio a condiciones de humedad corrosiva, deberán necesariamente lacarse apropiadamente. El espesor se determinará por cualquier de los métodos normalizados para establecer el valor (s) o (S).

6.3 Abreviatura

6.3.1 La abreviatura para designar los requerimientos de cobre sobre acero consta de los siguientes símbolos:

- a) Fe, para significar acero de metal base;
- b) la abreviación (el) por "electrolítico";
- c) Cu para significar cobre de recubrimiento;
- d) el valor del espesor de recubrimiento mínimo según la Tabla B.1;
- e) otras indicaciones de tratamientos posteriores.

6.3.2 Ejemplo



6.3.3 Cuando sea posible, se puede eliminar las abreviaturas que no sean necesarias.

6.5 Adherencia

6.5.1 Los recubrimientos de cobre utilizados bajo condiciones de servicio que corresponden a índices de servicio 3 y 4 deben someterse al ensayo normalizado en la norma INEN 950, numeral 4.3. El tiempo de calentamiento será de tres horas consecutivas, antes del enfriamiento brusco. No deben presentarse ampolladuras, desprendimientos,

escamaciones o defectos similares. Los recubrimientos utilizados bajo condiciones que corresponden a los índices de servicio 1 y 2, se ensayarán de conformidad con la norma INEN 950, numeral 4.2 o numeral 4.5, previo acuerdo entre las partes interesadas. No deben presentarse escamaciones, ni defectos similares a simple vista.

APENDICE C

RECUBRIMIENTOS METALICOS Y NO ORGANICOS DETERMINACION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO POR EL METODO MICROSCOPICO

Norma Ecuatoriana INEN 601-1981-01

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar microscópicamente el espesor de recubrimientos metálicos y recubrimientos no orgánicos, en especial de óxidos, pero también de porcelana y esmaltes vitreos, especialmente sobre base metálica.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se aplica a muestras extraídas de las piezas que han recibido el recubrimiento. Pudiendo estar el corte, en principio, a cualquier ángulo respecto de la superficie significativa, esta norma limita el método a una sección perpendicular, obteniéndose, por tanto, muestras metalográficas transversales para ser ensayadas.

3. TERMINOLOGIA

3.1 Superficie significativa. Es la parte de la superficie en el artículo recubierto que es esencial a la apariencia o uso del mismo. Debe indicarse con propiedad la extensión y localización de la superficie significativa

en los dibujos o marcadas para definir las con mayor precisión.

3.2 Espesor de recubrimiento "s". Es el promedio aritmético de las mediciones efectuadas dentro de cada área de referencia.

3.3 Área de referencia. Es el área dentro de la cual debe efectuarse una determinada cantidad de mediciones. El área de referencia está ubicada en la superficie significativa y no debe ser mayor que ésta.

3.4 Recubrimiento de embutición (sustentación). Es aquella que se someten las muestras metalográficas que contienen el recubrimiento a ensayarse, con el objeto de protegerlas en las operaciones de preparación, así como para facilitar la medición de su espesor bajo el microscópio.

4. SIMBOLOGIA

4.1 En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:

d densidad

n número total de mediciones en el área de referencia

s espesor de recubrimiento (μm)

s^i espesor de recubrimiento por cada punto de medición

$i = 1, 2, 3, \dots, n(\mu\text{m})$.

5. METODO DE ENSAYO

5.1 Exactitud del método. En el mejor de los casos, este método garantiza una exactitud de $\pm 0.8 \mu\text{m}$.

5.2 Principio. En una muestra metalográfica con superficie de corte perpendicular a la superficie significativa,

se mide el espesor de recubrimiento microscópicamente en uno o varios puntos determinados.

5.3 Instrumental. Microscopio metalográfico, equipo para extraer y preparar muestras metalográficas.

5.4 Reactivos. La Tabla C.1 indica los reactivos recomendables para el ataque químico de la muestra antes de ser sometida a la observación en el microscopio, dependiendo del tipo de recubrimiento así como del metal base.

TABLA C.1 Reactivos y su aplicación

REACTIVOS	APLICACION/OBSERVACIONES
Cloruro férrico 10 g	Para depósitos de Pb o Cu en
Acido clorhídrico 2 ml	acero.
Agua destilada 95 ml	Ataca el acero.

