

T
671.73
LOP
c.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Proceso de Deposición Electrolytica del Oro en Conectores Electrónicos”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:



INGENIERO MECÁNICO



D-33723

Presentada por:

Jaime Fernando/López Muñoz

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005



CIB-ESPOL

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo, en especial a mis padres y a mi esposa por su perseverancia además al Dr. Rodrigo Vintimilla y al Ing. Julián Peña, por su grandiosa ayuda para concluir con este objetivo que me planteé.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

DEDICATORIA

A MI ABUELITA



CIB-ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS



CIB-ESPOL

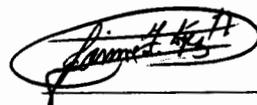
Ing. Andrés Rigai C.
VOCAL PRINCIPAL

Ing. Omar Serrano V.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, enclosed in an oval shape. The signature appears to read "Jaime F. López M." with some stylized flourishes.

Jaime F. López M.

RESUMEN

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

La plata por su buena resistencia a la corrosión, es muy usada en electrónica, su uso depende de la calidad y tiempo de servicio que cumplirá cierto elemento, ya que puede ser sustituido si los requerimientos del recubrimiento no son de mucha importancia.

El recubrimiento de silicio es también aplicado en chips por poseer una buena resistencia a elevadas temperaturas, aunque este necesita de elementos aleantes, por lo cuál en muchas ocasiones se sustituye por el estaño que es otro elemento que cumple con su aplicación y es más económico debido a que el proceso de fabricación del elemento es menos amplio.

El recubrimiento de oro es una aplicación poco usual en la electrónica debido a su elevado costo, pero lo hace muy indispensable sus excelentes características conductivas.



CIB-ESPOL

Los conectores recubiertos de oro otorgan buenas características en las juntas ya que este recubrimiento las hace duraderas y aseguran una buena adherencia al momento de realizar la conexión.

El presente proyecto, se basa en la implementación de un proceso de recubrimiento electrolítico de oro para dispositivos conectores de circuitos electrónicos que son empleados en condiciones de operación donde se presentan elevadas temperaturas, niveles significativos de corrosión, desgaste por contacto y se necesita de buena conducción.



CIB-ESPOL

El primer paso será, realizar un análisis de los diversos recubrimientos que se aplican en la electrónica y se procederá a seleccionar el recubrimiento más propicio para la aplicación en conectores.

En el capítulo II, se expondrán los métodos para obtener los mejores beneficios en cuanto al proceso de recubrimiento, obteniendo espesores óptimos con un consumo aceptable del metal depositado, entregando la mayor eficiencia al proceso de recubrimiento.



CIB-ESPOL

Se realizarán pruebas con distintas concentraciones de baños, en donde se modificarán ciertas variables a utilizar como es el caso de la densidad de corriente, el pH, el tiempo, y se procederá a obtener tablas donde se hallará

el mejor proceso y entregar una mayor eficiencia al recubrimiento, y se darán los comentarios respectivos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. SELECCION DEL TIPO DE RECUBRIMIENTO PARA APLICACIÓN EN CONECTORES ELECTRONICOS.....	5
1.1 Estudio de Recubrimientos Aplicados en Electrónica.....	5
1.2 Características del Metal Base.....	13
1.3 Proceso de Selección del Recubrimiento.....	25
1.3.1 Análisis de los Diversos Recubrimientos.....	25
1.3.2 Toma de Decisión.....	33
1.4 Tipos de Baños del Recubrimiento Seleccionado.....	37
1.5 Características del Baño Seleccionado.....	50
1.6 Variables a Manejar en el Proceso.....	56

CAPITULO 2

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO

.....	61
2.1 Metodología del Proceso para Realizar el Recubrimiento.....	61
2.1.1 Preparación Superficial de la Probeta.....	66
2.1.2 Proceso de Deposición.....	78
2.1.3 Post Proceso.....	85
2.2 Equipos Empleados.....	86
2.3 Cálculos para el Proceso de Dorado.....	94
2.4 Control de Variables.....	99
2.4.1 Control de Temperatura.....	99
2.4.2 Densidad de Corriente.....	100
2.4.3 Concentración de Baño.....	101
2.4.4 Tiempo de Inmersión.....	102
2.4.5 Agitación.....	103
2.5 Espesor Óptimo del Recubrimiento.....	104

CAPITULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	119
3.1 Análisis de Aceptación del Recubrimiento.....	119
3.2 Prueba de Resistencia a la Corrosión.....	144

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

A (dm ²)	Área
Au	Oro
Cu	Cobre
d (gr/cm ³)	Densidad
I (Amp)	Corriente
i (Amp/dm ²)	Densidad de corriente
m (gr)	Masa
W (gr)	Peso
e (µm)	Espesor
T (°C)	Temperatura
t (min, seg)	Tiempo
V (Voltios)	Voltaje
pH	Potencial de Hidrógeno
E	Equivalente Electroquímico
n	Valencia
pa	Peso Atómico
η	Eficiencia
F	Constante de Faraday
l (mm)	Longitud de probeta
a (mm)	Ancho de probeta
e (mm)	Espesor de la probeta
d.a.c. (mm)	Distancia ánodo cátodo
gr	Gramos
Amp	Amperios
dm ²	Decímetro cuadrado
min	Minutos
seg	Segundos
µm	Micras
V	Voltios
cm ³	Centímetro cúbico
°C	Grados centígrados
mm	Milímetros

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
FIGURA 1.1	Tabla de Pourbaix para el Oro.....	7
FIGURA 1.2	Aplicaciones de Dorado en la Industria.....	8
FIGURA 1.3	Aplicaciones De Dorado En Conectores.....	9
FIGURA 1.4	Potenciales de Fuerza Electromotriz.....	10
FIGURA 1.5	Tabla de Pourbaix para la Plata.....	11
FIGURA 1.6	Metalografía Del Cobre C11000 (400x).....	15
FIGURA 1.7	Dorado En Tarjetas Impresas.....	27
FIGURA 1.8	Proceso Para Recubrimiento De Plata.....	33
FIGURA 1.9	Filtración de Agua Regia con Oro Disuelto.....	55
FIGURA 2.1	Diagrama Morfológico Para La Metodología Del Proceso De Recubrimiento.....	62
FIGURA 2.2	Esquema Metodológico Del Proceso De Dorado.....	65
FIGURA 2.3	Preproceso De Probetas Después De Lija 80.....	68
FIGURA 2.4	Preproceso De Probetas Después De Lija 180.....	68
FIGURA 2.5	Preproceso De Probetas Después De Lija 360.....	69
FIGURA 2.6	Preproceso De Probetas Después De Lija 1200.....	69
FIGURA 2.7	Pulido De Probeta Con Disco De Cerda.....	70
FIGURA 2.8	Pulido De Probeta Con Disco De Paño.....	71
FIGURA 2.9	Proceso Pulido Electrolítico.....	72
FIGURA 2.10	Microfotografía de Proceso de Pulido Electrolítico.....	73
FIGURA 2.11	Microfotografía de un Segundo Proceso de Pulido Electrolítico.....	74
FIGURA 2.12	Esquema Morfológico de la Preparación Superficial de las Probetas.....	78
FIGURA 2.13	Proceso De Dorado.....	80
FIGURA 2.14	Cubas Para Realizar Proceso Electrolítico de Oro.....	89
FIGURA 2.15	Soporte Para Realizar Proceso Electrolítico de Oro.....	90
FIGURA 2.16	Ánodos Insolubles de Acero Inoxidable.....	91
FIGURA 2.17	Primer Rectificador de Corriente.....	93
FIGURA 2.18	Segundo Rectificador de Corriente.....	93
FIGURA 3.1	Método de Pruebas para Medición de Brillo según la Norma DIN 50960.....	123
FIGURA 3.2	Ensayo De Brillo Para Probeta Nº 1.....	124
FIGURA 3.3	Ensayo De Brillo Para Probeta Nº 2.....	125
FIGURA 3.4	Ensayo De Brillo Para Probeta Nº 3.....	126
FIGURA 3.5	Ensayo De Brillo Para Probeta Nº 4.....	127
FIGURA 3.6	Ensayo De Brillo Para Probeta Nº 5.....	128

FIGURA 3.7	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 6	129
FIGURA 3.8	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 7	130
FIGURA 3.9	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 8	131
FIGURA 3.10	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 9	132
FIGURA 3.11	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 10	133
FIGURA 3.12	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 11	134
FIGURA 3.13	Ensayo De Brillo Para Probeta N° 12	135
FIGURA 3.14	Ensayo de Adherencia de Recubrimiento	142
FIGURA 3.15	Ensayo de Corrosión en Ambiente Salino	145
FIGURA 3.16	Muestra Inicial de Metal Base	146
FIGURA 3.17	Muestra Inicial de Probeta Galvanizada	147
FIGURA 3.18	Muestra Inicial de Segunda Probeta Galvanizada	147
FIGURA 3.19	Ingreso de Probetas en Ambiente Salino	151
FIGURA 3.20	Probetas de Material Base Después de Primer Día de Exposición	152
FIGURA 3.21	Probeta Galvanizada Después de Primer Día de Exposición	152
FIGURA 3.22	Sexto Día de Exposición de Probetas Recubiertas	153
FIGURA 3.23	Corrosión en Probetas Galvanizadas	154
FIGURA 3.24	Quinto Día de Exposición de Segunda Probeta Galvanizada	154
FIGURA 3.25	Último Día de Exposición de Probetas	155
FIGURA 3.26	Último Día de Exposición de Probeta Galvanizada	155



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA I	Propiedades Físicas del Cobre C11000 16
TABLA II	Propiedades Físicas Del Bronce C66400 22
TABLA III	Ventajas Y Desventajas De Los Recubrimientos de Oro con Respecto a Otros Metales 36
TABLA IV	Pureza De Los Depósitos De Oro 38
TABLA V	Grado De Dureza De Los Depósitos 39
TABLA VI	Relación Entre Dureza Y Pureza 39
TABLA VII	Fórmulas Para Baños Cianurados Calientes 41
TABLA VIII	Baños Neutrales 45
TABLA IX	Composición De Los Baños Ácidos 46
TABLA X	Concentración De Un Segundo Baño Ácido 47
TABLA XI	Composición De Un Tercer Baño Ácido 48
TABLA XII	Características Del Baño Seleccionado 51
TABLA XIII	Solución Para Pulido Con Abrillantamiento 77
TABLA XIV	Variables Aplicadas para cada Probeta 105
TABLA XV	Análisis Espesor vs. Distancia Ánodo / Cátodo 107
TABLA XVI	Análisis Espesor vs. Tiempo 108
TABLA XVII	Análisis Espesor vs. Voltaje 109
TABLA XVIII	Análisis Espesor vs. Corriente 110
TABLA XIX	Análisis Espesor vs. Densidad de Corriente 111
TABLA XX	Análisis Peso vs. Distancia Ánodo / Cátodo 112
TABLA XXI	Análisis Peso vs. Tiempo 113
TABLA XXII	Análisis Peso vs. Voltaje 114
TABLA XXIII	Análisis Peso vs. Corriente 115
TABLA XXIV	Análisis Peso vs. Densidad de Corriente 116
TABLA XXV	Resultados de Ensayo de adherencia 143
TABLA XXVI	Resultados de Ensayo de Corrosión 148

INTRODUCCION

Desde la llegada de los metales para su aplicación en la industria se han ido desarrollando ingeniosos métodos para mejorar las propiedades de los materiales y hacerlas más adecuadas para cada aplicación.

Debido a este auge de ideas, se originaron los recubrimientos que son metales que poseen muy buenas características mecánicas, eléctricas, etc. que a su vez no pueden ser aplicadas completamente como material debido a su costo.

A principios del siglo XVIII se desarrollaron las técnicas de recubrimiento y debido a la llegada de la electrónica, tuvieron que incrementarse más aún los estudios de los materiales apropiados para dicha aplicación, por la cuál fueron empleados los metales más nobles.

Se crearon muchas técnicas como son: el chapado, el recubrimiento electrolítico, electroless, las cuales se han ido mejorando para obtener los mayores beneficios en cuanto al proceso.

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

El oro, la plata, el platino son materiales considerados nobles ya que poseen una excelente resistencia a la corrosión, además de poseer otras varias características, que son indispensables para la aplicación en la electrónica.

En los últimos 150 años, los procesos para recubrir oro han cambiado tanto que la misma patente de Elkington a la fecha ha desarrollado ya cerca de 300 diversas modificaciones en los Estados Unidos y cerca de 100 en Europa.

La aplicación del recubrimiento de oro puede ser depositada en metales puros y aleaciones, sirve para muchas funciones útiles en dispositivos electrónicos: protección contra la corrosión, barreras de difusión, elementos del circuito conductivos, semiconductor de circuitos integrados, conexiones a través de agujero para alambrados de tarjetas impresas y circuitos flexibles. Recubrimiento de oro se usan para fabricar dispositivos pasivos en superficies dieléctricas como en resistores, condensadores, e inductores y para mejorar la conductibilidad en circuitos metálicos que usan conductores de película gruesa o láminas en sustratos cerámicos como molibdeno, el tungsteno y otros materiales similares.

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

La aplicación de recubrimientos de oro en conectores electrónicos es extensa por cuanto la calidad de recepción de la señal depende de la capacidad de conducción del material. Existen gran cantidad de materiales que se usan para esta aplicación como metal base, de acuerdo a las necesidades del equipo.

El proceso desarrollado para nuestro trabajo será la aplicación del recubrimiento de oro sobre un material base que puede ser un cobre o aleación de cobre, materiales utilizados para conectores podemos encontrar como referencia en el HANDBOOK ASM TOMO 2, y para el método de recubrimiento a aplicar se tomó referencia del HANDBOOK ASM TOMO 5.

Para realizar los ensayos respectivos de calidad del proceso fueron aplicadas las normas INEN ecuatorianas, norma DIN, y estándares de norma ASTM en

la que se determina a más de otras pruebas las de mayor importancia como, la calidad de adherencia, la resistencia a la corrosión, etc.



CAPÍTULO 1

1. SELECCIÓN DEL TIPO DE RECUBRIMIENTO PARA APLICACIÓN EN CONECTORES ELECTRÓNICOS



1.1 Estudio de Recubrimientos Aplicados en Electrónica

El mundo de la electrónica ha tomado forma desde hace ya unas dos décadas en donde las más grandes empresas han explotado todos los recursos para producir hasta el más simple de los equipos con elementos electrónicos para una mayor comodidad de uso de quienes las adquieren.

Con la finalidad de utilizar los mejores materiales y proporcionar el mejor servicio para competir, se han desarrollado técnicas que han sido aplicadas para reducir los costos, estas técnicas denominadas recubrimientos son en gran parte las que otorgan las mayores ventajas al elemento del equipo, en la aplicación de electrónica y



electricidad se usan varios materiales de recubrimiento, pero para aplicar recubrimientos a partes electrónicas con una complejidad mayor se usan únicamente los recubrimientos de oro y de plata, debido a que estos pueden proporcionar muchos beneficios juntos y son los únicos que tras varias pruebas y ensayos han sido seleccionados para brindar estos servicios.

Recubrimiento de Oro

El oro es un metal noble de color amarillo ya conocido desde la antigüedad, tiene una alta resistencia a la corrosión. No es atacado por la atmósfera, álcalis, soluciones salinas, por la mayoría de ácidos (con excepción del ácido clorhídrico activado con oxidantes como, por ejemplo, ácido nítrico-agua regia) y por el agua, un esquema de porque sucede esto podemos apreciar en la figura 1.1. La resistencia al desgaste mecánico es muy pequeña.

Descubierta en el año 1840 por H. Elkington la primera patente para la obtención de recubrimientos de oro, a partir de soluciones cianhídricas. El dorado fue inicialmente empleado en la confección de joyas y objetos de adornos.

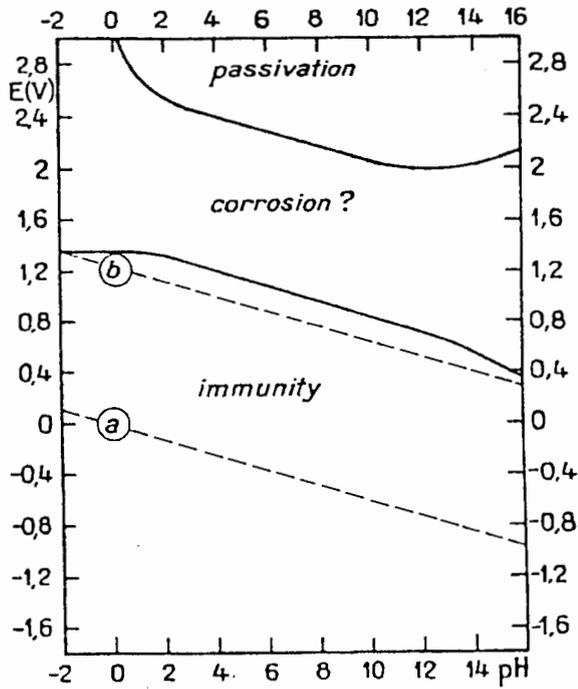


FIGURA 1.1 TABLA DE POURBAIX PARA EL ORO

FUENTE: ATLAS OF ELECTROCHEMICAL EQUILIBRIA

Otro campo de aplicación ocurrió en la industria de relojes. El desenvolvimiento de la moderna industria de la comunicación, de la aviación y cohetes no sería posible sin la utilización de finas deposiciones de oro. Con los innumerables problemas que surgirían, existe una sensible mejora de los procesos de dorado. Hoy es posible depositar baños de oro con propiedades definidas y espesores de hasta 1mm.

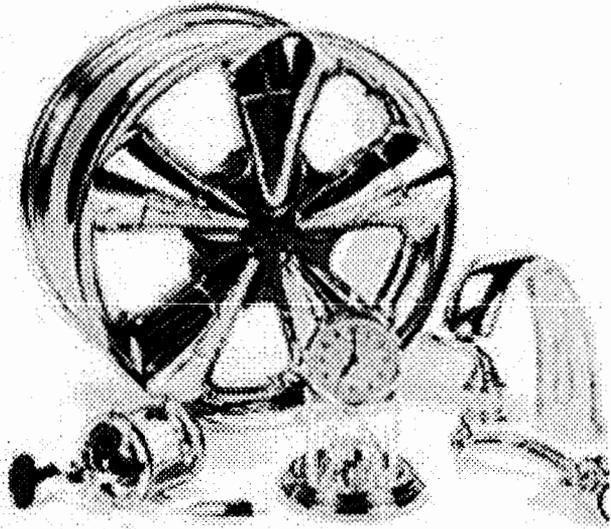


FIGURA 1.2 APLICACIONES DE DORADO EN LA INDUSTRIA

Los recubrimientos en la industria electrónica son diversos y especializados. Estas industrias escogen los baños de oro para máxima eficiencia y mínimo costo. Tienen una gran variedad de fases de equipos y químicos para minimizar el uso del oro y aún así producir partes satisfactorias. Los baños son bien desarrollados para que sea posible usar una pequeña parte de oro por galón. Los equipos son diseñados para usar en tanques la mínima cantidad de solución. Y los equipos, químicamente y en condiciones de baño tienen un diseño que entrega la menor variación de espesores de oro por cada parte. Todo esto hace que sea posible un recubrimiento más rápido.

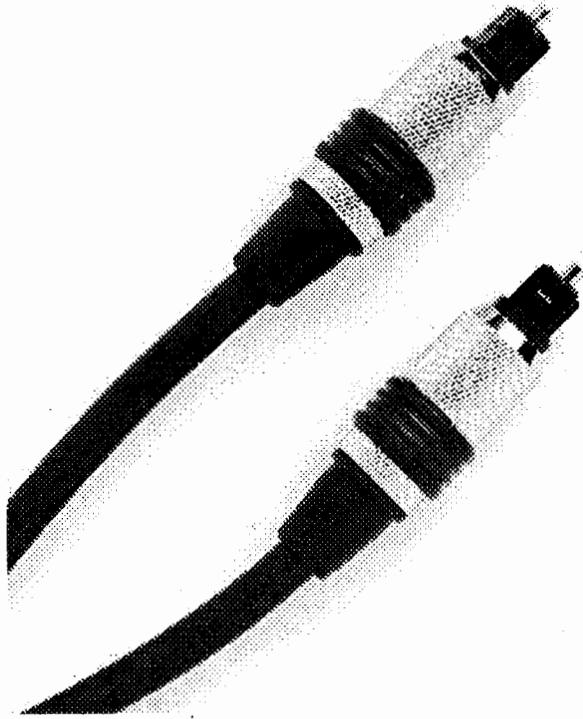


FIGURA 1.3 APLICACIONES DE DORADO EN CONECTORES

	Reaction	Standard Potential, e^0 (volts vs. SHE)
Noble	$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}$	+1.498
	$\text{Cl}_2 + 2e^- = 2\text{Cl}$	+1.358
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- = 2\text{H}_2\text{O}$ (pH 0)	+1.229
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- = \text{Pt}$	+1.2
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$ (pH 7) ^a	+0.82
	$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}$	+0.799
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	+0.788
	$\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$ (pH 14)	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$	+0.337
	$\text{Sn}^{4+} + 2e^- = \text{Sn}^{2+}$	+0.15
	$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- = \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}$	-0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	-0.763
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.828	
$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	-1.662	
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	-2.363	
$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$	-2.714	
Active	$\text{K}^+ + e^- = \text{K}$	-2.925

^aNot a standard state but included for reference.