5.5 Preparación de la muestra.

5.5.1 Las muestras se tomarán de uno o más puntos situados en la superficie significativa. El espesor de recubrimiento no deberá ser alterado durante las operaciones de corte. La cantidad de muestras y el lugar del cual deben ser extraídas (así como los puntos de medición, para el caso de que deba determinarse el espesor medio de recubrimiento o diferencias en la uniformidad del mismo) se establecerán en cada caso, de acuerdo al tipo de producto y a la importancia del mismo. Como regla general, cuanto más irregular sea la forma del objeto recubierto, tanto más muestras y puntos de medición deberán

proveerse.

5.5.2 Todas las muestras con revestimiento metálico, que deben ensayarse por este método, deberán ser provistas de un recubrimiento de embutición con un mínimo de 10 μm , a causa de la posible formación de rebaba y redondeado de las aristas al desbastar y pulir. El recubrimiento de embutición depende del tipo de revestimiento ensayado. La tabla C.2 indica alguno de los más recomendados.

TABLA C.2 Revestimientos de embutición

Revestimiento a ensayar	Revestimiento de embutición
Ag, Ni, Sn, Pb	Cobreado cianico
Cu	Ni-mate
Zn	Cr
Cd	Zn

Al aplicar el recubrimiento de embutición, es necesario observar que ciertos metales (Sn-Cu) pueden formar aleaciones entre si, sobre todo al calentarse las muestras durante el pulido o durante las operaciones de embutición. También las reacciones químicas de los decapantes pueden dar lugar a segregaciones que dificulten luego la medición (Cu para revestimientos de Zn y Cd).

5.5.3 Sujeción. Las muestras serán sujetadas por los métodos usuales para muestras metalográficas. Los sujetadores se adaptarán a la dureza del material de revestimiento, debiendo, en todo caso, ser más blandas que éste. Las muestras que no sean planas se embutirán previamente

en resinas sintéticas apropiadas para el efecto, o si el punto de fusión del revestimiento lo permite, pueden embutirse en una aleación de bajo punto de fusión.

5.5.4 Esmerilado y Pulido. Estas operaciones se llevarán a cabo por cualquiera de los métodos usuales para la preparación de muestras metalográficas, usando la menor presión posible compatible con la dureza del recubrimiento. En lo posible, se debe controlar la dirección del esmerilado, de tal modo que el avance se realice del material más duro hacia el más suave. el esmerilado deberá remover totalmente cualquier irregularidad producida durante el corte; la dirección del esmerilado se alternará a 45° y 135° respecto a la superficie significativa, cada vez que se proceda a esmerilar o pulir con un abrasivo más fino. El pulido final se efectuará a velocidad baja, no mayor a 250 RPM.

5.5.5 Durante las operaciones de esmerilado y pulido, la superficie trabajada deberá estar en lo posible normal a la superficie significativa de la muestra. Una desviación de 10° respecto a la normal producirá un error del 2 % en la medición del espesor de recubrimiento.

5.5.6 Ataque químico. Para obtener el máximo contraste entre el metal base y el recubrimiento, es recomendable someter siempre la muestra a un ataque químico mediante un reactivo apropiado, aún si el contraste obtenido luego del pulido es aparentemente suficiente. Para recubrimientos de óxido de aluminio el ataque químico no es

necesario, pero puede ser usado. La Tabla C.1 establece los reactivos utilizados en los diferentes casos.

5.6 Procedimiento de medida

5.6.1 La medición puede efectuarse ya sea por observación de la muestra en un microscopio metalográfico, usando un micrómetro ocular calibrado, o por proyección de la muestra en la pantalla del microscopio con una ampliación de determinada exactitud; el espesor se obtiene mediante medición del revestimiento y división por el factor de ampliación. La cantidad y distribución de los puntos de medida deberán decidirse en cada caso particular.

APENDICE D

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA. METODOS DE ENSAYO Norma Ecuatoriana INEN 950-1984-04

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los métodos de ensayo para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados sobre base también metálica.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a todo tipo de recubrimiento, depositado por cualquiera de los métodos usuales (inmersión en caliente, electrolíticamente, por metalizado, mecánicamente, etc.).

3. TERMINOLOGIA

3.1 La terminología aplicable a esta norma se establece en la Norma INEN 610.

4. METODO DE ENSAYO

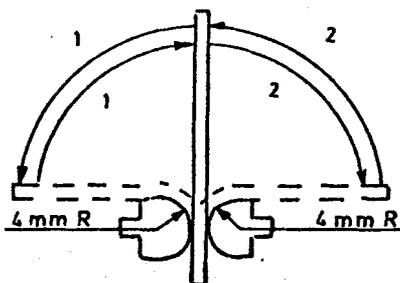
4.5 Método del doblado

4.5.1 El método consiste en doblar o deformar de alguna manera la probeta. La aparición de escamaciones denota adhesión insuficiente. El procedimiento exacto de la deformación plástica debe establecerse para cada producto en particular.