Source: A. J. deBethune and N. S. Loud, Standard Electrode Potentials and Temperature Coefficients at 25°C, Clifford A. Hampel, Skokie, Ill., 1964.

FIGURA 1.4 POTENCIALES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ

FUENTE: PRINCIPLES AND PREVENTION OF CORROSION (PAG.43)

Recubrimiento de Plata

La plata es el metal más utilizado. A los metales nobles pertenecen la plata, el oro y los metales de serie del platino, rutenio, rodio, paladio, osmio e iridio. Algunos autores también clasifican el mercurio y el renio como metales nobles.

Los metales nobles tienen una posición especial entre los metales, la cual consiste en una gran resistencia química. Ellos no se oxidan cuando son expuestos a la atmósfera, no obstante una formación de una fina película oxidante sobre su superficie.

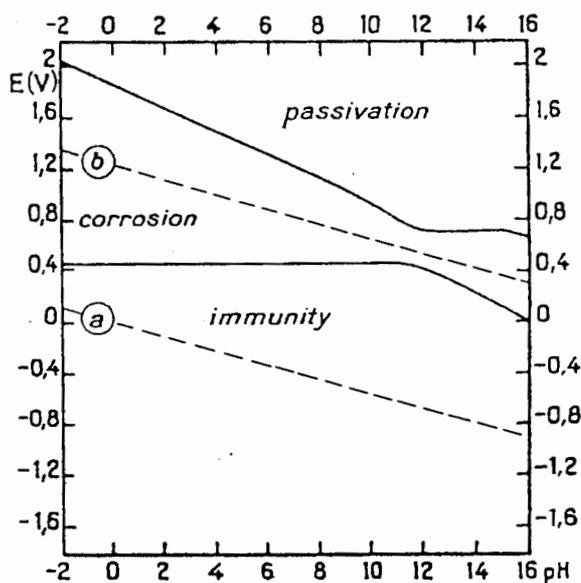


FIGURA 1.5 TABLA DE POURBAIX PARA LA PLATA

FUENTE: ATLAS OF ELECTROCHEMICAL EQUILIBRIA

La única excepción de la plata es que tiene una afinidad con el azufre y sus combinaciones.

Debido a sus excelentes propiedades químicas y técnicas y debido a su rara aparición, los metales nobles tienen un alto valor comercial.

Últimamente, diversos metales nobles ganaron mayor significancia en la electrónica. Sobre todo la plata, usado con bastante frecuencia, debido a sus buenas propiedades eléctricas. Este también es empleado en la industria química para la fabricación de aparatos de medida de alta precisión. El alto precio de los metales nobles obliga a ser deposiciones de finas recubrimientos sobre otros metales. Por eso, la fabricación de recubrimientos de metales nobles tiene gran significado.

La utilización de baños galvánicos de plata en la técnica moderna es muy variable. Por el lado de la industria de utensilios de cocina y el lado de fabricación de recipientes de plata, se encuentran, aún, los recubrimientos de plata en la electrotécnica, en la electrónica, en el sector aeroespacial, en la construcción de reactores atómicos, en la fabricación de rodamientos deslizantes para

motores de gran potencia, en la fabricación de aparatos químicos y en muchos otros sectores. El plateado consiste en uno de los más antiguos procesos galvánicos conocidos.

1.2 Características del Metal Base

El metal base que se ajusta a las necesidades de este tipo de aplicación es el cobre y sus diferentes aleaciones debido a las características que posee:

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

En la actualidad existen varios tipos de materiales aplicados en la electrónica. Para los conectores y contactores se puede encontrar como materiales el cobre y aleaciones de cobre, los broncees generalmente por la dureza que tienen a diferencia del cobre puro

son utilizados en conectores externos debido a la manipulación que se encuentran sometidos.

Para el caso a estudiar, se pueden aplicar siguiendo como referencia la norma del HANDBOOK ASM Tomo 2 distintos materiales como son:

Cobre Electrolítico C11000

El tipo de cobre que se usa para los conectores en chips es comúnmente el cobre electrolítico C11000 que es un cobre de máxima conductividad, ya que la propiedad más importante que debemos tener en cuenta en el elemento es la capacidad conductiva del material y por tener la cualidad de ser un cobre ya estudiado y recomendado por sus buenas cualidades otorgadas en la electrónica y contactos eléctricos.

El cobre C11000 es un material casi puro, sus concentraciones son de 99.95% Cu y 0.04 O.



FIGURA 1.6 METALOGRAFÍA DEL COBRE C11000 (400 X)

FUENTE: METAL HANDBOOK ASN VOL.7

Nombre Común: cobre electrolítico duro

Designación: ETP (Electrolitic tough pith copper)

TABLA I

PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE C11000

	UNIDADES
Temp. de fusión	1083 °C
Densidad	8.89 gm/cm @ 20°C
Gravedad específica	8.94
Coefficiente de expansión térmica	0.0000173 por °C (20-300°C)
Conductividad térmica	0.934 cal/cm ² /cm/sec/°C @ 20°C
Resistividad eléctrica	1.71 microhm - cm @ 20°C
Conductividad eléctrica	586 megaohm-cm @ 20°C
Calor específico	0.092 cal/gm/°C @ 20°C
Módulo de elasticidad	12,100 Kg./ mm ²
Módulo de rigidez	4500 Kg./ mm ²
Temperatura de templado	375-650°C

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL.2

Especificaciones:

ASM: cinta y lámina: 4500 alambre: 4701

ASME: platos de locomotora: SB11

Vara para locomotoras: SB12

ASTM: Conductores para equipos electrónicos: B286, B470

Composición química:

El composición límite: 99.90 min. Cu (plata contenida como cobre).

Consecuencias por exceso de impurezas del límite:



Características Mecánica

Plata: Tiene un pequeño efecto en las propiedades mecánicas y eléctricas, pero al efectuar un aumento a la temperatura de recristalización este tiende a producir un cobre de grano fino.

Hierro: Está presente en el cobre comercial, no tiene efectos en las propiedades mecánicas, pero algunas porciones de hierro pueden producir en el C11000 que sea ligeramente ferromagnético.

Azufre: El azufre debe mantenerse por debajo de 0.003% en la práctica ordinaria.

Arsénico: El arsénico disminuye la conductividad notoriamente, aunque sí se agrega a menudo al cobre cuando no va a tener usos eléctricos porque aumenta la dureza y la resistencia a la temperatura del metal.



Antimonio: Este elemento también se disuelve bastante en el cobre sólido y tiene una zona de solidificación aún más amplia que en el caso del arsénico, y pequeñas cantidades de antimonio son tan eficaces como el arsénico para fortalecer el cobre a 250°C.

Bismuto: Este elemento posee un efecto más perjudicial sobre el cobre, pues a cantidades superiores a 0.001% lo hace frágil, particularmente a elevadas temperaturas. Esto se debe a que, en estado sólido son muy poco solubles y forman un eutéctico que contiene un 0.2% de cobre, con un punto de fusión inferior en más de un grado al del bismuto.

Plomo: Este debido a su bajo punto de fusión, se licua en el cobre a todas las temperaturas superiores a su punto de fusión, 327°C, y hace que se forme un eutéctico con menos de un 0.1% de cobre, que tiene un punto de fusión un grado por debajo del plomo, no debe estar presente en montos mayores que 0.005 % si el cobre va a ser rodado en caliente.

Cadmio: El cadmio eleva la temperatura a la cual el cobre se recristaliza, y además hace más tenaz el material y aumenta su resistencia a la fatiga, sin mucha pérdida de la conductividad.

Selenio y Teluro: Lo mismo que el azufre, son consideradas usualmente impurezas indeseables, forman compuestos estables que son solubles en el cobre sólido y aparecen en pequeñas partículas bien distribuidas en la matriz que permiten al momento de procesar el material se rompa fácilmente la viruta al realizar el corte del metal.

Resistencia a la Temperatura

El cobre aleado puede llegar a soportar altas temperaturas sin cambiar sus propiedades tanto mecánicas como conductivas, el arsénico es una de las tantas impurezas del cobre la cuál permite al cobre llegar a temperaturas de hasta 300°C sin disminuir sensiblemente su ductilidad, el cadmio es otro elemento que realiza un trabajo favorable para el cobre, este eleva la temperatura a la cuál el cobre se recristaliza permitiendo llegar a mayores temperaturas sin afectar la estructura. El cromo es un material que aleado con el cobre permite utilizar el material a elevadas temperaturas sin peligro de ablandamiento.

Propiedades Conductivas

La importancia de la aplicación de este material es por su uso en conductores electrónicos, los elementos aleantes que se encuentran en el cobre como impurezas producen varios cambios en las propiedades conductivas del cobre, por lo cuál hay que tener en cuenta cuales son los que repercuten y favorecen al cobre en la conducción, para poder eliminar en porcentajes los elementos no deseados, el arsénico es un elemento que entra en cantidades de 0.30% y un 0.50% al cobre y este disminuye notablemente la conductividad eléctrica, el antimonio es también un material que disminuye la conductividad pero si quiera en la mitad de lo que repercute el arsénico, el bismuto es otro que disminuye notablemente la conductividad eléctrica del cobre.

Los materiales que otorgan buena conductividad al cobre son el cadmio que con un 0.08%-0.1% puede otorgar un 89% de conductividad, y el telurio que se obtiene generalmente con la variedad desoxidada y su conductividad eléctrica es superior al 90%.

Bronce C66400

Este tipo de bronce C66400, es un bronce que por su composición es utilizada en los terminales de contactos y por ende cumple con los requerimientos de un conector, ya que por encontrarse sometido a una manipulación constante, debemos tener en cuenta la resistencia mecánica de dicho material.

El bronce C66400 es un material con un alto contenido de Cu, y otros elementos que le otorgan ciertas ventajas para dicha aplicación.

Nombre Común: COBRON

Composición química:

La composición límite: 1.3 a 1.7 de Fe, 0.3 a 0.7 de Co, 11.0 a 12.0 de Zn, 0.05 máx. de Sn, 0.05 máx. de Ni, 0.05 máx. de Al, 0.05 máx. de Mn, 0.05 máx. de Si, 0.05 máx. de Ag, 0.02 máx. de P, 0.015 máx. de Pb, restante es Cu.

TABLA II

PROPIEDADES FISICAS DEL BRONCE C66400

	UNIDADES
Temp. de fusión	1055 C (1930 F)
Densidad	8.74 mg/m ³ a 20 C
Conductividad térmica	116 W/m K (67 BTU/ft*hr*F)
Resistividad eléctrica	57.5 nΩ*m a 20 C
Conductividad eléctrica	30% IACS a 20 F
Módulo de elasticidad	11.5 GPa (16.3*10 ⁶ PSI)

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM TOMO 2

NOTA: el Fe+Co contiene alrededor de 1.8 a 2.0 (total).

Consecuencias por exceso de impurezas del límite:

Características Mecánica

Hierro (Fe): No tiene un gran impacto, pero en pequeñas cantidades en el bronce puede hacerlo ligeramente ferromagnético.

Plata (Ag): Tiene un pequeño efecto en las propiedades mecánicas y eléctricas, pero al efectuar un aumento a la temperatura de recristalización éste tiende a producir finos granos de cobre.

Antimonio (Sn): Este elemento también se disuelve bastante en el cobre sólido y tiene una zona de solidificación aún más amplia que en el caso del arsénico, y pequeñas cantidades de antimonio son tan eficaces como el arsénico para fortalecer el cobre a 250°C.

Plomo (Pb): Este debido a su bajo punto de fusión, se licua en el cobre a todas las temperaturas superiores a su punto de fusión, 327°C, y hace que se forme un eutéctico con menos de un 0.1% de cobre, que tiene un punto de fusión un grado por debajo del plomo.

Propiedades Conductivas

La importancia de la aplicación de este material es por su uso en conectores electrónicos, el antimonio es un material que disminuye la conductividad del cobre.

Aplicaciones: Usos típicos: Arandelas, switch de paleta, sujetador de fusibles, contactos, enchufe de contacto de terminales conectores, y partes similares hacia ensamblajes electrónicos y electromecánicos.

Material Utilizado Para el Ensayo Latón 7030

Debido a que la meta de este proyecto es encontrar los mayores beneficios del proceso de recubrimiento, únicamente se procederá a ensayar al recubrimiento como tal, para lo cual se usará como material base un metal que exista en el mercado y tenga una fabricación con la forma mas adecuada para poder realizar dichos ensayos al recubrimiento.

El metal base que se aplicará será el LATON 7030, por la facilidad de encontrarlo en el mercado en forma de plancha y poseer una buena cantidad del Cu y Zn que son los elemento de mayor proporción en el tipo de material utilizado como conector según norma, hablamos del bronce C66400 que es el metal que posee las mejores características para este tipo de materiales base aplicados en conectores.

Además cuando se va a realizar un recubrimiento de oro para que este obtenga buenas características en cuanto al brillo y la adherencia es recomendado usar un pre-recubrimiento ya sea este de Ni o sea este de Latón, en este caso no será necesario realizar un pre-recubrimiento ya que el metal base cumple con estas características.

1.3 Proceso de Selección del Recubrimiento

1.3.1 Análisis de los Diversos Recubrimientos

Recubrimiento de Oro

Este método de electrodeposición ha recibido un gran desarrollo a partir de los años cincuenta, debido a la necesidad de la industria electrónica. En los últimos tiempos, los depósitos de oro vienen siendo usados en mayor escala en la industria como, por ejemplo, la industria aeroespacial, la fabricación de circuitos impresos, conectores electrónicos, los contactos eléctricos y en la construcción de reactores. Esto se debe a que esta industria requiere recubrimientos delgados, con baja porosidad, alta dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión.

Además estos recubrimientos de oro requieren una alta pureza, la habilidad de formar silicón eutéctico, baja resistencia eléctrica, buena soldabilidad y alta emisividad infrarroja. En el campo decorativo estos electrodepositos también han tenido un gran desarrollo, ya que pueden alcanzar buenos espesores dúctiles y resistencia al desgaste en una gran variedad de colores y quilates.

Si se obtiene una eficiencia baja al usar velocidades en el baño de recubrimiento de oro y sus espesores varían tiene que ser únicamente por falla del proceso. En el uso del control de inmersión, los espesores de recubrimiento varían de 1 a 150 micrometros, con un espesor promedio de 60 micrómetros. Por deposición manual y usando un baño de inmersión total, el espesor de oro varía de 10 a 50 micrometros, con un promedio de 30 micrometros. Usando una maquina automática, designado por conectores terminales de baños, los baños buscan una variación de espesor de oro de 10 a 20 micrometros. Este entrega un promedio de 15 micrometros.

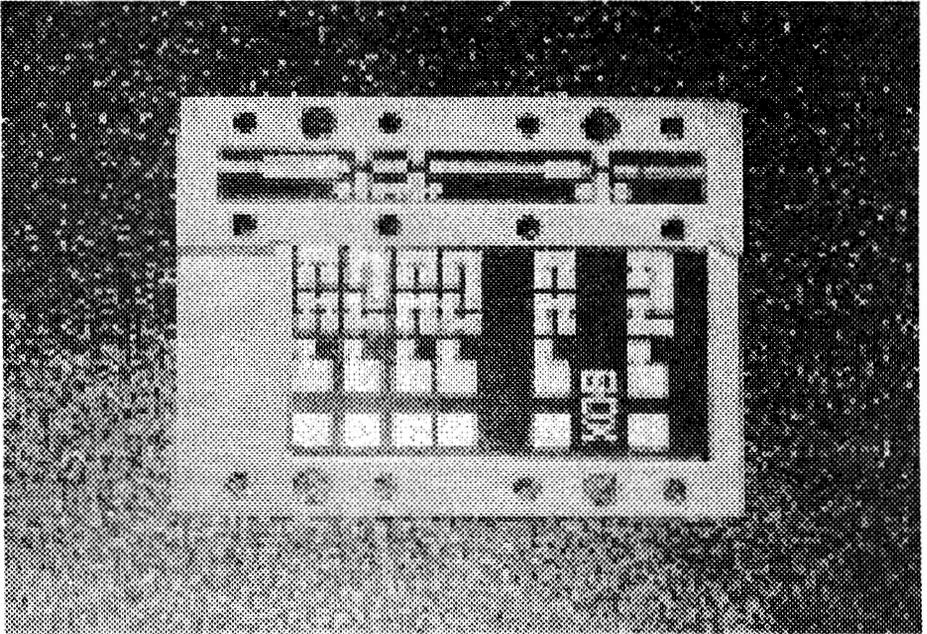


FIGURA 1.7 DORADO EN TARJETAS IMPRESAS

El oro es uno de los metales menos activo como se dijo anteriormente. No se oxida en el aire ni en el oxígeno a ninguna temperatura; de ahí la expresión "metal noble" que se aplica.

Resistente completamente a los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico a las temperaturas ordinarias y a 100 °C, y también resistente a los ácidos bromhídrico, yodhídrico y fluorhídrico. Una mezcla de ácidos clorhídrico y nítrico (agua regia) lo disuelve fácilmente; es atacado también, pero más lentamente, por una mezcla caliente de los ácidos sulfúrico y nítrico. El

ácido selénico ataca al oro por encima de 230°C. El oro es atacado por el ácido telúrico cuando está presente el ácido sulfúrico.

Todos los halógenos atacan al oro. El bromo es el más activo; disuelve algo el metal incluso a la temperatura ordinaria. El cloro es algo menos activo cuando está seco; pero cuando está húmedo, o a temperatura elevada, ataca fácilmente al metal. Cuando se produce cloro en presencia de ácido clorhídrico o cloruros solubles, el oro se disuelve rápidamente. El yodo casi reacciona como el cloro; cuando está disuelto en yoduro de potasio, el ataque es bastante rápido. El fluor no ataca al oro a la temperatura ordinaria ni a 100°C, pero al rojo es apreciable su ataque. Cualquier mezcla de sales halógenas y agentes oxidantes que desprenda un halógeno disolverá el oro; el disolvente generalmente empleado por los alquimistas era una mezcla de cloruro de sodio, nitrato de potasio y alumbre.

El oro no reacciona con el azufre y no se disuelve en el anhídrido sulfuroso, pero es ligeramente atacado por los sulfuros alcalinos. El carbono no reacciona directamente con el oro. El ácido cianhídrico y los cianuros alcalinos reaccionan

ligeramente, pero en presencia de oxidantes el ataque es bastante rápido.



Los hidróxidos alcalinos en solución no atacan el oro apreciablemente; cuando están fundidos, se produce alguna reacción. Los peróxidos alcalinos atacan fácilmente el oro a temperaturas elevadas.



Con el cloruro áurico ácido y algunos otros electrolitos y con el oro como ánodo, el metal se disuelve, propiedad que se utiliza para la refinación en el procedimiento de Wohlwill, que se utiliza para refinar oro en grandes cantidades.



El mercurio reacciona rápidamente con el oro para formar amalgamas. Esta propiedad se utiliza para recoger el metal finamente dividido de arenas, gravas y minerales pulverizados.

Electrolito para el dorado



El oro es depositado mediante un proceso, a partir de soluciones cianhídricas. También fueron propuestos para el

dorado electrolitos exentos de cianuro, mas este no alcanza el objetivo deseado. Los baños cianhídricos o complejos de oro están presentes normalmente en la forma monovalente. En soluciones alcalinas, el complejo de oro de valencia tres es reducido a la valencia uno. En soluciones ácidas, aún así, el complejo de oro tres es estable.

Debido al alto precio del oro, se utilizan los electrolitos de oro con un grado metálico más bajo posible.

Con el uso más frecuente de las capas galvánicas de oro para la técnica moderna, se fueron desarrollando electrolitos que permiten la deposición de capas de espesor deseado. Como aditivos, podrían ser utilizadas combinaciones orgánicas de metales extraños.

Para mejorar las propiedades de capas galvánicas de oro, se hacen adiciones de ciertos compuestos metálicos al electrolito de oro. Las capas de aleaciones tienen importancia en el proceso de dorado galvánico. Ciertas propiedades de las capas, tales como dureza, brillo y color, podrían ser influenciadas.

Recubrimiento de Plata

Propiedades de la Plata

La plata es un metal noble de fácil pulimento y de color blanco. Ella posee la mayor conductividad eléctrica y calorífica y una gran capacidad de reflexión de luz. La plata es resistente al agua, al ácido clorhídrico y sulfúrico diluido en frío, a la mayoría de los ácidos orgánicos, bases fuertes y a casi todas las soluciones salinas. Por otro lado, ella tiene una pequeña resistencia al opacamiento, esto porque es teñida de ácido negro por las menores cantidades de ácido sulfúrico, formando el sulfato de plata.

Para mejorar la resistencia mecánica relativamente baja de la plata, es usada generalmente en forma de aleación. La fuerte industrialización de plata llevó al punto de que el consumo mundial era mayor de la producción.

Electrolitos simples de cianuro de plata

La plata solamente se deja depositar de forma uniforme y a partir de electrolitos con alta polarización eléctrica. Estas premisas solo son dadas por las soluciones, en las cuales la plata es contenida en forma compleja. La plata forma complejos más o menos estables, con una serie de aleaciones. En la práctica, aún así, solo los complejos cianhídricos se conseguirán imponer. Lo mismo con todos los esfuerzos no fue posible aún utilizar los complejos no venenosos de la plata en escala técnica.

Los baños de plata utilizados en galvanotécnica constan principalmente de complejos alcalinos de cianuro de plata, exceso de cianuro alcalino y de carbonato alcalino que se forma en el electrolito. Para los baños de plata brillante y para los baños de plata dura son adicionados, aún, otras sustancias especiales.

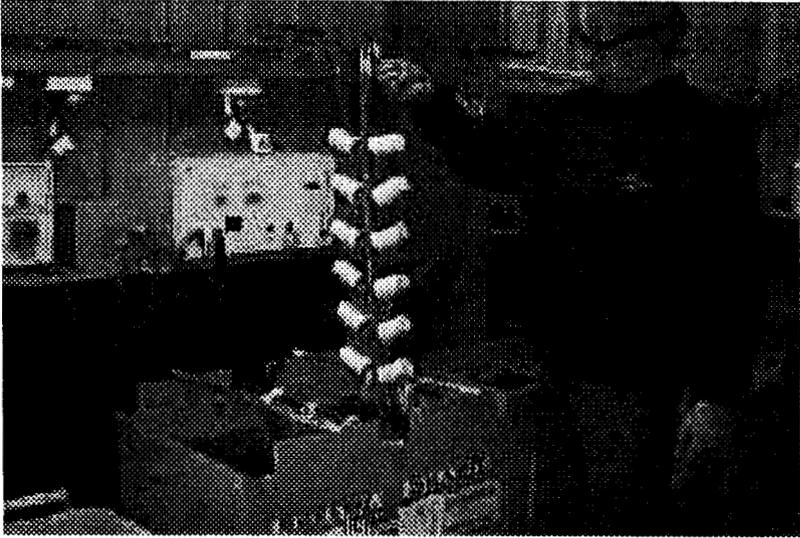


FIGURA 1.8 PROCESO PARA RECUBRIMIENTO DE PLATA

1.3.2 Toma de Decisión

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

De ahí que la toma de decisión es un factor importante en el desarrollo del proyecto. Luego del análisis que se ha desarrollado anteriormente de los tipos de recubrimientos, se toma en consideración los factores que benefician al recubrimiento de conectores, llegando a seleccionar de forma rápida y sencilla el tipo de recubrimiento a aplicar.

Ventajas y Desventajas del Oro con respecto a la Plata

Ventajas

- Posee excelente resistencia a la corrosión
- Su proceso de electrodeposición es menos complicado.
- Resistencia a los efectos medioambientales
- Buena maleabilidad
- Puede trabajar a altas temperaturas
- A ninguna temperatura se mezcla con el oxígeno
- Buena conductividad eléctrica
- Mayor resistencia a empañarse
- Extremadamente duradero
- Resistente a la fricción
- Buena adherencia
- Su desempeño técnico no varía con el tiempo.

Desventajas

- Mayor costo de materia prima;
- Menor conductividad eléctrica;
- Menor calidad de soldabilidad;
- La plata posee una reflectividad casi de 100% con luz visible o infrarroja.

El recubrimiento que será empleado para este tipo de proceso es el oro, debido a que sus ventajas son mayores en comparación con la plata desde el punto de vista útil para el desempeño que tendrá, considerando además que la plata en temperatura ambiente forma una película de óxido de plata el cual es perjudicial para la calidad de transferencia de información, y reafirmando lo que se mencionó anteriormente que el oro es el único metal que se aplica como depósito en los conectores por todos los beneficios que puede prestar.

Habiendo tomado la decisión de que tipo de recubrimiento se aplicará, debemos considerar además cuál es el baño que será más efectivo para esta aplicación.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS DE ORO CON RESPECTO A OTROS METALES

METALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Oro	Los recubrimientos de oro pueden llegar a espesores considerables, y de esta manera poseer un alto grado de dureza, buena adherencia, resistencia a todo medio corro.	Los recubrimientos de oro deben realizarse sobre una capa de latón o níquel para que este no pierda su brillo característico. Los costos de estos recubrimientos son demasiado elevados.
Plata	Excelente conducción de la electricidad. Posee una reflectividad casi del 100% en luz visible e infrarroja.	El costo también es elevado. Para que se adhiera al metal base es necesario que sean tratados con soluciones de plata y cianuro.
Cobre	Excelente Como depósito intermedio. Es excelente conductor de electricidad.	No es muy brillante. Necesita densidades de corriente bastante grandes. Se mancha con mucha facilidad.
Estaño	Resistente a los agentes atmosféricos. Resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos, en ausencia de oxígeno. Se lo utiliza en la industria de la conservación de alimentos.	Los espesores que se obtienen son muy delgados. Necesitan un calentamiento posterior al recubrimiento para eliminar los poros del mismo.
Cadmio	Resistente a la corrosión, y como no produce fatiga en los muelles utilizados en elementos electrónicos, se los usa para protección de los mismos, en medios alcalinos.	Necesita densidades de corriente bastante elevadas. No es muy eficiente en medios ácidos.
Latón	Excelente como capa intermedia para otros recubrimientos. Favorece a la adherencia de los cauchos al acero. Posee un brillo muy parecido al oro, con costos inferiores.	No alcanza espesores muy grandes, reacciona con el medio por lo que se los debe recubrir con barniz o resinas.

1.4 Tipos de Baños del Recubrimiento Seleccionado

Selección del Proceso

Por el alto precio del oro, se utiliza comúnmente la inmersión parcial de las partes en el baño. La selección de las operaciones de chapado es realizada en máquinas especializadas que son desarrolladas para cada aplicación. Las máquinas son diseñadas para un buen desempeño en todos los requerimientos de limpieza, chapado y operaciones finales en el metal.

En orden para mantener las altas razones de producción, los pasos de las secuencias de chapado deben ser lo más corto que sea posible. Excepcionalmente una alta velocidad de chapado esta acompañada por el uso de baños específicamente diseñados por las máquinas particulares.

Un alto grado de agitación de la solución puede lograrse por bombeo por medio de un orificio para que este sea vigoroso. La densidad de corriente puede variar desde 5382 a 26910 A/m², con una eficiencia de cátodo de 50 a 100%.

Electrodepósitos de Oro Puro

Estos son los clasificados como de 24 quilates. El depósito puede ser duro o suave, de alta pureza o contener trazas de depósitos de metales o polímeros. De acuerdo a las últimas especificaciones militares MIL G 45204 B (1971) se tiene los siguientes estándares: tres tipos de pureza y cuatro rangos de dureza.

TABLA IV

PUREZA DE LOS DEPÓSITOS DE ORO

TIPO	PUREZA (%)
Tipo I	99.7% mínimo de oro
Tipo II	99.0% mínimo de oro
Tipo III	99.9% mínimo de oro

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL.5

TABLA V

GRADO DE DUREZA DE LOS DEPOSITOS

GRADO	DUREZA	
Grado A	90	HK máximo
Grado B	91 a 129	HK inclusive
Grado C	130 a 200	HK inclusive
Grado D	201	HK y superior

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL. 5

TABLA VI

RELACIÓN ENTRE DUREZA Y PUREZA

PUREZA	DUREZA
Tipo I	Grados permisibles A, B o C
Tipo II	Grados permisibles A, B o C
Tipo III	Grados permisibles A solamente

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL. 5

Para el tipo I, el grado A y el tipo III, el máximo de nivel de impureza metálica por cromo, cobre, estaño, plomo, plata, cadmio o zinc es del 0.1%. Por hierro, níquel, y cobalto, la combinación máxima es de 0.05%, y el máximo de manera individual es de 0.03%. Para el tipo I, grados B y C y tipo II, el máximo de impureza metálica individual es de 0.1%. Los agentes metálicos adicionados para propósitos de dureza no son considerados como impureza.

Baño Cianurado Caliente

La típica formulación del baño cianurado caliente para el dorado, se puede encontrar en la Tabla VII, el metal dorado es adicionado como cianurato de potasio y oro, y la solución es hecha más conductiva por la adición de cianurato de potasio, carbonato de potasio o fosfato de dipotasio, de manera simple o en combinación. Estos baños son usados para láminas de 24 quilates de pureza en depósito de oro suaves.

TABLA VII

FÓRMULAS PARA BAÑOS CIANURADOS CALIENTES

FÓRMULA N°	ORO (g/L)	COMPOSICIÓN			TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD DE CORRIENTE (Amp/m ²)
		Cianurato de potasio (g/L)	Carbonato de potasio (g/L)	Fosfato dipotasio (g/L)		
1	1-8	30	---	---	48-66	11-54
2	4-12	30	30	30	48-66	11-54
3	10	---	---	120	48-71	11-54

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM TOMO 5 (GOLD PLATING)

En general, los altos contenidos de oro son usados para espesores pesados de oro, porque estos permiten una alta densidad de corriente y altas eficiencias catódicas. Las altas temperaturas y el incremento de la agitación puede ser favorable para altas velocidades de deposición. Ánodos insolubles de acero inoxidable son generalmente usados, y estos necesitan un relleno de oro con cianurato de oro y potasio para mantener el contenido de oro.

Ambas sales de potasio o sodio pueden ser usadas en la preparación de los electrolitos para el electrodeposición de oro, pero por concentración de solución, las sales de potasio son preferidas porque estas tienen alta solubilidad. La adición de carbonatos y fosfatos amortiguan la solución e incrementan ambas la conductividad y deponen potencia.

El carbonato de potasio no es relleno, porque este tiende a montarse en el baño durante su uso. El control del contenido es importante para una alta calidad de depósito. Cuando el carbonato de potasio contenido en la solución estándar de cianuro caliente para dorado de 24 quilates alcanza de 60 a 90 g/L, es permitido que el cianuro libre contenido crezca a 12 o a 24 g/L. Cuando las razones de carbonato de potasio están entre 115 a 150 g/L,

esto permite una reducción de 60 g/L por precipitación con nitrato de calcio, cianurato de bario o fosfato ácido de calcio. Los compuestos que introducen iones oxidrilos no deberían ser usados. La precipitación debería ser lenta y desde una solución caliente para promover el desarrollo de largos cristales y facilitar la subsecuente filtración con una mínima pérdida de oro.

El cianurato de potasio es adicionado frecuentemente de acuerdo a las formulas 1 y 2 de la tabla VII, aunque no es requerido en la formula 3 el fosfato de dipotasio, sin embargo ayuda a abrillantar el depósito y es rellenado periódicamente.

El pH del baño dorado de cianuro es regularmente mantenido menor a 11.8 si el pH excede de 12, el rango de brillo del chapado de algún baño de oro es reducido, y el baño tiende a un depositado rojo y eventualmente se producen manchas. Con un pH por debajo de 10.5, la solución contiene más de 6 g/L de cianuro oscuro libre en electrólisis y eventualmente forma un precipitado negro consistente de derivados liberando cianuro hidrogenado sin cambio de color.

La agitación es preferida, y la agitación mecánica es usada antes que la agitación del aire.

La eficiencia de corriente durante el chapado es fuertemente afectada por la concentración de oro, la densidad de corriente, el tamaño de la carga, el tamaño y forma del trabajo, facilidad de volteo. Sobre condiciones ideales, tales como baja densidad de corriente y una adecuada solución alrededor de cada pieza, se puede obtener eficiencias de corriente de 90 a 95% y el depósito puede tener una distribución más uniforme por toda la carga.

La principal ventaja de las soluciones cianuradas calientes es que son económicas, porque el oro se puede adquirir en muchas formas económicas. Las soluciones cianuradas calientes tiene las siguientes desventajas:

- los baños tienen una estabilidad pobre;
- la solución no puede ser usada en tarjetas de circuitos impresos;
- los depósitos son propensos a manchas;
- y los depósitos pesados tienden a empañarse.

La solución algunas veces puede venir contaminada, por el ataque de los substratos de las aleaciones de cobre.

Baños neutrales

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

TABLA VIII
BAÑOS NEUTRALES

SOLUCIONES	COMPOSICIÓN
Cianurato de oro y potasio	6g/L
Fosfato de sodio	15g/L
Fosfato de dipotasio	20g/L
Níquel (como cianurato de potasio y níquel)	0.5g/L
Voltaje	2 a 3
Temperatura	65 a 75°C
Ph	6.5 a 7.5
Densidad de corriente	53.8 A/m ²

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL. 5

Baños ácidos

Un baño ácido de oro fue desarrollado para destellos dorados en las puntas de las plumas de acero indeformable y patentado en 1936, estos depósitos eran brillantes y mostraban buena adhesión, pero no podían ser usados para depósitos pesados. La composición para este baño ácido es:

TABLA IX

COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS ÁCIDOS

SOLUCIONES	COMPOSICIÓN
Concentración de ácido clorhídrico	125 ml/L
Cianurato de sodio	60 g/L
Cianurato dorado de sodio	1 g/L
Temperatura	Ambiente
Voltaje	6V

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL. 5

La cantidad de ácido no es crítica. Si el depósito se empaña durante el uso, puede ser adicionado cianurato de sodio y si fue por encima de un baño neutral, ácido debe ser adicionado.

Un baño dorado ácido más reciente es más estable que el desarrollado en 1936 y puede ser usado para depósitos pesados tan bien como en destellos de depósitos. El depósito tiene granos más lisos, brillosos y finos. La composición de este baño dorado ácido es la siguiente:

TABLA X

CONCENTRACIÓN DE UN SEGUNDO BAÑO ÁCIDO

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

FUENTE: METALS HANDBOOK ASM VOL. 5

Este baño muestra ser más estable y es usado en chapado de parte electrónica tales como circuitos en tarjetas impresas, y en la superación de muchas desventajas de los baño cianurados

calientes. Otro baño ácido fue desarrollado en base a un ácido fosfórico. Este baño posee la siguiente composición:

TABLA XI

COMPOSICIÓN DE UN TERCER BAÑO ÁCIDO

SOLUCIONES	COMPOSICIÓN
Cianurato dorado de potasio	10 g/L
Ácido fosfórico	20 ml/L
Hidróxido de potasio	para pH de 1.8
Temperatura	10 °C

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

Metales Aleantes

Son adicionados en los baños dorados industriales en orden de obtener depósitos de aleaciones de oro con características

específicas. En muchos casos, las aleaciones doradas son duras, brillantes u menos dúctiles que los depósitos de oro puro.

Níquel y Cobalto.- Puede ser adicionado en los baños dorados para incrementar la dureza y durabilidad requerida para superficies de contactos eléctricos. La cantidad de depósitos de níquel o cobalto varía desde 0.05 a 0.25%, dependiendo de los requerimientos de dureza, la cual puede variar desde 120 a 250 HK. en muchos casos, la pureza de los depósitos es alta para asegurar la soldabilidad del oro y una baja resistencia de contacto.

Cuando el baño de chapado es alcalino, el níquel y el cobalto son adicionados con sales cianuradas complejas en la solución. En baños ácidos, estos metales son adicionados como sales.

Plata.- Es adicionado en los baños dorados para incrementar la dureza y el brillo. La plata es adicionada como un soluble cianurado complejo para baños dorados alcalinos y puede incrementar la dureza por encima de los 150 HK. Las aleaciones de plata con un 8% de plata pueden reducir el brillo de los depósitos para chapados en soluciones calientes.

Cobre.- las aleaciones de cobre-oro que son duras y exhiben buena característica de robustez como las describe Fluhmann. Él observó que aleaciones de oro de 18 quilates con cobre tiene durabilidad, dureza y ductilidad conveniente para uso industrial son del tipo cianuradas alcalinas.

1.5 Características del Baño Seleccionado

La composición del baño fue elegida por mostrarse más estable que los baños cianurados calientes y por ser esta composición la que se usa en los recubrimientos de partes electrónicas tales como circuitos impresos, la característica del baño seleccionado se encuentran en la Tabla XII.

Los baños ácidos deben presentar ciertas características en cuanto a su composición para lograr las cualidades necesarias en el proceso de recubrimiento.

TABLA XII

CARACTERISTICAS DEL BAÑO SELECCIONADO

SOLUCIONES	CONCENTRACION
Oro (como cianurato dorado de potasio)	4 a 12 g/L
Ácido cítrico y citrato de potasio	90 g/L
PH (electrométrico)	3 a 6
Densidad de corriente	sobre los 107 A/m ²
Ánodos	carbón o platino
Temperatura	Ambiente



Para que éste baño de resultados debe tener cantidades específicas las cuales se obtienen con una apropiada mezcla de las soluciones.



Para lograr obtener el cianurato dorado de potasio existen métodos que varían dependiendo de las posibilidades de acceder a ellos, en este caso se obtuvo mezclando cianuro de potasio con oro de 24



CIB-ESPOL

Para lograr esa unión al oro se lo debe disolver, este proceso se detalla a continuación.

Refinación del Oro con Agua Regia

La técnica de refinación de oro descrito es en el sistema "húmedo", usando agua regia para consumir el oro; cuando todo el oro es cambiado en la forma de líquido (cloruro de oro), el líquido es separado de los sólidos o residuos con el uso de un filtro. Los residuos contienen plata en el compuesto de cloruro de plata que también es recuperable.

El oro es selectivamente precipitado del agua regia con adiciones de una solución de bisulfito de sodio y agua. Los otros metales quedan disueltos en el líquido en la forma de cloruros, y el oro es recuperado en la forma de polvo húmedo. Los precipitados de oro son lavados con agua lista para fundición, dando barras de oro con una pureza que normalmente es 996/1000.

Mezclando agua regia

Agua regia es una combinación de ácido nítrico y ácido clorhídrico (el grado industrial de ácido clorhídrico se llama ácido muriático). Las proporciones de la mezcla son, un volumen de ácido nítrico concentrado, con cuatro volúmenes de ácido clorhídrico concentrado. Si ácido muriático es usado (costo mas bajo que clorhídrico) las proporciones son, un volumen de ácido nítrico con cuatro y medio volúmenes de ácido muriático.

Las precauciones tomadas al momento de mezclar agua regia son sencillas:

- Evitar el contacto con la piel, usando guantes de caucho;
- proteger los ojos con gafas de seguridad;
- preparar los ácidos al aire libre o dentro de un gabinete de ventilación. Ambos ácidos y especialmente ácido clorhídrico producen vapores tóxicos e irritantes.

El agua regia produce cloruro en la forma de un gas, escapando del líquido lentamente por varios días. Se recomienda no tapar las

botellas que contengan dicha solución, puesto que las acumulaciones pueden hacer explotar el recipiente.

Disolución del material

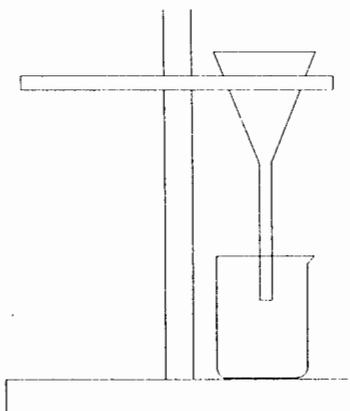
El oro para refinación es colocado en un recipiente de disolución, puede ser de vidrio, plástico o pirex. Es importante introducir el agua regia al material poco a poco especialmente cuando se trata de limaduras y polvo de pulido. La reacción del agua regia con el oro y otros metales produce un gas que tiene un color café. Este gas es tóxico, y es importante trabajar en un sitio con buena ventilación, preferible en aire libre. El gas es un indicador que el ácido está reaccionando con el oro una vez que termine la reacción el proceso de disolución culminó.

Se debe mezcla una cantidad de agua destilada (100 ml) en el agua regia y dejar hasta que los residuos se asienten. Cuidadosamente separar el ácido en otro recipiente, dejando los residuos, que todavía pueden tener algo de oro, y después repetir el proceso poniendo el recipiente que contiene los residuos en un recipiente que contenga agua destilada caliente. El calor ayuda a la reacción a disolver las últimas partículas de oro. En esta segunda

parte del proceso la agitación es importante, usando una barra de vidrio.