4.5.1.3 Para el ensayo de doblado de placas en láminas,

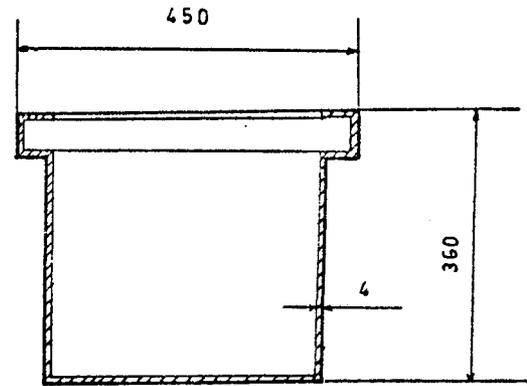
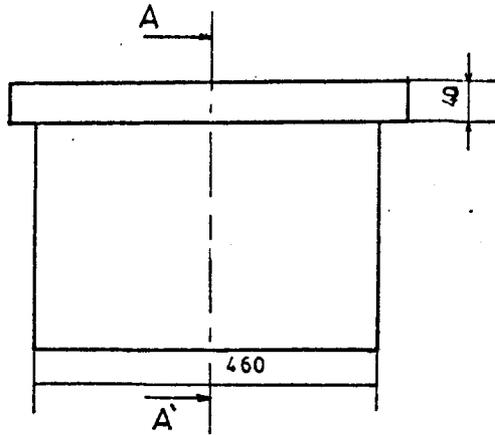
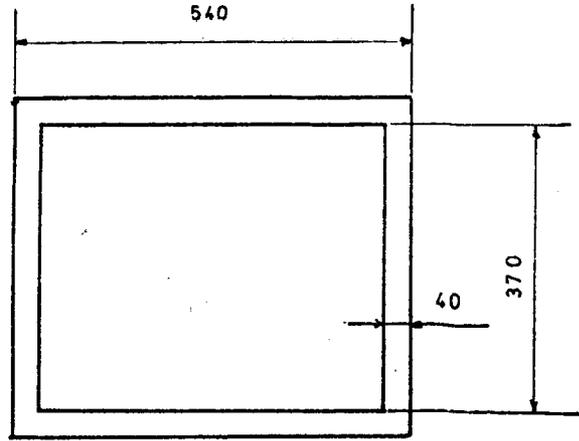
se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos como los representados en la figura D.1:

FIGURA D.1 Ensayo de doblado para láminas



El radio de los mandriles es de 4mm. Se dobla la lámina 90° alternativamente sobre los dos mandriles, por un número de veces que debe especificarse para cada recubrimiento en la aplicación particular. El método tiene aplicación principalmente para láminas delgadas con recubrimientos de oro, plata, bronce o cobre.

APENDICE "E"



CORTE A-A'

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE ING. MECANICA	ESPOL
DIBUJO	1,2,89	PACHUCHO		
REVISO	2,2,89	NEIRA		
COMPR.	3,2,89	ING.VITERI		
E 1:10	CUBA ELECTROLITICA		FIBRA DE VIDRIO	

TABLA VI

CONSTANTES QUIMICA Y ELECTROQUIMICA DE LOS METALES

Nombre	Símbolo	Peso atómico	Densidad	Valencia	Equivalente químico	Gramos por amp-h depositados con un rendimiento del 100 %
Cobre (cianuro)	Cu	63.6	8.93	1	63.6	2.3716
Oro (cianuro)	Au	197.2	19.3	1	197.2	7.3569
Plata	Ag	107.9	10.5	1	107.9	4.0274
Cadmio	Cd	112.4	8.65	2	56.2	2.0968
Cobalto	Co	58.9	8.9	2	29.5	1.0094
Cobre (sulfato)	Cu	63.6	8.93	2	31.8	1.1858
Hierro (sulfato)	Fe	55.8	7.9	2	27.9	1.0420
Plomo	Pb	207.2	11.35	2	103.6	3.8654
Níquel	Ni	58.7	8.9	2	29.3	1.0948
Estaño (cloruro)	Sn	118.7	7.3	2	59.4	2.2142
Estaño (sulfato)	Sn	118.7	7.3	2	59.4	2.2142
Cinc (cianuro)	Zn	65.4	7.14	2	32.7	1.2210
Cinc (sulfato)	Zn	65.4	7.14	2	32.7	1.2210
Oro (cloruro)	Au	197.2	19.3	3	65.7	2.4523
Hierro (cloruro)	Fe	55.8	7.9	3	18.6	0.6946
Rodio	Rh	102.9	12.4	3	34.3	1.2797
Estaño (estannato)	Sn	118.7	7.3	4	29.7	1.1071
Cromo	Cr	52.0	7.1	6	8.7	0.3234