Filtración

Para la filtración es necesario un embudo, papel filtro doblado en forma de cono asentado en el embudo y un soporte para poder apoyar el embudo. Filtrar toda el agua regia (con el oro disuelto) primero y los residuos sólidos después. Cuando todo está filtrado lavar el filtro con los residuos de agua para recuperar toda el agua regia con el oro disuelto. El agua regia ya está lista para precipitar el oro en la forma sólida, cambiando el cloruro de oro (líquido), hasta oro sólido que tiene la forma de un polvo húmedo (con alta pureza).



**FIGURA 1.9 FILTRACIÓN DE AGUA REGIA
CON ORO DISUELTO**

Precipitado del oro

El oro es precipitado del agua regia con metabisulfito de sodio (un polvo blanco) mezclado en agua (100 gramos en un litro de agua). Introduce la solución de metabisulfito de sodio poco a poco en el agua regia hasta que el oro se precipite. Se produce algo parecido a nubes de partículas microscópicas dentro del ácido, que después de una o dos horas se sedimenta formando una capa de oro al fondo del recipiente. Separar el ácido del oro precipitado, y recuperar el oro en un filtro de papel. El oro precipitado tiene un color café oscuro y es muy parecido al barro o arcilla.

La reacción de precipitación produce un gas dióxido de azufre, y es molesto al respirar. Como los otros pasos del proceso, se requiere de un sitio ventilado o de preferencia al aire libre.

1.6 Variables a Manejar en el Proceso

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

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

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

En todas las operaciones de dorado donde se requiere depósitos pesados, se debería estudiar los efectos de las variables importantes del proceso que se tiene en la distribución del metal en condiciones óptimas de estabilidad para obtener una distribución uniforme del metal.

A continuación se muestra las variables importantes que tienen efectos en la buena distribución del metal:

- Chapado con densidad de corriente que son bajas como en las prácticas;
- Área apropiada del ánodo y espacio entre ánodos;

- Diseño apropiado de barriles para acentuar una buena mezcla de la carga, transferencia de solución y contacto catódico;
- Diseño apropiado de la percha;
- Selección apropiada de la solución de oro para las partes particulares a ser recubiertas;
- Agitación de la solución.

El oro puede ser despojado anódicamente desde sustratos de níquel en soluciones cianuradas tibias. Un método no eléctrico consiste en la inmersión de las partes en chapas de níquel en una apropiada solución que contenga cianuro y un fuerte agente orgánico oxidante.

Para la medición local de espesores de 0.25 a 2.5 μm , se puede usar un instrumento de radiación dispersa. También puede ser usado el método de difracción de rayos X y fluorescencia para la determinación del espesor.

La lista de baños dorados para producir colores de dorados terminados es muy larga, indicaciones que son un arte y que requieren de mucha experiencia. Prácticamente todos los baños de

destello son basados en soluciones de cianuro alcalino que contienen oro, cianuro libre y uno o más de una variedad de metales. Algunas soluciones suelen contener amortiguadores tales como carbonatos, sulfitos, ferrocianuros y tartratos. Muchas formulaciones apropiadas están disponibles para producir la variedad de color que se necesite y suplir los abastecimientos de soluciones para mantener los baños.

En general, las siguientes variables para la deposición de oro algunos baños de aleaciones usadas para los destellos, haciendo el depósito rico en color:

- Incremento de la agitación
- Incremento de la temperatura
- Incremento del cianuro libre
- Decremento de la densidad de corriente (excepto para aleaciones de plata)
- Adición de cobre para hacer los depósitos rosados; depósitos que son muy rosados (menores a 18 quilates) deberían ser evitados porque tienden a empañarse.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO

2.1 Metodología del Proceso para Realizar el Recubrimiento

El proceso para realizar un recubrimiento involucra varios aspectos, estos pasos a seguir están determinados por el material base, las características del baño aplicado, los distintos sucesos que conlleva un recubrimiento electrolítico.

La metodología de un proceso para realizar un recubrimiento se puede dividir en tres pasos:

- La preparación superficial de la probeta a recubrir;
- El proceso de electrodeposición;
- Y, el post-proceso que se realiza luego del recubrimiento.

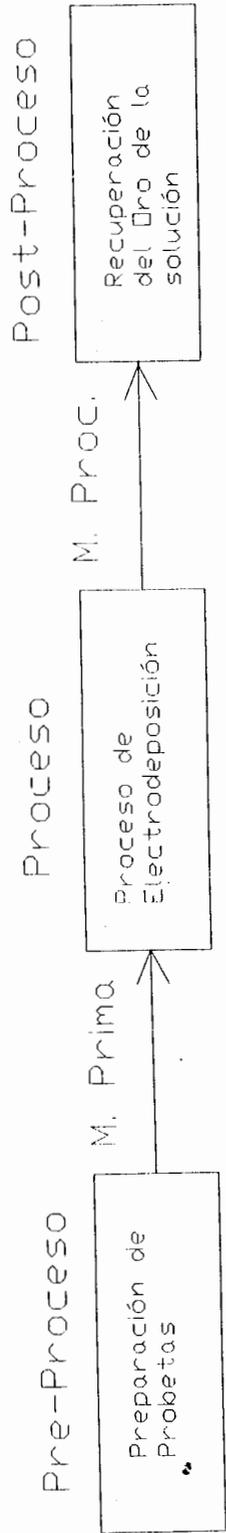


FIGURA 2.1 DIAGRAMA MORFOLOGICO PARA LA METODOLOGÍA DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO

Para nuestro proceso vamos a realizar un tratamiento superficial de las probetas, en donde las piezas serán tratadas de dos maneras: física y química. Debemos tener en cuenta que para realizar un recubrimiento electrolítico, la superficie del material base tiene que presentar ciertas características que harán que este pueda ser efectuado.

Cuando se va a recubrir partes de semiconductores, la preparación es particularmente importante, por la larga variedad de metales básicos y combinación de metales que se encuentran. Una parte simple puede contener acero, cobre, aleaciones de plata, bronce y níquel las cuales crean problemas complicados de limpiar y preparar. Los elementos que contienen múltiples metales básicos son un reto en el desarrollo de procedimientos de preparación de chapado para asegurar una buena adhesión del subsiguiente depósito dorado en toda la superficie.

Para este caso, se realizará de la forma mas sencilla posible, lijaremos las probetas hasta obtener el mejor acabado que se pueda realizar mecánicamente en un latón, luego se procederá a efectuar un proceso de acabado químico que nos permite a mas de

pulir el material base, limpiarlo de cualquier impureza y además desengrasarlo.

Una vez realizada la preparación de la superficie de las probetas, procederemos a realizar la electrodeposición del oro sobre la superficie tratada, en este proceso se efectuarán variaciones para poder obtener curvas, estas curvas nos darán una proximidad sobre cuál de los procesos de electrodeposición es el más conveniente en cuanto a las variables aplicadas.

Las variaciones que se realizarán serán tanto de las soluciones utilizadas como de los parámetros aplicados, hablando de voltaje, densidad de corriente, distancia de los ánodos con respecto al cátodo o metal base.

Una vez realizado el recubrimiento efectuaremos el proceso posterior al recubrimiento, en este caso la recuperación del oro de la solución utilizada, este proceso es importante ya que se trata de una materia prima que tiene un alto costo en el mercado y no podemos desecharla en lo más mínimo.

La figura 2.2 muestra un esquema escalonado de la metodología del proceso explicado.

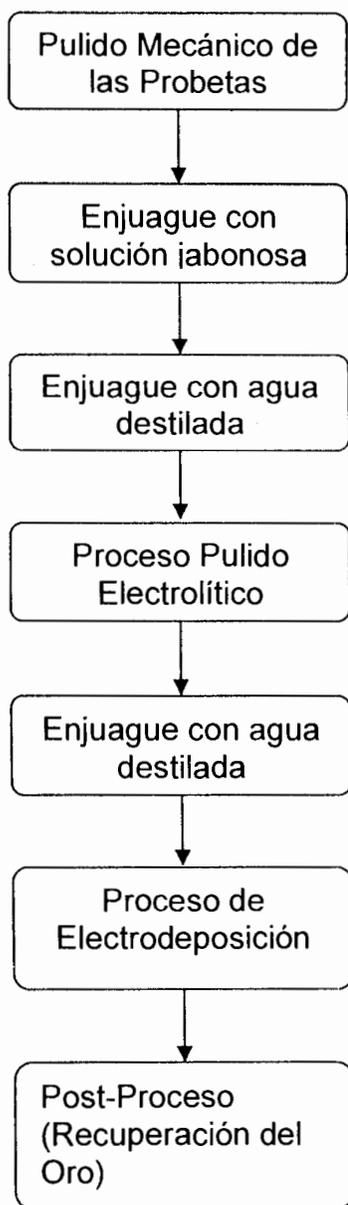


FIGURA 2.2 ESQUEMA METODOLOGICO DEL PROCESO DE DORADO

A continuación se hará un detalle de cada uno de los pasos en el desarrollo experimental que se realizarán en nuestro proyecto, y serán explicados de acuerdo a la división hecha anteriormente.

2.1.1 Preparación Superficial de la Probeta

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

Las aleaciones de cobre frecuentemente requieren un remojo en ácido seguidos para un brillo convencional. Muchas técnicas están disponibles, pero para mejorar resultados, la preparación debería ser simple tal como sea posible para remover toda traza de sólido y óxido desde todas las partes de la superficie metálica para tener una buena adhesión del depósito.

Previo al recubrimiento, las piezas tienen que ser limpiadas y aisladas. Esta limpieza puede ser realizada por vía física y química dependiendo del grado de rugosidad en la superficie

del material. Dicho tratamiento deberá responder a las funciones específicas requeridas.

Para que se realice un proceso de electrodeposición exitoso, la calidad del metal base debe ser buena, si es posible y recomendado una superficie higiénicamente escapular y que además presenten un número razonable de defectos, para lo cuál se procedió a realizar la siguiente secuencia.

Para el proceso de acabado mecánico, primeramente tomaremos las probetas para realizar el acabado del material, esto se lo realizará por medio de un lijado, en el que desbastaremos desde una lija número 80, hasta una número 1200.

Este desbastado se lo puede apreciar claramente en las figuras 2.3, 2.4, 2.5, y 2.6.

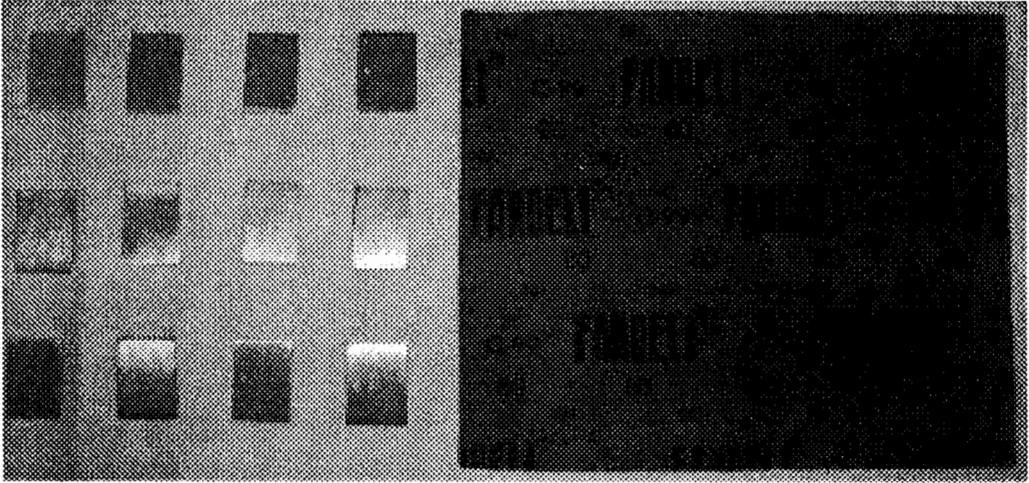


FIGURA 2.3 PREPROCESO DE PROBETAS DESPUES DE LIJA 80

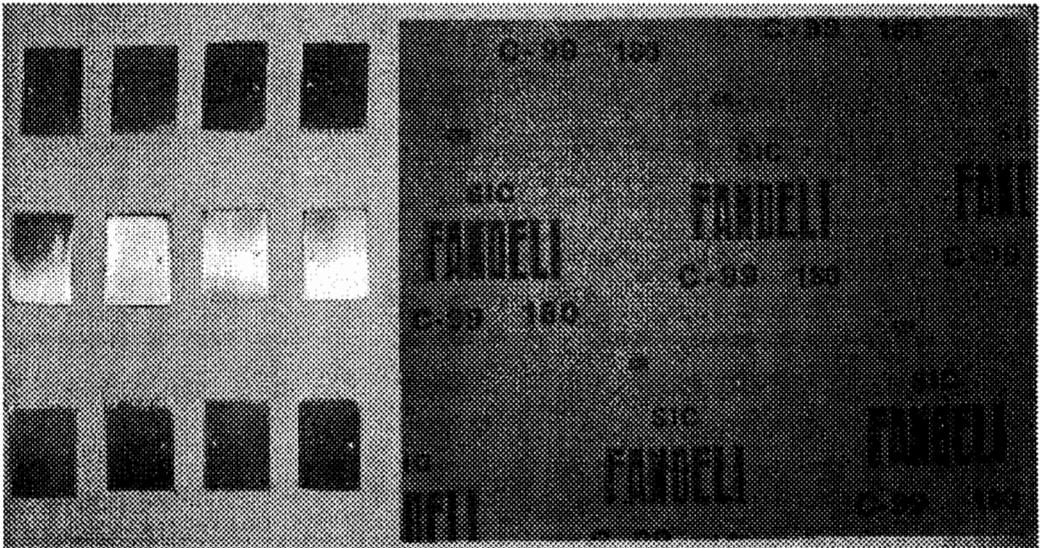


FIGURA 2.4 PREPROCESO DE PROBETAS DESPUES DE LIJA 180

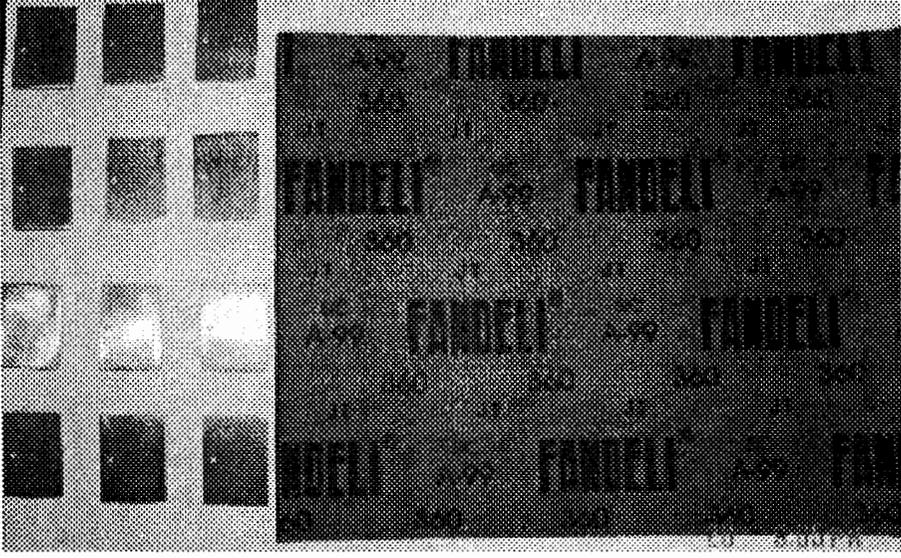


FIGURA 2.5 PREPROCESO DE PROBETAS DESPUES DE LIJA 360

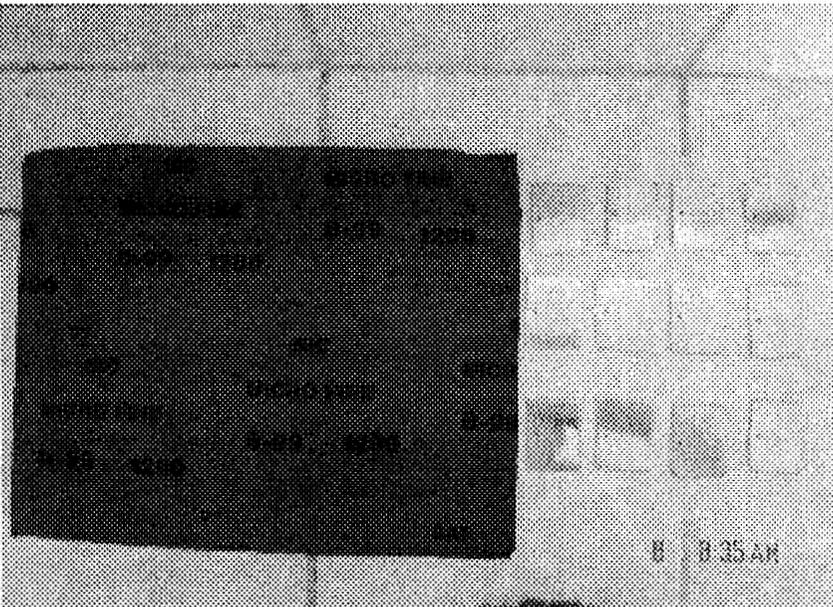


FIGURA 2.6 PREPROCESO DE PROBETAS DESPUES DE LIJA 1200

Luego de realizar el desbastado de las probetas por medio del lijado se someterá la pieza a un acabado de mejores características usando una pulidora a 4250 RPM, con un disco de cerdas y una pasta de pulimento profiláctico especial para metales logramos un mejor desbaste mecánico de las probetas.

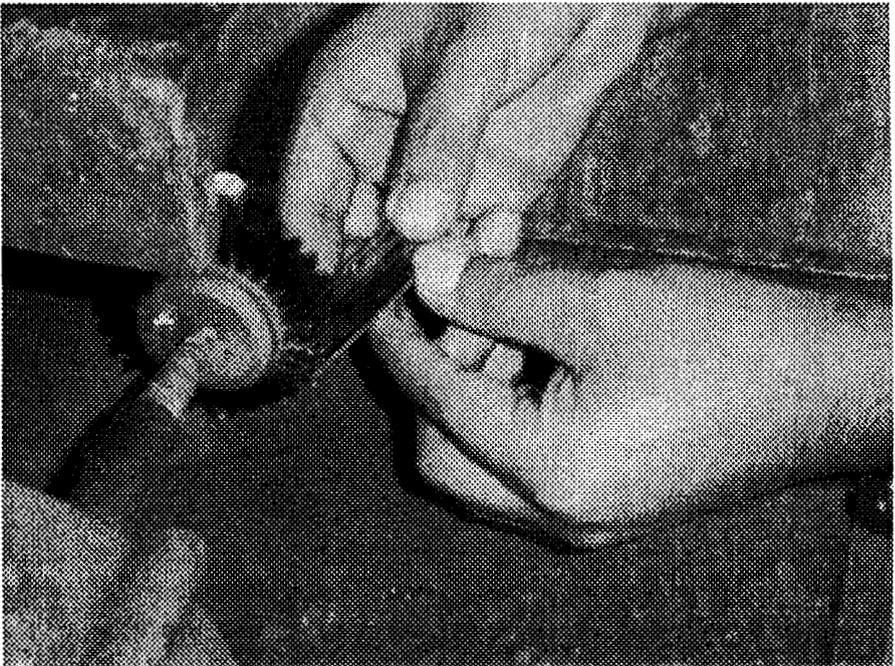


FIGURA 2.7 PULIDO DE PROBETA CON DISCO DE CERDA

Luego se procede a pulir al igual que con el disco de cerdas a una velocidad de 4250 RPM con un disco de paño utilizado para piezas dentales, con este se logra que las piezas pierdan

en forma considerable esas imperfecciones perceptibles a la vista y aumenten su brillo.

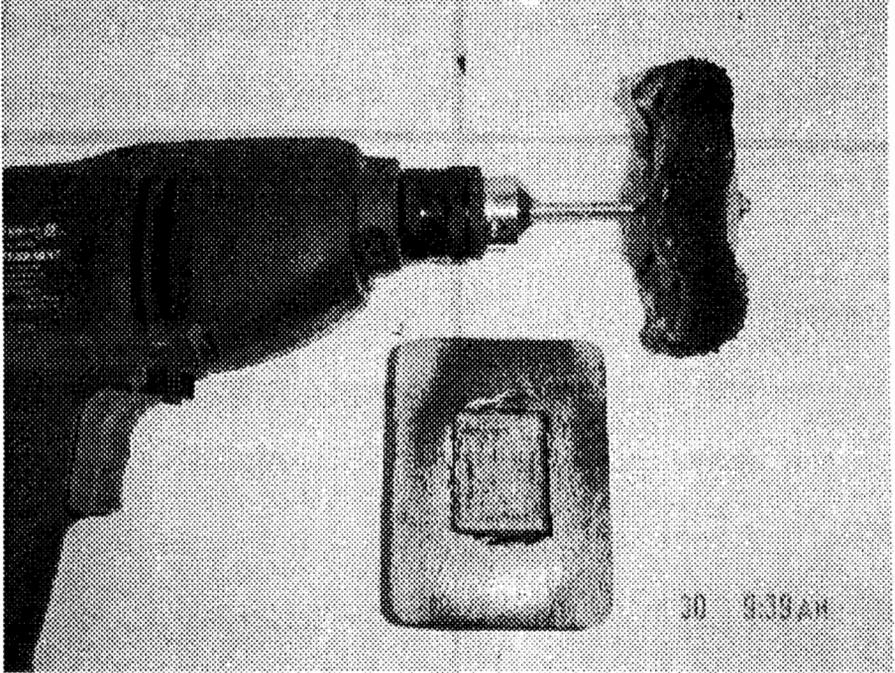


FIGURA 2.8 PULIDO DE PROBETA CON DISCO DE PAÑO

Se procede a realizar un enjuague con agua para luego desengrasarlas por medio de una solución jabonosa, aplicado comúnmente para desengrasar piezas que serán tratadas posteriormente.

A continuación se realizará un proceso de desbaste químico, este se detalla a continuación.

Pulido Electrolítico o Abrillantamiento Químico

Las superficies metálicas tratadas por este proceso forman excelentes bases para los posteriores baños galvánicos. Los procesos químicos y electrolítico son una complementación, más nunca una sustitución para un pulido mecánico.

El efecto de brillo, o sea, el pulido de una superficie, consiste entonces en que las rebabas o elevaciones sean removidas, de modo que la superficie se torne convenientemente plana. La figura 2.9 muestra esquemáticamente la remoción de la superficie a través del proceso de pulido electrolítico o de abrillantamiento.

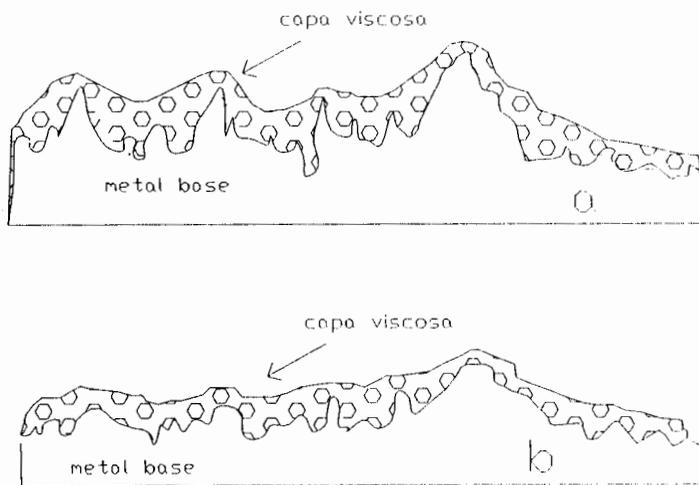
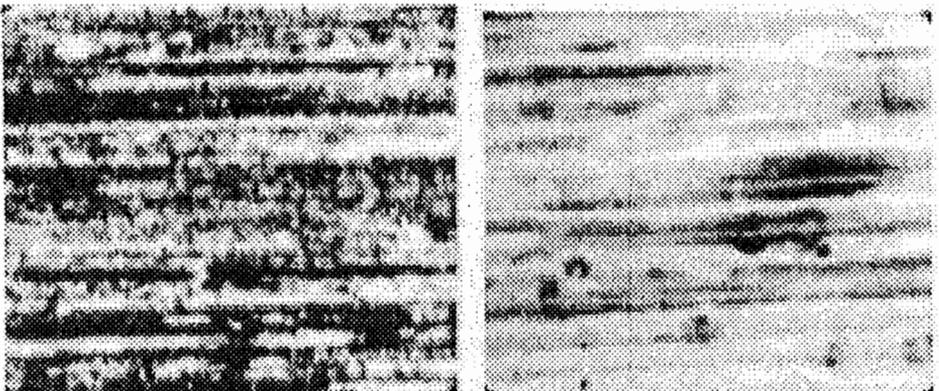


FIGURA 2.9 PROCESO PULIDO ELECTROLITICO

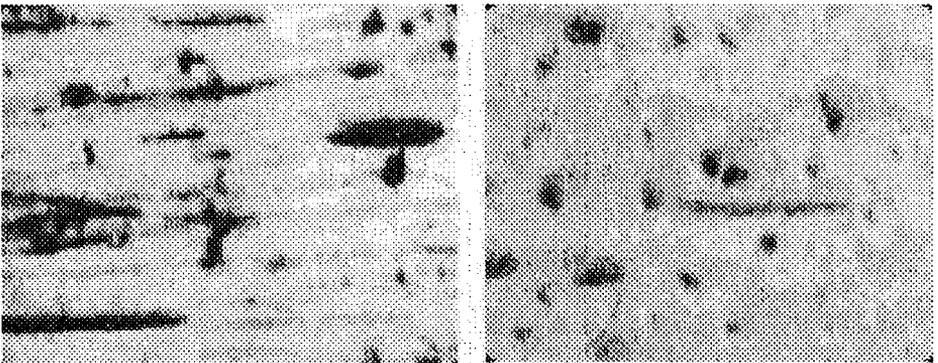
Los resultados de la figura 2.9 muestran que, durante el pulido electrolítico o el abrillantamiento químico, existe inclusive una remoción de superficie de la pieza a ser tratada. Segregaciones y poros existentes también son eliminados, en cuanto que, en el pulido mecánico, depresiones con poros y segregaciones son formados por la presión del pulimento y, con eso, la superficie metálica es aplanada, tornándose más dúctil.

En la figura 2.10 se pueden apreciar 2 imágenes la primera que es una microfotografía de una superficie tratada con esmeril 180, aumentada 50 veces. En la siguiente, la misma superficie después de electropulida. Se ve claramente la acción niveladora descrita anteriormente.



**FIGURA 2.10 MICROFOTOGRAFIA DE PROCESO DE
PULIDO ELECTROLITICO**

La figura 2.9 es una microfotografía con un aumento de 50 veces, de una superficie especular obtenida mediante un tratamiento mecánico con cepillo y pasta de pulir. Se aprecian claramente las pequeñas cavidades y rayas con bordes agudos, que dificultarán posteriormente las acciones de limpieza. En cambio, en la figura siguiente, la misma superficie electropulida muestra la ausencia de huecos con bordes definidos. En este tipo de terminación no podrán alojarse materiales extraños.



**FIGURA 2.11 MICROFOTOGRAFIA DE UN SEGUNDO
PROCESO DE PULIDO ELECTROLITICO**

Por lo tanto, una superficie plana electropulida, aunque brillante, no tendrá el aspecto especular del pulido mecánico. Sin embargo, a nivel microscópico y sanitario, es mejor, y el

usuario deberá comprender que una superficie similar a la de un espejo, no necesariamente implica que a un nivel microscópico esté libre de imperfecciones que pueden alojar colonias de microorganismos y/o iniciar procesos de corrosión.

El efecto de brillo casi no es influenciado por la anodización. El abrillantamiento químico o electrolítico también es usado con ventajas para piezas fuertemente perfiladas o para piezas de gran peso, las cuales no pueden ser pulidas, o solamente con gran dificultad. El abrillantamiento electrolítico trae, frecuentemente, mejoras en las propiedades de las piezas, como por ejemplo, resistencia a la fatiga, a la deformación en frío, resistencia a la corrosión, permeabilidad magnética, resistencia a la soldadura, etc. En otros casos la resistencia eléctrica puede ser disminuida.

Las piezas abrillantadas química o electrolíticamente pueden ser galvanizadas inmediatamente después del lavado. El abrillantamiento electrolítico conduce frecuentemente a una mejor dispersión del electrolito. El pulimento electrolítico, también denominado abrillantamiento anódico, consiste prácticamente en el efecto contrario a la deposición electrolítica.

En cuanto que en la galvanización las piezas son conectadas al polo negativo de una fuente de energía, en el caso del pulido electrolítico se hace el acoplamiento con el polo positivo de una fuente de energía. Como cátodos, se usan generalmente una chapa de material anódico, acero inoxidable, plomo o cobre. Generalmente, es necesario para cada metal o aleación que se desea pulir anódicamente una diferente composición del electrolito.

Una vez que, durante el abrillantamiento electrolítico, la resistencia óhmica de baño de difusión es menor en las elevaciones de las superficies metálicas y mayor en las depresiones, apareciendo, entonces, densidades de corriente mayores en las elevaciones que en las depresiones, la remoción será acelerada en las elevaciones (vértices y cantos).

El pulido electrolítico ofrece una serie de ventajas especiales, para el cobre, aleaciones de cobre, plata, oro y plomo también existen procesos electrolíticos de abrillantamiento que darán buenos resultados, como el siguiente que es el más adecuado para aleaciones de cobre.

TABLA XIII

SOLUCION PARA PULIDO CON ABRILLANTAMIENTO

SOLUCION	CANTIDADES
Acido Nítrico d=1.4	250 ml
Acido Sulfúrico	250 ml
Sal de cocina	5 gr.
Hollín (negro de humo)	5 gr.

FUENTE: GALVANOTECNIA PRATICA (PAG.271)

Habiendo culminado el proceso de pulido de las probetas se deberá considerar la limpieza de las soluciones a las que fueron sometidas.

Se realizará una inmersión en agua destilada para eliminar las soluciones, y a continuación se puede directamente realizar el proceso de deposición electrolítico.

Seguido se muestra un diagrama del pre-proceso de electrodeposición:

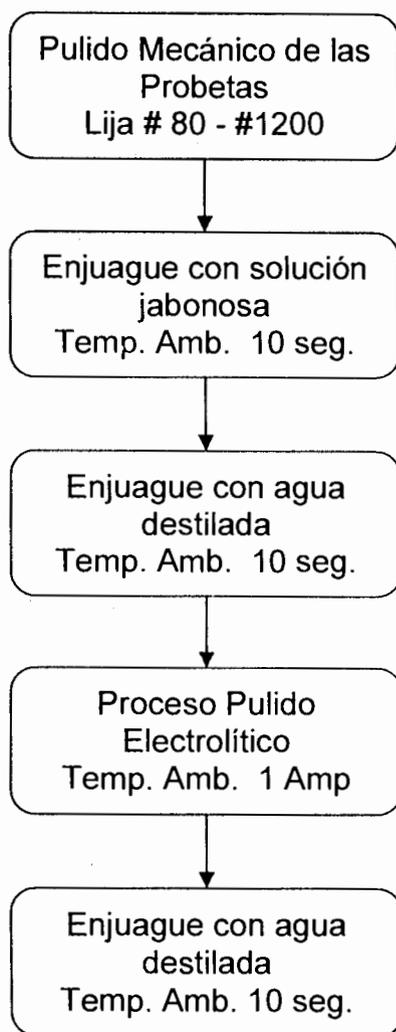


FIGURA 2.12 ESQUEMA MORFOLOGICO DE LA PREPARACION SUPERFICIAL DE LAS PROBETAS

2.1.2 Proceso de Deposición

Luego de realizar el pre-proceso con su limpieza, el material es sometido al proceso de recubrimiento de oro.

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



Los iones metálicos M^{Z+} , que se encuentran en la solución, cargados positivamente con la valencia z , son transformados en átomos metálicos M , a través del recibimiento de número de electrones correspondientes e , siendo los átomos metálicos, sobre ciertas condiciones, los que forman una capa metálica sobre un objeto cualquiera. En la química una reacción que consume electrones se denomina "reducción". Así, todos los procesos galvanotécnicos de deposición de metales representan, del punto de vista químico una reacción de reducción. Los electrones necesarios para la reducción de los iones metálicos pueden ser obtenidos, con todo, a partir de soluciones acuosas.

La deposición galvánica de metales se basa en fenómenos electroquímicos. Durante la electrólisis ocurren transformaciones químicas en la superficie límite electrodo/electrolito, que consumen o entregan electrones. Para

que las reacciones pasen siempre en sentido deseado, es necesario el empleo de corriente continua. Los fenómenos individuales en el cátodo y el ánodo se ven como ocurren en el propio electrolito simultáneamente. La corriente continua hace que los electrones sean dirigidos del ánodo y entregados al cátodo. En el ánodo se tiene pues metal en solución. En el cátodo se dará el paso de los electrones para los iones metálicos contenidos en el electrolito, y los dos iones forman los átomos metálicos.

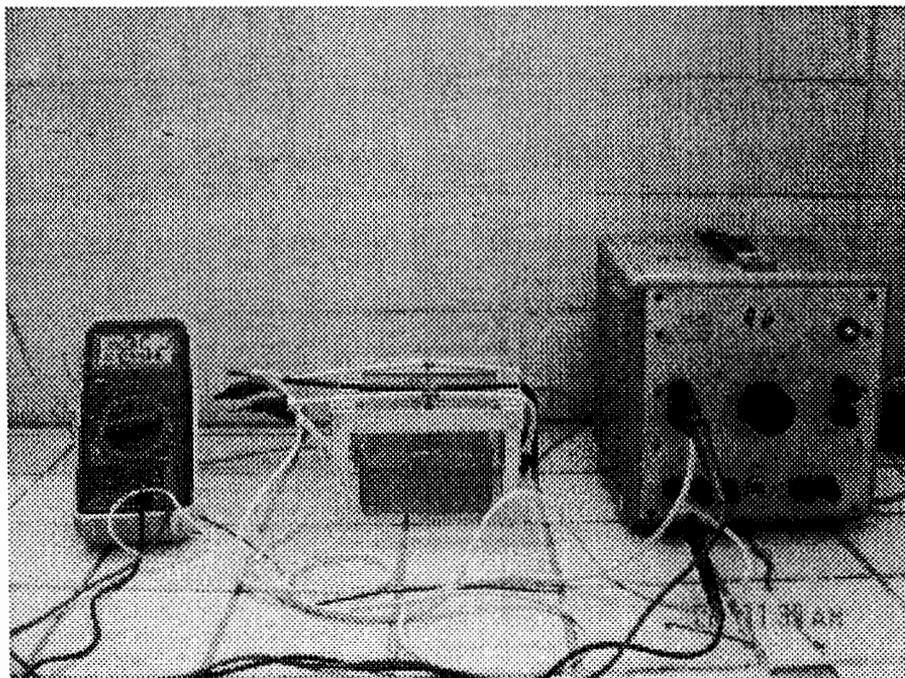


FIGURA 2.13 PROCESO DE DORADO

El proceso de recubrimiento es similar a todos los procesos de electrodeposición, en donde se sumerge el material en la solución cianhídrica y se procede a realizar la deposición directa del metal de recubrimiento siguiendo los parámetros expuestos con anterioridad.



CIB-ESPOL

Siguiendo las especificaciones dadas anteriormente del tipo de baño a utilizar y sus concentraciones procedemos a obtener cuales son las cantidades de cada solución que se aplicará.

El recipiente tiene un volumen de 500 ml por lo tanto hay que estimar cuanto de agua destilada hay que aplicar para realizar la mezcla de las soluciones y no llegar a más de unos 450 ml, sabiendo que las probetas a dorar como los ánodos ocuparán un volumen en dicho recipiente.



CIB-ESPOL

Las concentraciones del baño son las siguientes:

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



CIB-ESPOL

Por efecto de economía como ya se vio anteriormente se procede a seleccionar la menor cantidad de oro ya que el consumo es el que nos dará los mayores beneficios en cuanto al costo. Por ende se selecciona de esta manera:

$$\begin{array}{l} 4 \text{ gr.} \rightarrow 1000 \text{ ml} \\ 1.7 \text{ gr.} \rightarrow X \end{array}$$

$$X = 425 \text{ ml de agua destilada}$$

Esto nos quiere decir que la cantidad de agua destilada que se aplicará será de 425 ml, por ende para el resto de sustancias se procede a relacionar con este volumen. Para el cianuro de Potasio se realiza el siguiente cálculo:

Cianuro de Potasio al 2%

$$\begin{array}{l} 425 \text{ ml} \rightarrow 100\% \\ X \rightarrow 2\% \end{array}$$

$$X = 8.5 \text{ gr. de Cianuro de Potasio}$$

Por ser un baño ácido se hará la aplicación del reactivo denominado Ácido Cítrico ($C_6O_7H_8$) y en combinación con el Citrato de Potasio ($C_6O_7H_6K_2$) debemos estar en un rango de pH entre 3 y 6, por lo cuál las cantidades pueden ser seleccionadas de acuerdo a los resultados obtenidos al medir el pH. Para lo cuál se aplicará un 50% de cada reactivo, esto quiere decir que:

Ácido Cítrico y Citrato de Potasio 90gr/lit

Ácido Cítrico 45 gr./lit

Citrato de Potasio 45 gr./lit

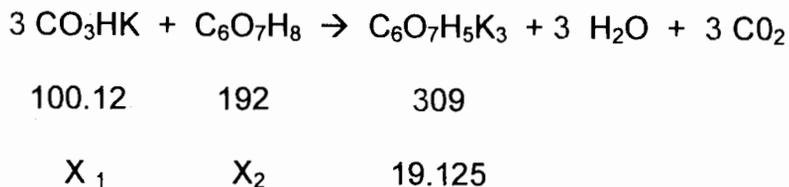
$$45 \text{ gr.} \rightarrow 1000 \text{ ml}$$

$$X \rightarrow 425 \text{ ml}$$

$X = 19,125 \text{ gr.}$ De Ácido Cítrico / Citrato de Potasio

Debido a que el citrato de potasio es considerado un precursor en la producción de droga, no se pudo obtener por ende se tuvo que hacer la obtención de citrato de potasio por mezcla de soluciones, esta se realizó de la siguiente manera.

Con la unión del ácido cítrico y el bicarbonato de potasio se puede obtener la siguiente ecuación.



$$X_1 = \frac{100.12 * 19.125}{309} = 6.2gr$$

$$X_2 = \frac{192 * 19.125}{309} = 11.88gr$$

Por lo cual para poder obtener la cantidad necesaria de citrato de potasio debamos realizar la mezcla de las soluciones antes citadas con las cantidades descritas anteriormente en el cálculo.

Habiendo hecho previamente la selección de las soluciones a usar en el proceso, se procederá a colocar las probetas sujetas por un alambre de cobre, el cuál irá soportado por una barra de cobre al igual que los ánodos, de esta manera se aprovecha la

conducción de la corriente que es otorgada por la fuente de voltaje.

El recipiente que servirá para el proceso, tiene que cumplir con una serie de requisitos diferentes, tales como resistencia mecánica contra choque y ruptura, presión del líquido y temperatura sea el caso necesario, buena resistencia química contra el ataque de las soluciones del electrolito.

Se realizarán distintos ensayos que servirán para lograr obtener un eficiente proceso de dorado.

2.1.3 Post proceso

Luego de la electrodeposición se debe realizar la limpieza al material de las soluciones del baño y además se puede dar un proceso de pulido con un paño para obtener el brillo que debe tener, este puede ser realizado con un paño aplicado en joyería y luego puede ser empleado para su análisis posterior, en este caso puede ser aplicada en una cuba donde se limpie con agua, una opción adicional puede ser la recuperación de la solución, en el caso de que sea bastante solución utilizada.

Recuperación.- Debido a que el oro es caro, uno a más arrastres son usados para recuperar la solución a la salida del trabajo. La recuperación de esta solución puede ser usada para reemplazar las pérdidas por evaporación en los baños calientes.

Cuando este método de recuperación no es posible, el oro de las soluciones cianuradas puede ser recuperadas por:

- a) Electrólisis
- b) Precipitación
- c) El uso de resinas de intercambio de iones
- d) Procesos de refinamiento

2.2 Equipos Empleados

Los elementos constitutivos de un Banco Experimental se los especifica claramente en el Apéndice A.

Para el presente proceso se detallará cuales son los Equipos utilizados basado en el Apéndice antes mencionado.

Materiales

- a. 12 Probetas
- b. Ánodos de acero inoxidable
- c. Alambre de cobre conductor para sostener las probetas
- d. 3 barras conductora de cobre
- e. Papel filtro
- f. Guantes plásticos
- g. Lija fina (opcional)
- h. Embudo
- i. Agitador de vidrio
- j. Balón 50 ml, 100 ml y 250 ml
- k. Vasos de precipitación graduados para contener las soluciones
- l. Pinza de acople tipo lagarto.

Equipos

- a. Equipo suministrador de corriente (rectificador).
- b. 2 cubas para el pre-proceso (limpieza).
- c. 1 cuba para electrolito de proceso de pulido electrolítico (10 cm.*10 cm.* 5 cm.).