TABLA VII

POTENCIALES NORMALES DE REDUCCION (25 °C, H₂)

REACCION	POTENCIAL, E _o (voltios)		
Au ⁺³ + 3 e = Au	+ 1.402	Catódico	
O ₂ + 4 H ⁺ + 4 e = 2H ₂ O	+ 1.229		
Pt ⁺² + 2 e = Pt	+ 1.2		
Pd ⁺² + 2 e = Pd	+ 0.987		
Ag ⁺ + e = Ag	+ 0.799		
Hg ₂ ⁺² + 2 e = 2Hg	+ 0.788		
Hg ₂ ⁺² + 2 e = 2Hg	+ 0.771		
Fe ⁺³ + e = Fe ⁺²	+ 0.401		
O ₂ + 2H ₂ O + 4e = 4 OH	+ 0.337		
Cu ⁺² + 2e = Cu	+ 0.337		
Sn ⁺² + 2e = Sn ⁺²	+ 0.15		
2H ⁺ + 2e = H ₂	0.000	Referencia	
Pb ⁺² + 2e = Pb	- 0.126		
Sn ⁺² + 2e = Sn	- 0.136		
Ni ⁺² + 2e = Ni	- 0.250		
Co ⁺² + 2e = Co	- 0.277		
Cd ⁺² + 2e = Cd	- 0.403		
Fe ⁺² + 2e = Fe	- 0.440		
Cr ⁺³ + 3e = Cr	- 0.744		
Zn ⁺² + 2e = Zn	- 0.763		
Al ⁺³ + 3e = Al	- 1.662		
Mg ⁺² + 2e = Mg	- 2.363		
Na ⁺ + e = Na	- 2.714		
K ⁺ + e = K	- 2.925		Anódico

TABLA VIII

ORIGEN DE LAS SOCIEDADES SUPERFICIALES

ORIGEN	SOCIEDADES EVENTUALES
Fundición	Arenas, escorias
Laminado, forja	Calaminas diversas
Trefilado	Aceites, grasas, metales diversos
Embutido, corte	Aceites, grasas
Taladrado, torneado, fresa- do, soldadura	Aceites, grasas, virutas, polvos metálicos, grasas pirogenadas, fundentes, etc
Tratamientos térmicos	Sales metálicas, óxidos, etc
Moldeado	Polvos abrasivos
Tratamientos en caliente: Estampado, matrizado, etc	Oxidos, grasas quemadas o pirogenadas, etc
Manipulación	Manchas diversas
Almacenamiento	Grasas, aceites, óxidos, etc

BIBLIOGRAFIA

1. BALAÑA Juan, Iniciación a la Práctica Galvánica, CEDEL Barcelona, 1970.
2. BLUM William y HOGABOOM George, Galvanotecnia y Galvanoplastia, Continental, México, 1984, 5ª impresión.
3. BOS Hector, Galvanotecnia Teoria y Práctica, Alsina, Buenos Aires, 1980, 1ª Edición.
4. CANDELL Reinaldo, Galvanostegia, Sintet S.A., Barcelona, 1981, 3ª Edición.
5. GLAYMAN J. y FARKAS G., Galvanotecnia Técnica y Procedimientos, CEDEL, Barcelona, 1980, 2ª Edición.
6. JULVE Enrique, Recubrimientos Electrolíticos Brillantes, CEDEL, Barcelona, 1963, 1ª Edición.
7. JULVE Enrique, Control de Calidad en la Electrodeposición de Metales, CEDEL, Barcelona, 1982.
8. PEÑAFIEL Eugenio, Tesis de Grado: Galvanización Preparación de Superficies, ESPOL, Guayaquil, 1983.
9. PILA J. y ROMAN J., Acumuladores o Elementos Galvánicos Galvanotecnia, LABOR, Barcelona, 1968, Tomo VIII, 2ª Edición.