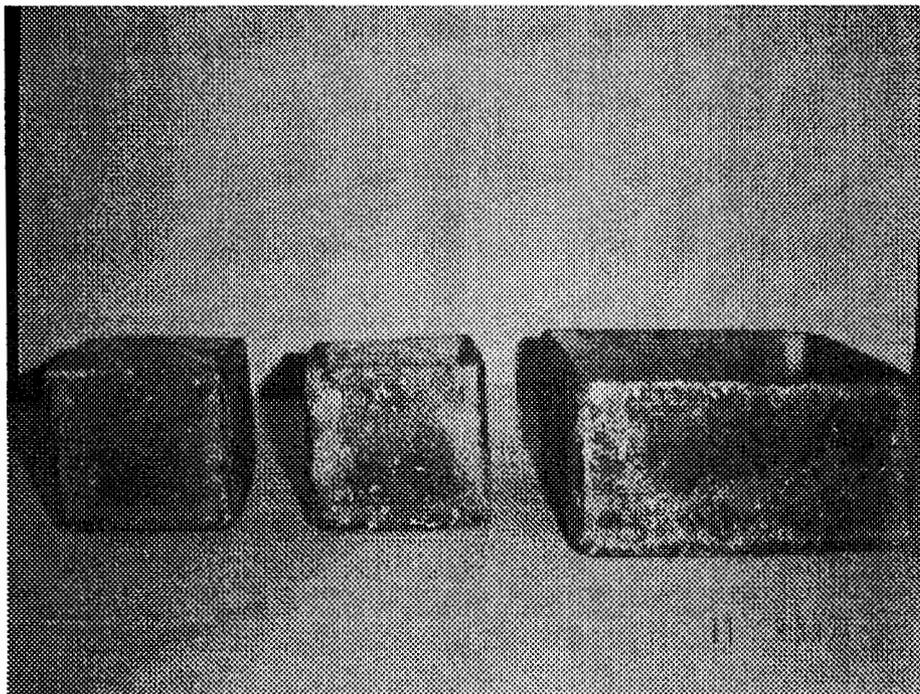
- d. 1 cuba para electrolito de proceso Dorado (10 cm.*10 cm.* 5 cm.).
- e. Soporte para barras de Cu.
- f. Medidor de pH
- g. Multímetro
- h. Cronómetro
- i. Balanza electrónica.

Recipientes de materiales sintéticos

Los recipientes de materiales sintéticos tuvieron una gran aceptación en la práctica, sobretodo cuando consideramos sus propiedades físicas y químicas. Se deben considerar:

- Sensibilidad a la temperatura, los materiales sintéticos son a base de cloruros de polivinilo resisten a una temperatura de por lo menos 60°C;
- Resistencia química;
- Resistencia al choque o rompimiento. Para esta finalidad, fueron desenvueltas ciertas combinaciones, que consisten en un recipiente interno de PVC o polipropileno y un externo de poliéster con lana de vidrio.

Los recipientes empleados en este proceso son de fibra de vidrio en la parte externa y una resina internamente.



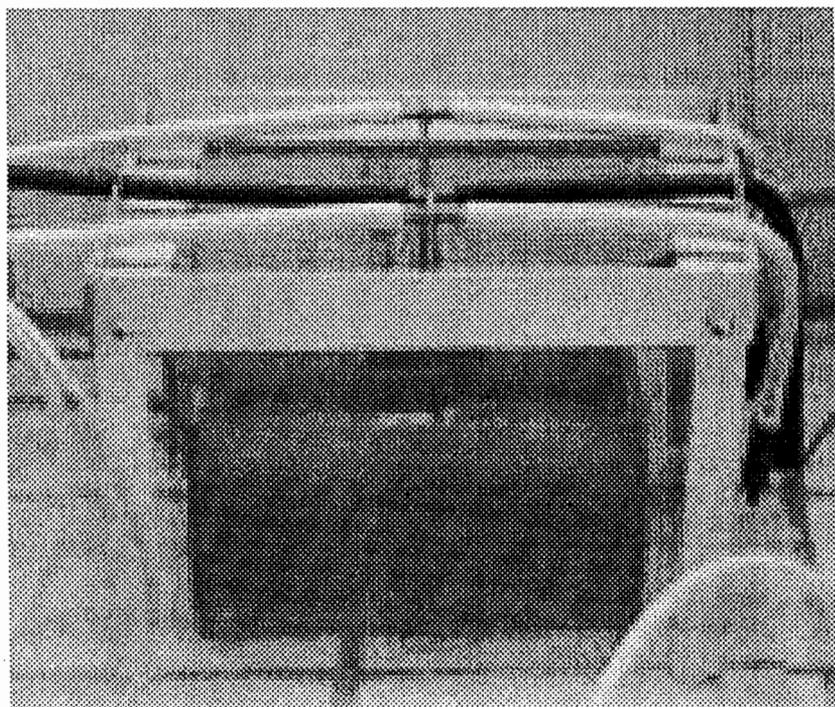
**FIGURA 2.14 CUBAS PARA REALIZAR PROCESO
ELECTROLÍTICO DE ORO**

Soporte de Barras de cobre

Para que el proceso se pueda realizar de una manera fácil, se debe contar con un soporte en donde se sostendrán las barras

conductoras de Cu las cuales tienen que suspenderse sobre el recipiente en donde estará la solución para el proceso.

Por lo general estos soportes son metálicos debido al contacto que pueden tener con las soluciones, el soporte utilizado es de aluminio, sus dimensiones son de 100 mm de altura y 150 mm por lado, posee canales donde estarán ubicadas las barras conductoras para mantener constancia en la distancia entre ánodo y cátodo durante el proceso.



**FIGURA 2.15 SOPORTE PARA REALIZAR PROCESO
ELECTROLÍTICO DE ORO**

Ánodos

Los electrolitos galvánicos necesitan, para la deposición de metales o para disolución, de polos contrarios en forma de ánodos o cátodos, solubles o insolubles. Ánodos insolubles son usados para baños electrolíticos preliminares (desengrasamiento, decapado, plateado inicial) y electrolitos de deposición metálica (cromado, metales nobles), bien para metalización final, y constan dependiendo de la composición del electrolito, de hierro, acero inoxidable, hierro-silicio, grafito, aleaciones de plomo y platino.

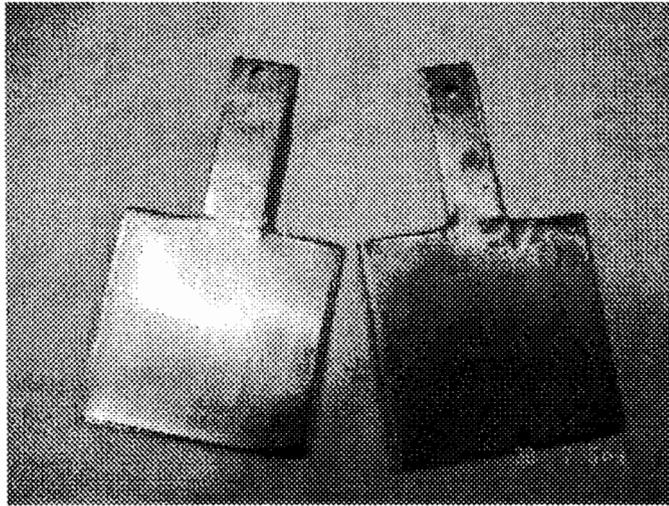


FIGURA 2.16 ÁNODOS INSOLUBLES DE ACERO INOXIDABLE

- Adición de níquel para hacer los depósitos blancos; el níquel es deseable porque adiciona dureza al depósito y provee una resistencia al desgaste
- Adición de plata para hacer depósitos verdes
- Adición de cadmio para hacer depósitos verdes.

La efectividad del metal base es incrementada con una alta concentración o con bajos niveles de cianurato de potasio. El tiempo es mínimo en el mantenimiento del destellado, usualmente es de 5 a 15 segundos.

Rectificador de Corriente

La fuente de poder debe tener las características de poder otorgar las cantidades precisas de corriente como de voltaje, que es en donde radica un buen desempeño del proceso de deposición.

Las fuentes de poder utilizadas tienen las siguientes características:

- Puede trabajar con corriente alterna o continua.
- Puede tener variaciones de Amperaje en el orden de milésimas de amperio, de 5 – 150 mA, con un voltaje máximo de 2 V.
- El segundo rectificador trabaja con voltaje variable hasta 20 voltios y un amperaje máximo de 4 Amp, en el voltaje máximo de 50 V.

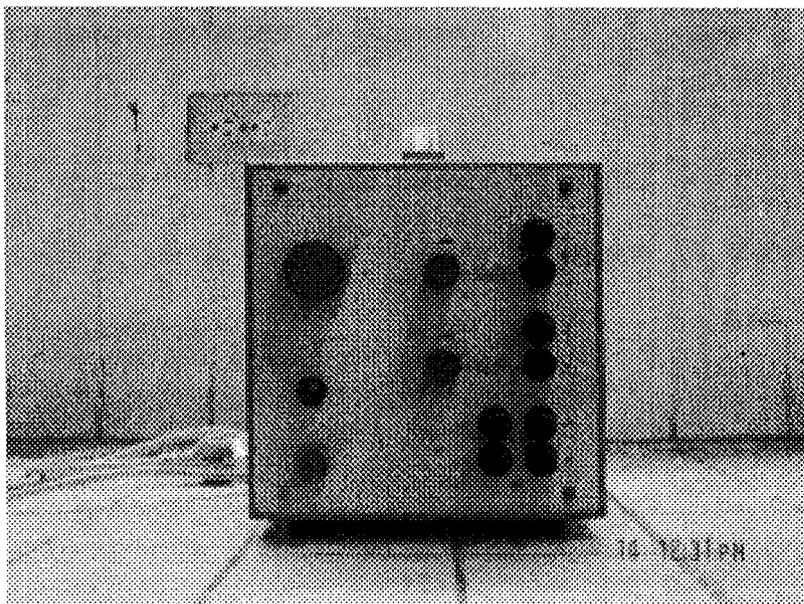


FIGURA 2.17 PRIMER RECTIFICADOR DE CORRIENTE

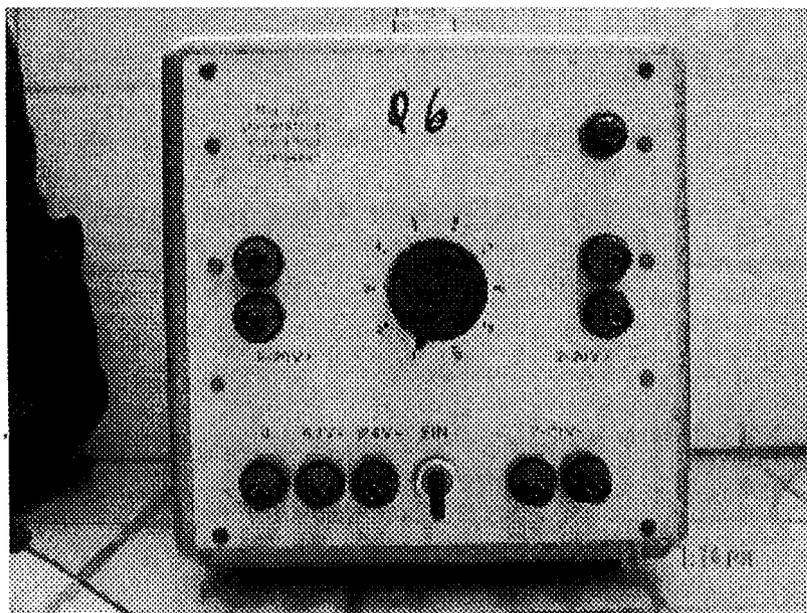


FIGURA 2.18 SEGUNDO RECTIFICADOR DE CORRIENTE

2.3 Cálculos para el Proceso de Dorado

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

Por medio de esta ley se puede determinar el espesor que se aplicó, la cantidad de masa depositada de recubrimiento, se puede determinar cuál es la corriente necesaria para lograr cierto objetivo.

En nuestro proyecto se procederá a calcular el tiempo de deposición, manipulando datos de espesores, concentraciones y áreas, las cuales se determinarán por medio de los ensayos si cumplen con los resultados teóricos. Habiendo obtenido las características del baño que se realizará, tomaremos los datos para desarrollar los cálculos.

Para el caso de conectores, las industrias han determinado ya un espesor que cumple con las exigencias de su aplicación, este espesor será el que se aplicará para este ensayo empleando los cálculos respectivos para determinar un tiempo teórico cercano al real, y no sobrepasar el espesor deseado.

Para un espesor de $5\mu\text{m}$.

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

$$e = \frac{W}{s * p} \quad (1)$$

Donde:

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

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

$$W = e * s * p$$

$$e = 5 \mu\text{m} = 0.5 * 10^{-3} \text{ cm.}$$

La pieza que será utilizada para recubrir tiene las siguientes dimensiones como un promedio para el cálculo, dando las dimensiones de los dos lados y su espesor respectivamente:

$$40*30*2 \text{ (mm)}$$

La superficie a recubrir será:

$$s = 2680 \text{ mm}^2 = 26.80 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 19.3 \text{ gr./cm}^3$$

Por ende el peso del material depositado es:

$$W = 26.8 * (0.5 * 10^{-3}) * 19.3$$

$$W = 0.26 \text{ gr}$$

Una vez obtenido el peso se procede a usar la ecuación de la Ley de Faraday.

$$W = \eta * I * E * t \quad (2)$$

Donde:

W = peso del metal depositado (gr.)

I = Corriente generada (Amp)

t = tiempo de exposición (hrs.)

E = Equivalente electroquímico (gr. /Amp-hrs.)

η = Eficiencia

$$E = \frac{\text{peso..equivalente}}{\text{cte..Faraday}} = \frac{\frac{\text{peso.atómico}}{\text{valencia}}}{96500..Amp * \text{seg}} = \frac{\frac{\text{peso.atómico}}{\text{valencia}}}{26.8..Amp * \text{hr}}$$

$$E = \frac{196.96}{26.8} = 2.44.\text{gr} / \text{Amp} * \text{hr}$$

Obtenido el dato del equivalente electroquímico, se procede a calcular la corriente aplicada:

$$i = \frac{I}{A_T} \quad (3)$$

Dondè:

I = corriente (Amp)

i = densidad de corriente (Amp/dm²)

A_T = Área total (dm²)

La densidad de corriente del tipo de baño a aplicar va desde los 107 Amp/m², por lo que podemos realizar varios ensayos con distintas densidades de corriente. Para el cálculo tomaremos dicho valor mínimo de densidad de corriente para encontrar la mínima corriente.

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

$$I = i * A_r = 1.07 \frac{\text{Amp}}{\text{dm}^2} * 0.268 \text{dm}^2 = 0.2867 \text{Amp}$$

Debido a que la corriente es muy baja se tomará como corriente en la práctica hasta un valor que se considere bueno y estable.

Habiendo obtenido el dato se procederá a calcular el tiempo de inmersión para ese espesor deseado anteriormente, considerando una eficiencia de un 75% en el proceso tenemos:

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

$$W = 0.75 * 0.2867 * 2.44 * t$$

$$t = \frac{0.26}{0.2867 * 2.44 * 0.75} = 0.4955 \text{hrs}$$

$$t = 29 \text{ min } .44 \text{seg}$$

Tenemos que para obtener un espesor de 5µm, usando las características que proporciona el baño tomará un tiempo de 29 minutos con 44 segundos efectuarse la electrodeposición en la probeta.

Considerando que se efectuarán cambios en el proceso este será un estimado de los resultados obtenidos en los baños que se realizarán.

2.4 Control de Variables

2.4.1 Control de Temperatura

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

Cuando el aumento de temperatura no va acompañado de el aumento de la densidad de corriente, el efecto de esta se traduce a un aumento del tamaño de los cristales como consecuencia de la disminución de la polarización., es decir la densidad de corriente elevada contrarresta el efecto de la temperatura.

2.4.2 Densidad de Corriente

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

Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionará inclusive depósitos quemados, como consecuencia de un incremento excesivo de hidrógeno en la superficie a dorar, lo que no permite la buena adherencia de la película de oro. Y además se vuelve pasivo el ánodo y no desprende metal, lo que genera disminución en la concentración del baño. Si por en cambio se aplica una densidad de corriente muy baja, la deposición es lenta se pierde tiempo y el proceso se torna irregular y con pérdida de brillo.

2.4.3 Concentración de Baño



Si se habla sobre la concentración de los baños, se puede decir que lo más apropiado es usar altas concentraciones para que las sales dadas cumplan con el proceso. Al emplear soluciones de alto contenido se pueden presentar ventajas y desventajas, que se darán a continuación.

Para el caso de ánodos insolubles, si los ánodos no se disuelven la causa más probable es que el electrolito contenga iones de sodio, para esto se debe precipitar el oro y renovar el baño, si embargo los ánodos presentan manchas oscuras, eso significa falta de cianuro de potasio, para lo cuál hay que adicionar a la solución cianuro de potasio disuelto, este es el mismo caso si es que no se deposita el oro en el metal base. Si las capas de oro se presentan oscuras, quiere decir seguramente que el electrolito contiene cobre, por lo que se debe precipitar el oro y renovar el electrolito, si se presentan capas de oro rojas o esponjosas, quiere decir que el contenido metálico es muy bajo por lo que se debe adicionar sales de oro.

2.4.4 Tiempo de Inmersión

El tiempo de inmersión es muy representativo ya que este determina cuán bueno es el proceso de acuerdo a costos, si los parámetros son óptimos y se determina un tiempo muy elevado el espesor de la película será demasiado grueso lo cuál conlleva a un costo muy excesivo de materia prima, al igual que si se deja un tiempo muy corto el espesor de película será tan delgado que no cumplirá satisfactoriamente con los requerimientos del recubrimiento.

El tiempo de inmersión también determina la calidad y apariencia del proceso ya que puede ser un recubrimiento muy fino que no cree una buena adherencia la cuál vaya a dañar a la pieza y perder su funcionalidad, o puede tener un tiempo innecesario lo cuál cambie las características del recubrimiento en su color, forma, rugosidad, y demás aspectos que se vinculen con el proceso.

2.4.5 Agitación

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

El resultado de la agitación es permitir usar una densidad de corriente elevada con el propósito de producir un depósito con excelente estructura, sin perturbaciones ocasionadas generalmente, además contribuye a una mejor difusión de iones metálicos.

Cuando se tiene rápida agitación se presenta el problema de desprendimiento de partículas del ánodo al mismo tiempo que se agitan las partes sedimentadas del fondo de la celda, ocasionando depósitos porosos y rugosos.

2.5 Espesor Óptimo del Recubrimiento

En esta fase se procederá a realizar las variaciones de parámetros cambiando las condiciones del proceso. Esto es realizar el control respectivo de las variables presentes de tal forma que se obtenga los espesores deseados en las probetas asignadas para el efecto.

La cantidad de probetas ensayadas serán 12, se realizarán los cambios de las variables presentes en el proceso de recubrimiento, tomando cuatro variaciones en donde se formarán conjuntos de 3 probetas para poder obtener las curvas esperadas, en esta la densidad de corriente será la que varia desde 107 Amp/dm^2 , de esta forma se controla la cantidad de voltaje presente y así podemos determinar la cantidad de energía que se necesitará para llegar a obtener un espesor determinado y tratar de obtener en lo posible parámetros óptimos tanto de corriente como el tiempo de inmersión, debido a que un tiempo muy alto conlleva a un aumento en el costo del proceso.

TABLA XIV

VARIABLES APLICADAS PARA CADA PROBETA

	DIMENSIONES (mm)			VARIABLES			
	l	a	e	V (v)	I (Amp)	T (min.)	d.a.c. (mm)
Probeta 1	38.5	27.45	1.3	2	1	30	20
Probeta 2	40.8	29.55	1.45	2	1	30	40
Probeta 3	40.65	28.05	1.6	2	1	30	50
Probeta 4	40.4	30.05	1.5	2	1	30	50
Probeta 5	40.6	29.7	1.55	2	1	40	50
Probeta 6	40.0	29.0	1.6	2	1	50	50
Probeta 7	40.4	28.4	2	2	0.3	30	50
Probeta 8	40.9	29.6	1.75	4.5	0.3	30	50
Probeta 9	40.5	29.55	2	6	0.3	30	50
Probeta 10	40.6	27.55	1.6	2	0.3	20	50
Probeta 11	40.5	27.55	1.5	2	0.6	20	50
Probeta 12	40.6	29.5	1.55	2	0.8	20	50

Las diferentes tablas que se realizarán serán las citadas a continuación:

- Análisis espesor vs. Tiempo
- Análisis espesor vs. Densidad de Corriente
- Análisis espesor vs. Corriente
- Análisis espesor vs. Distancia ánodo / cátodo
- Análisis espesor vs. Voltaje
- Análisis peso vs. Tiempo
- Análisis peso vs. Densidad de Corriente
- Análisis peso vs. Corriente
- Análisis peso vs. Distancia Ánodo / Cátodo
- Análisis peso vs. Voltaje

Por medio de estas tablas se podrá obtener un resultado que determine el mejor proceso de dorado bajo las condiciones de trabajo actuales.

TABLA XV

ANALISIS DEL ESPESOR VS. DISTANCIA ANODO / CATODO

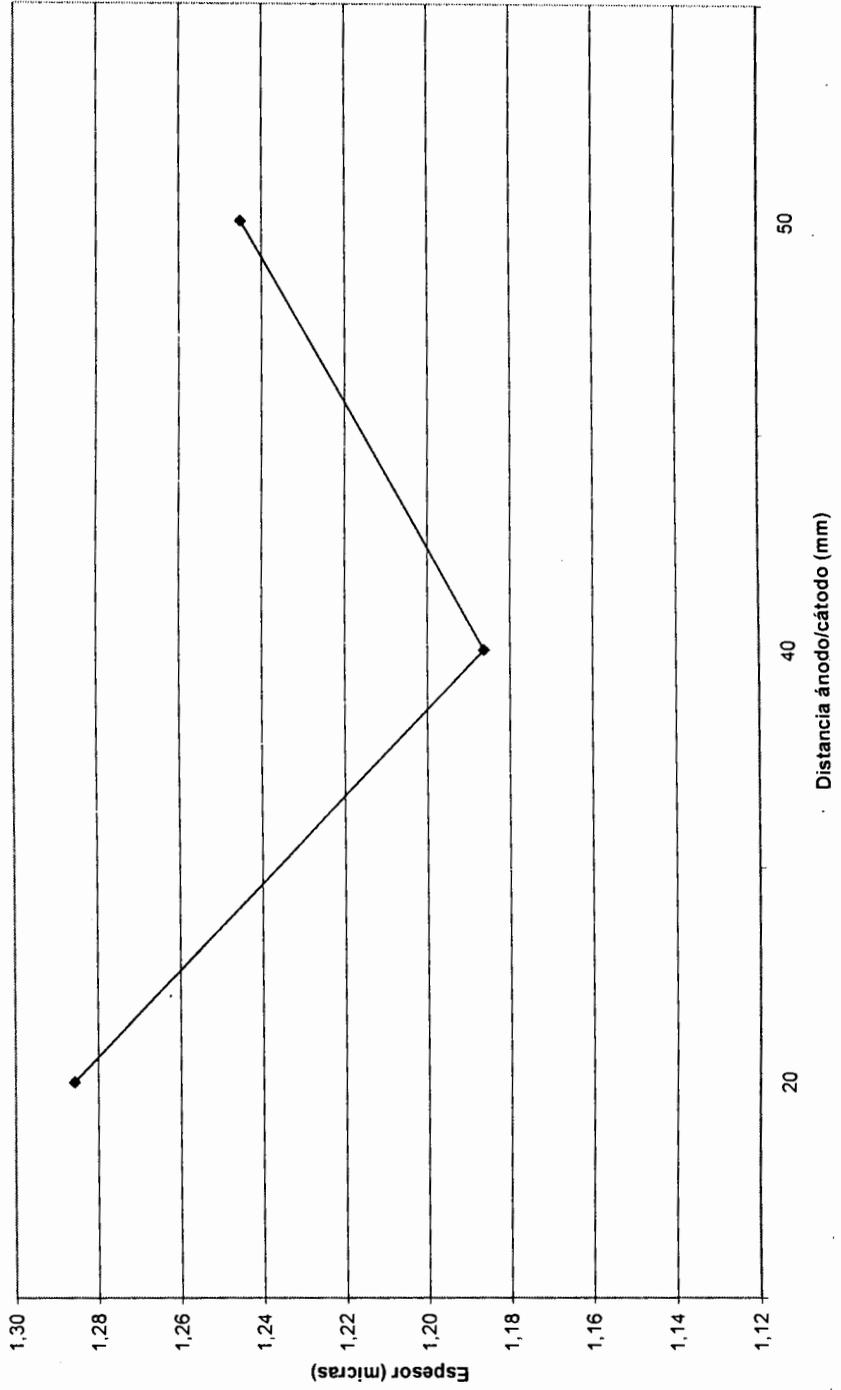


TABLA XVI

ANALISIS DEL ESPESOR VS. TIEMPO

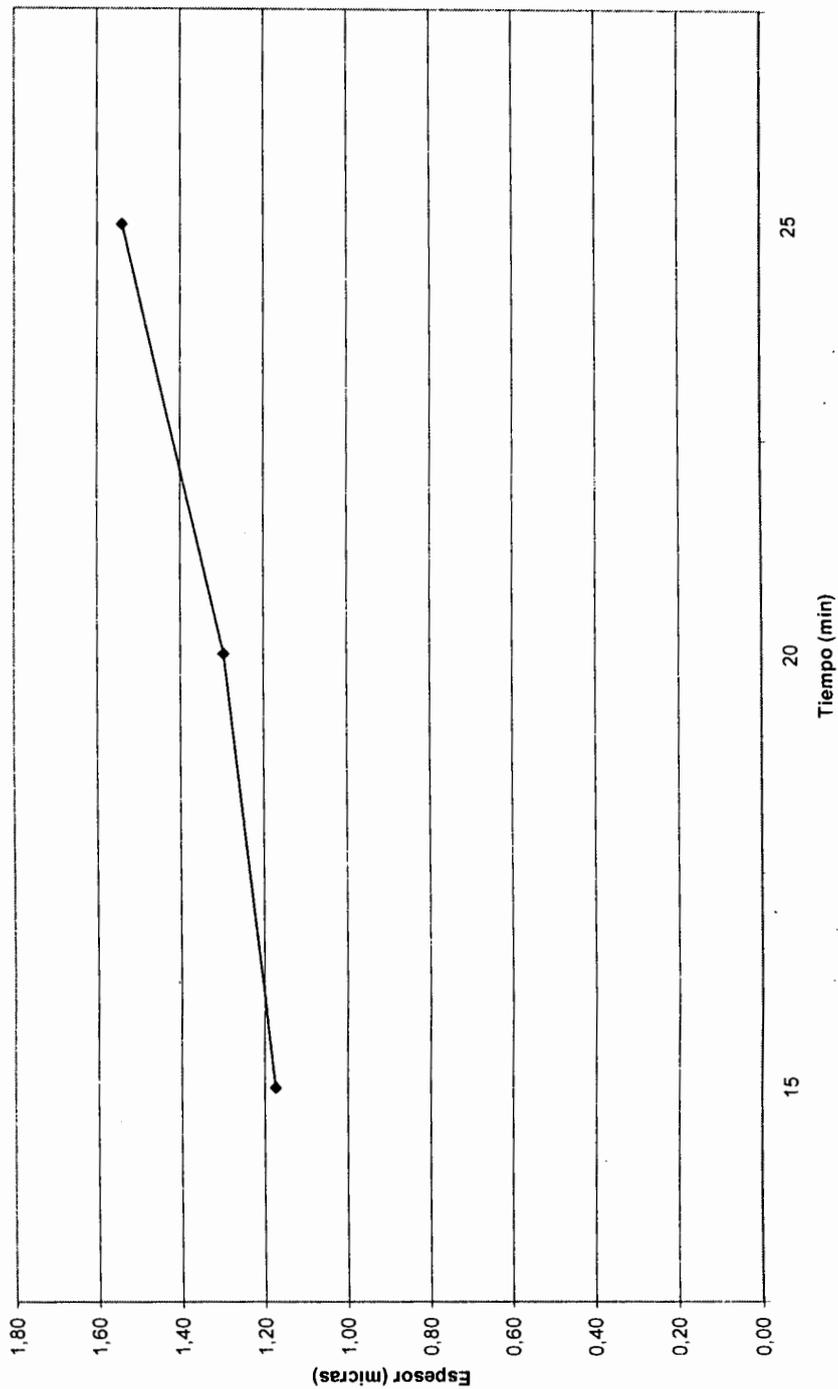


TABLA XVII

ANALISIS DEL ESPESOR VS. VOLTAJE

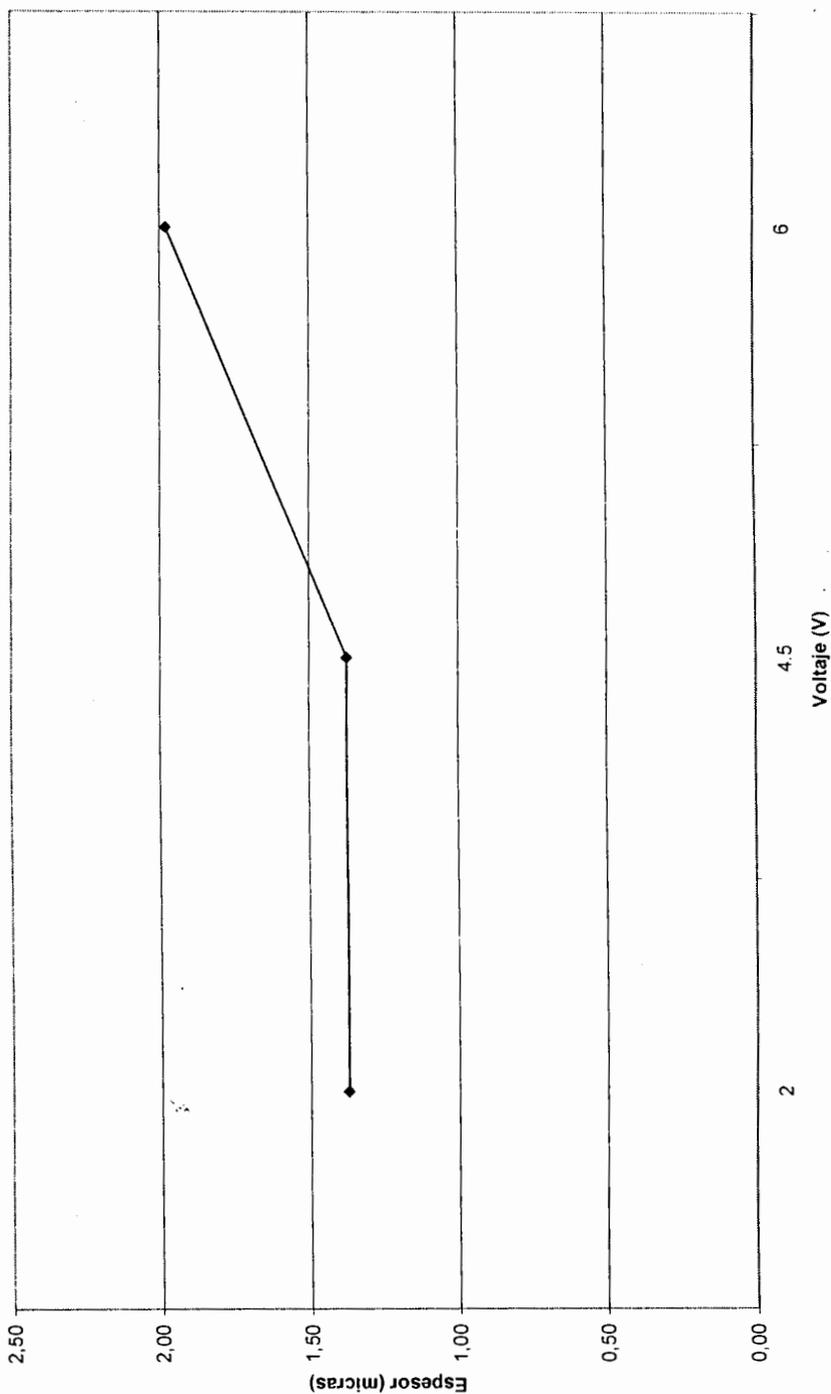


TABLA XVIII

ANALISIS DEL ESPESOR VS. CORRIENTE

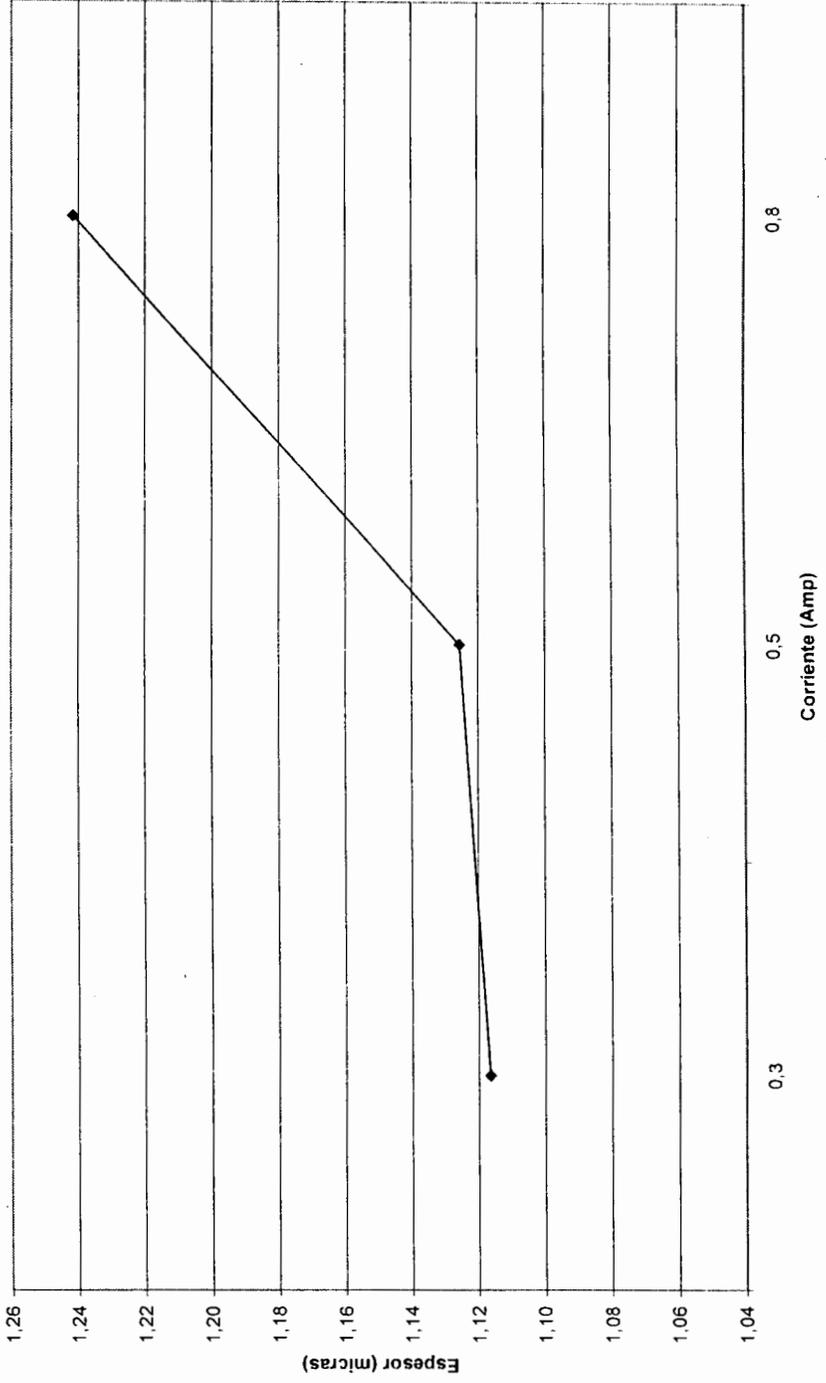


TABLA XIX

ANALISIS DEL ESPESOR VS. DENSIDAD DE CORRIENTE

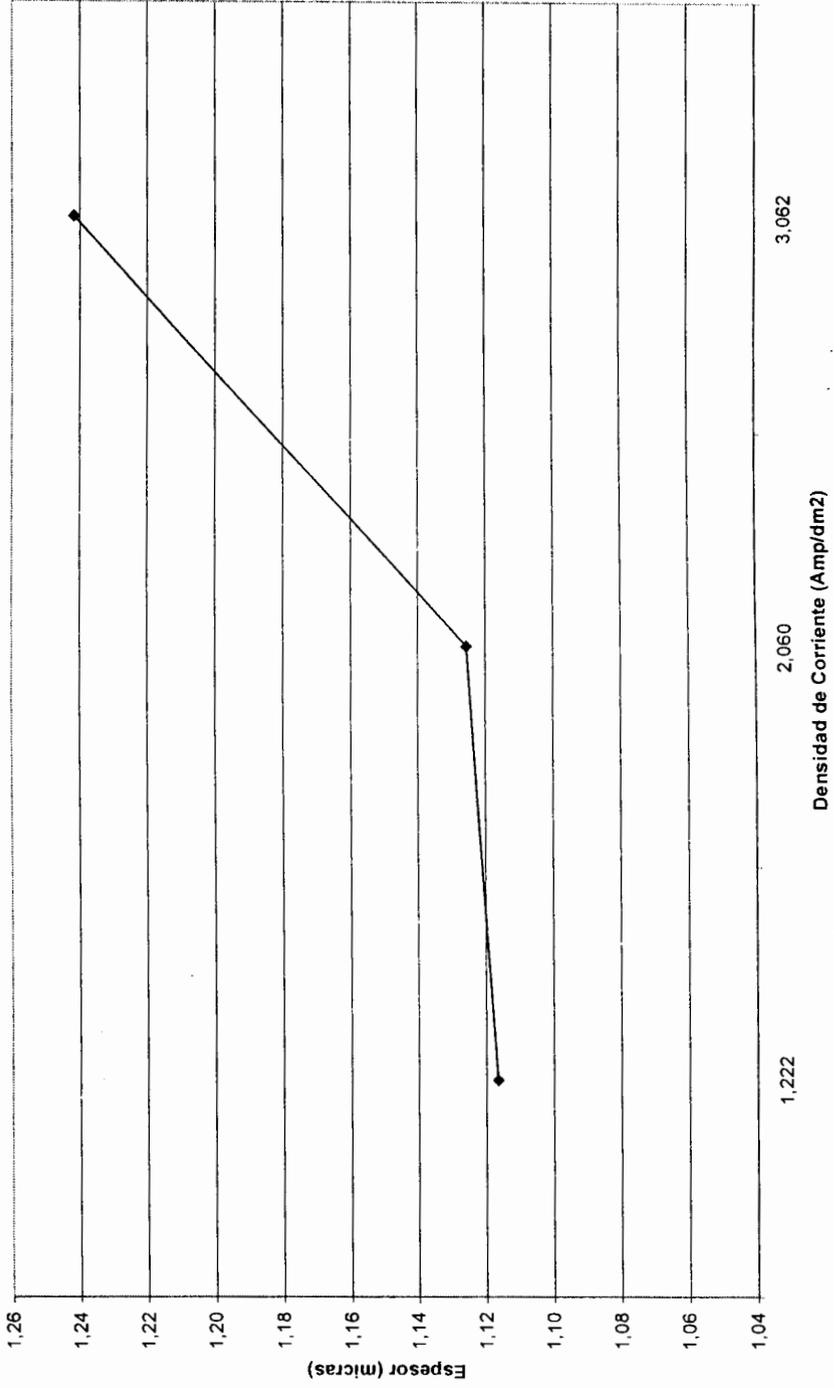


TABLA XX

ANALISIS DEL PESO VS. DISTANCIA ANODO / CATODO

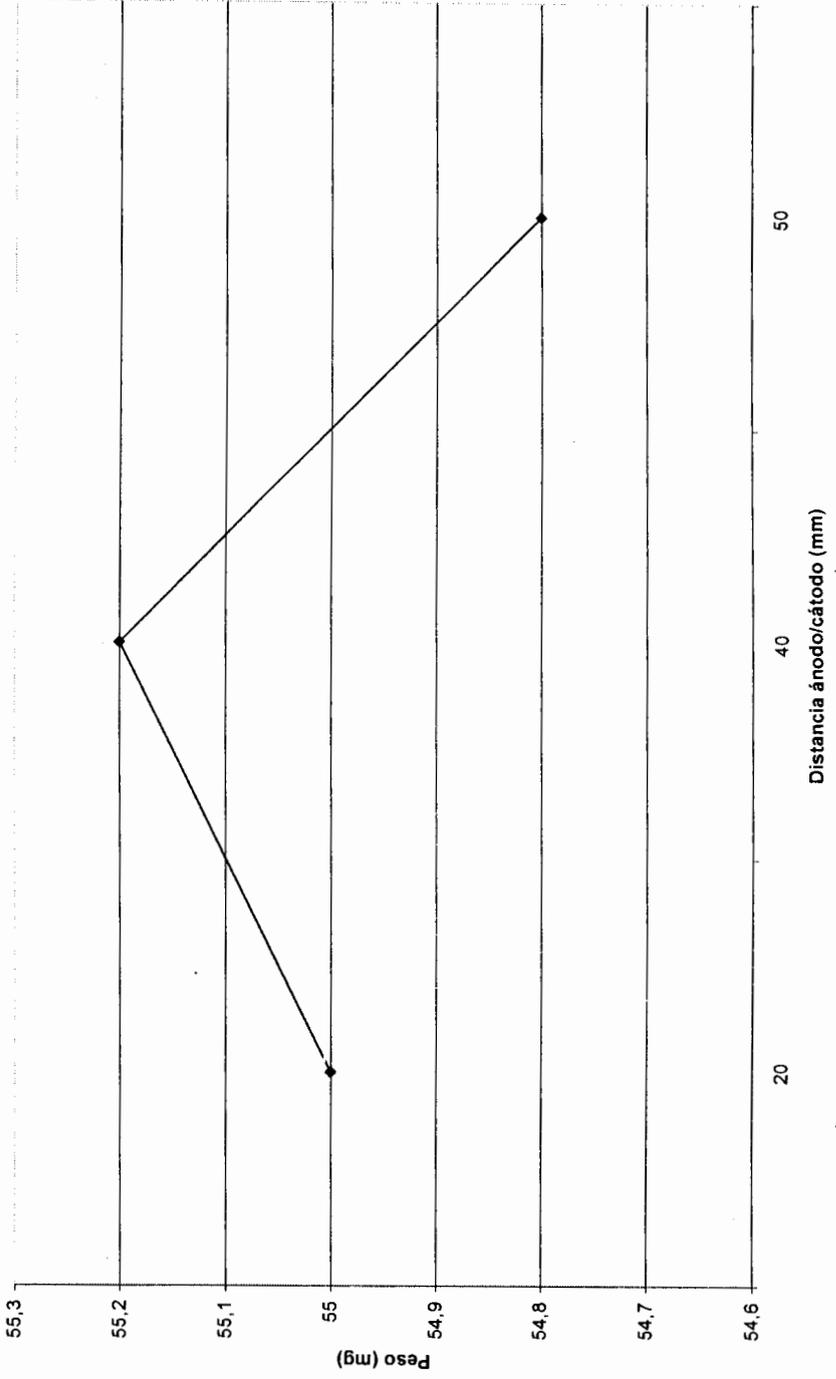


TABLA XXI

ANALISIS DEL PESO VS. TIEMPO

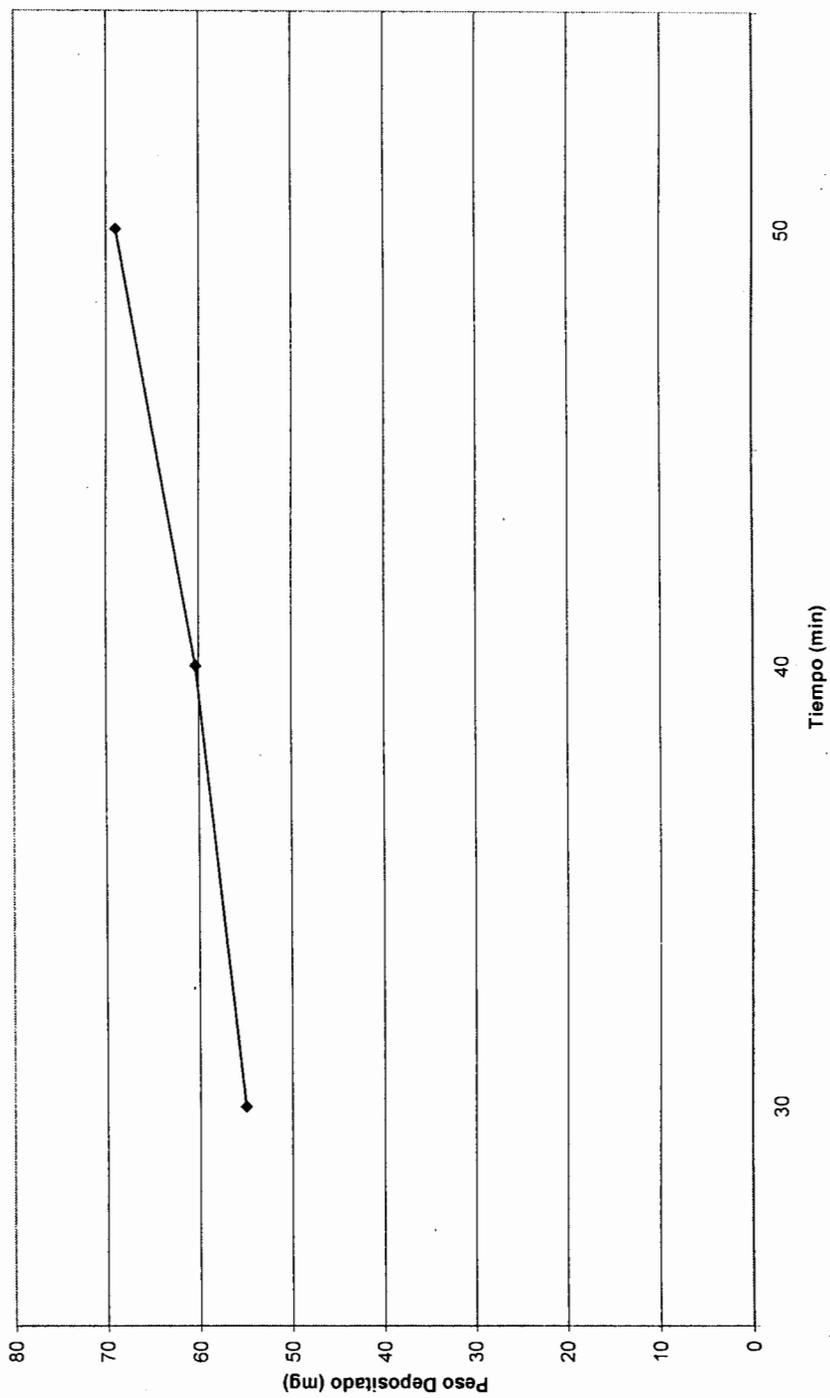


TABLA XXII

ANALISIS DEL PESO VS. VOLTAJE

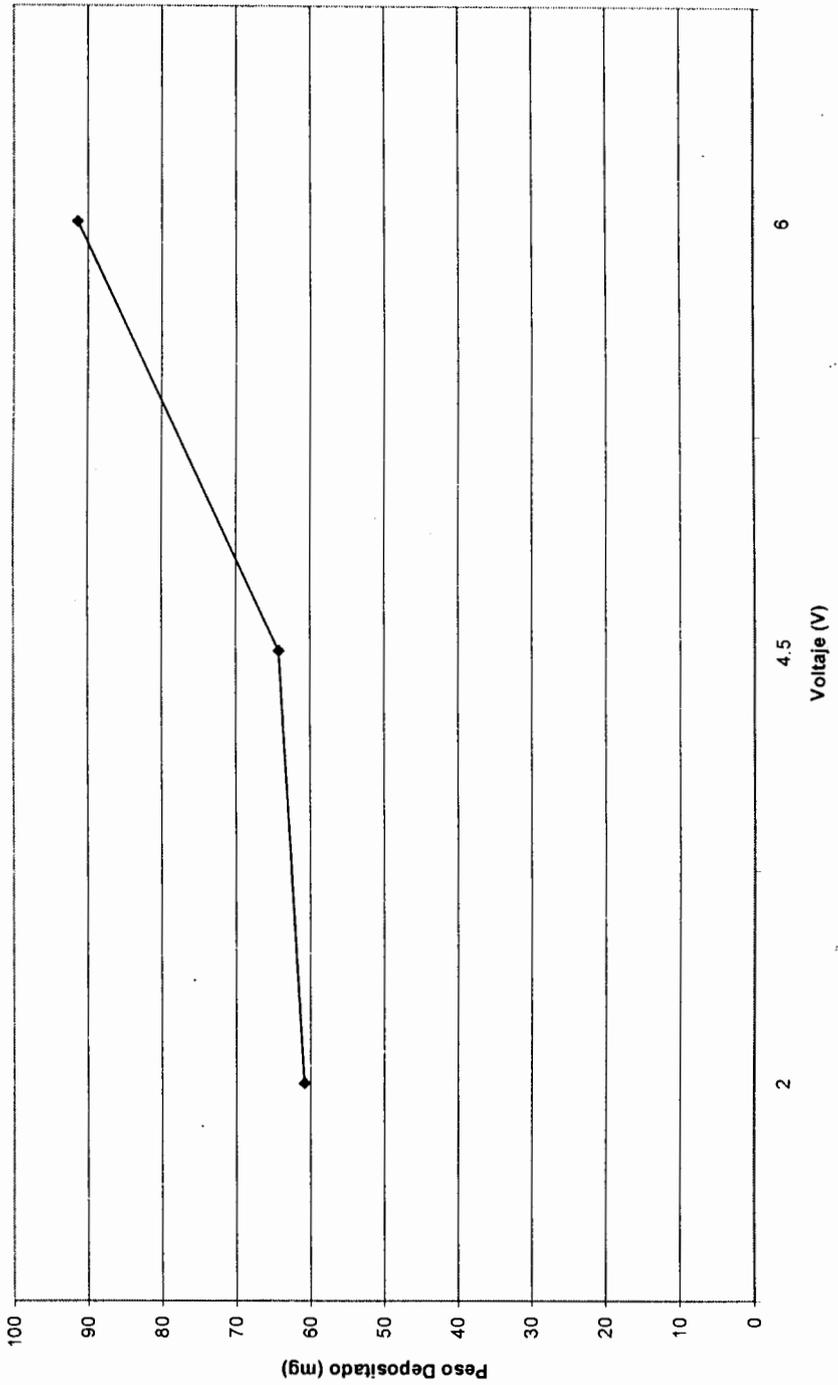


TABLA XXIII

ANALISIS DEL PESO VS. CORRIENTE

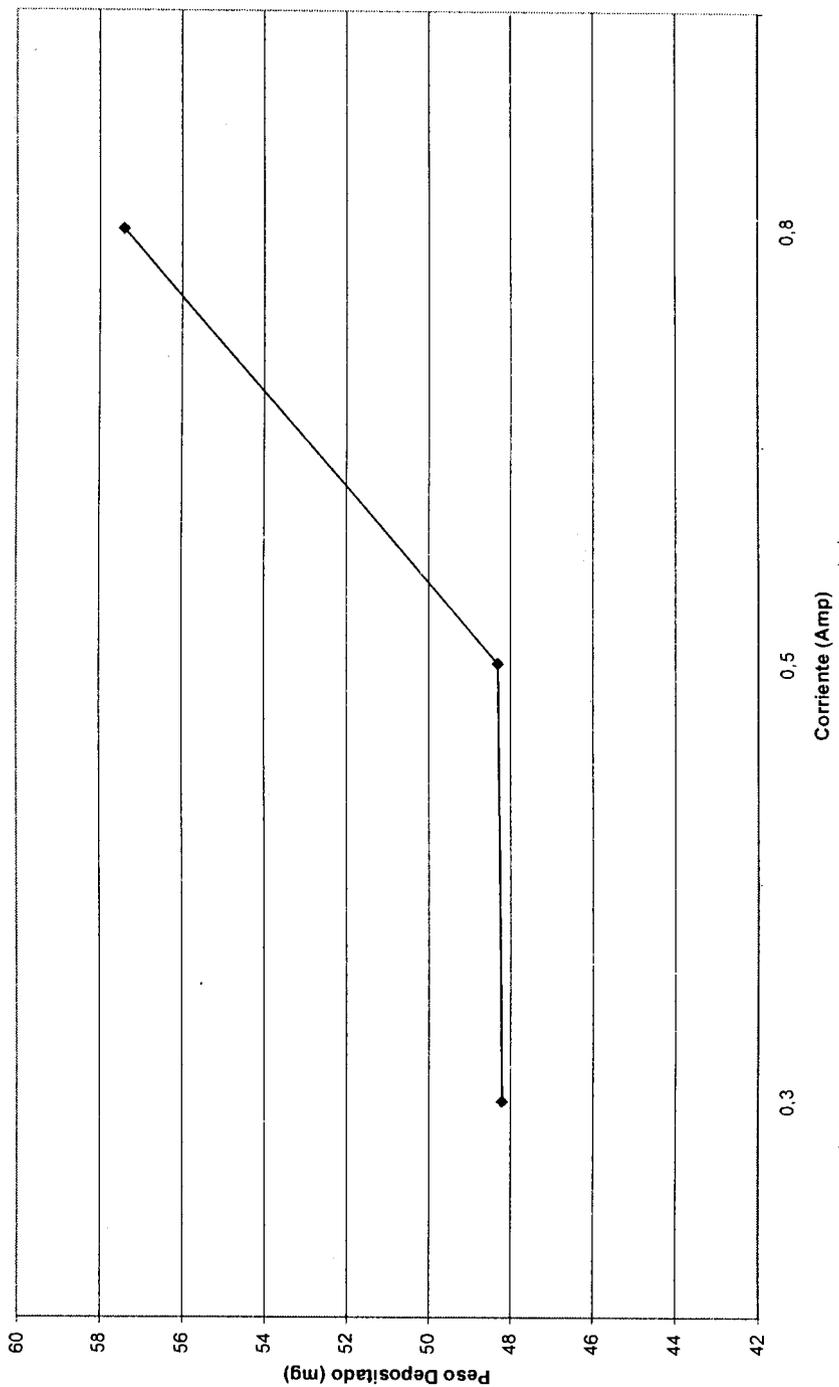
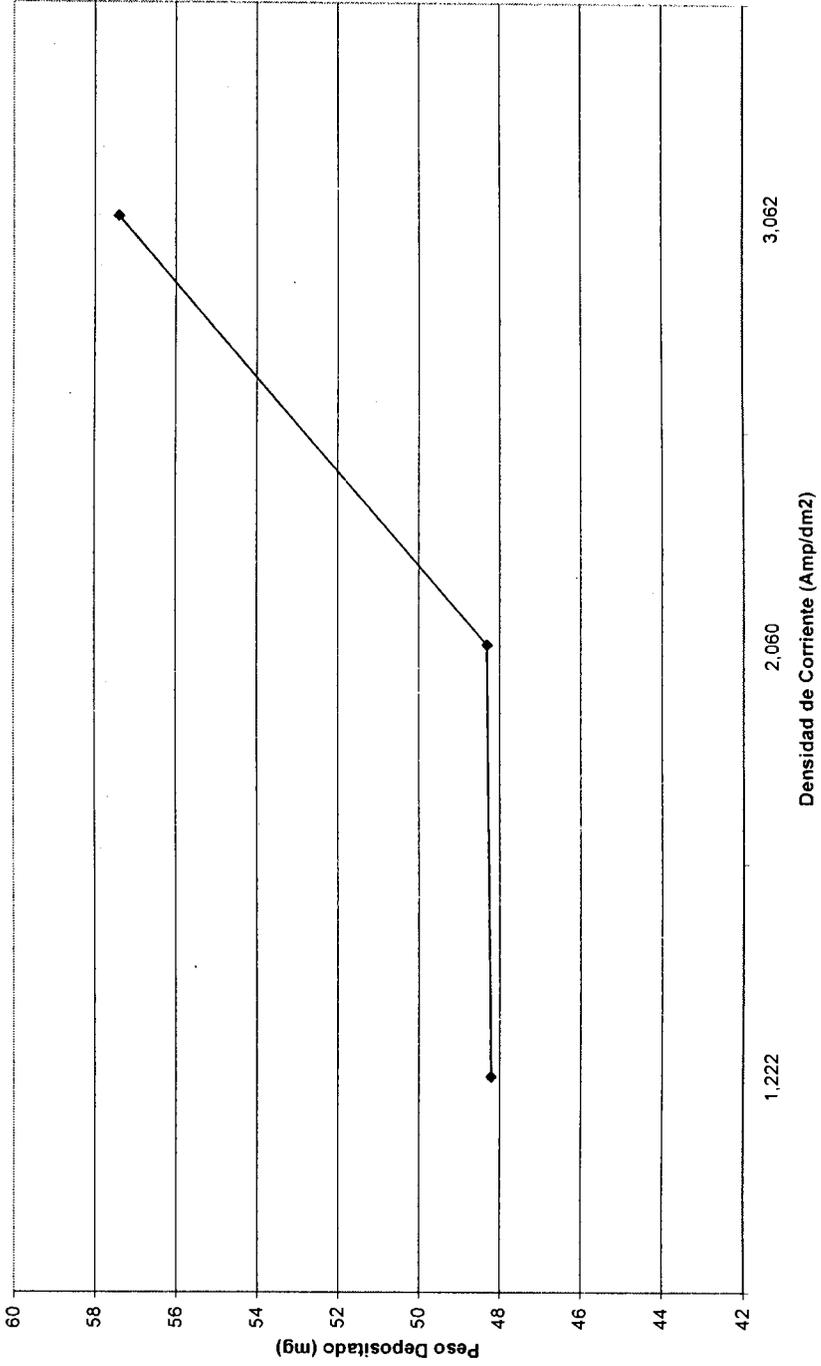


TABLA XXIV

ANALISIS DEL PESO VS. DENSIDAD DE CORRIENTE



Una vez analizados cada uno de los procesos es fácil poder darse cuenta que el proceso electrolítico de oro es un proceso de deposición lenta pero continua, ya que al realizar un proceso con una densidad de corriente elevada se pudo observar durante el ensayo que no existe adherencia del metal de recubrimiento al metal base y además no hay un espesor determinado que se pueda medir, por lo cuál se deben realizar varias veces el proceso para poder llegar a obtener un espesor que esté próximo al requerido.

Las probetas que estuvieron manufacturadas con un proceso de baja corriente, tiempos extensos y una agitación moderada obtuvieron buenos resultados, obviamente no los esperados debido a las deficiencias de los equipos utilizados.

Se puede notar claramente que en el análisis hecho entre el peso depositado y la distancia de ánodo/cátodo no representa ningún cambio ya que esa pequeña diferencia de valores es casi imperceptible por ende es comprobado que para un baño de este tipo y de estas dimensiones no produce ninguna variación la distancia, claro está que si es un proceso mas grande tipo industrial esta distancia afecta en la capacidad de percibir los iones metálicos sea el caso de un ánodo soluble.

Una densidad de corriente que varíe acompañado de agitación moderada no fuerte ya que produce marcas en la probeta recubierta que no se pueden eliminar, es bastante efectivo observar hasta donde llegan los límites de eficiencia de la misma, claro está en la tabla que con la densidad de corriente 306 Amp/m^2 da muy buenos resultados.

El voltaje es otro factor que influye de una manera considerable en el proceso electrolítico, entonces podemos decir que al aplicar los valores de mayor efectividad podemos tener un buen proceso de buenas características.

Para obtener un resultado de cual es el mejor proceso, realizaremos en nuestro proyecto un estudio de calidad del recubrimiento, y entonces podremos seleccionar cuál es el mejor recubrimiento.

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de Aceptación del Recubrimiento

Los análisis de aceptación de un recubrimiento son una parte importante en el proceso ya que no se puede permitir un rechazo luego de haber realizado toda una serie de recubrimientos que pueden llegar a ser muy costosos, sin antes saber que tan bueno fue el proceso aplicado.

Para nuestro proyecto se realizaron tres análisis que son de vital importancia en estos casos, estos análisis determinan la calidad del material procesado y por ende la aceptación del proceso realizado, hablando desde la preparación de la superficie del

material base, como de las características empleadas en el recubrimiento.

Los análisis que se efectuaron son los siguientes:

- Análisis de Brillo;
- Análisis de Espesor, y
- Ensayo de Adherencia

Aunque no es bien visto el análisis de brillo de un recubrimiento, cabe recalcar que un brillo bueno denota un buen proceso y buena preparación superficial.

El espesor determina cuan bueno es el equipamiento utilizado tanto como las características del baño empleado, este es de suma importancia ya que en todos los casos se basa en el espesor las aplicaciones de dicho proceso.

La adherencia es sin duda el ensayo mas utilizado, ya que una buena adherencia permite que el recubrimiento trabaje bien y no pierda sus características, por las cuales este es aplicado.

A continuación se detallará cada uno de estos análisis de aceptación.

Análisis De Brillo

Norma DIN 50960

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

El poder evaluar, aunque sea de una manera aproximada, el brillo de un depósito, resulta altamente interesante para el galvanotécnico, ya que le proporciona un método simple y adecuado para el control de la calidad, de ésta manera se puede inclusive mejorar la manera de aplicar la técnica.

El brillo de una superficie metálica depende de la cantidad de luz que sea reflejada. Cuanto más luz refleje y cuanto menos difunda, la pieza será más brillante.

La determinación del brillo por **medida de coeficiente de reflexión** ha sido uno de los métodos más utilizados. La manera más sencilla de realizar esta determinación, consiste en colocar el objeto perpendicularmente, a contraluz, sobre una hoja de papel blanco, observando la imagen obtenida.

Un mejor criterio de evaluación del brillo de un depósito, lo proporciona la reflexión sobre el objeto de las letras o dibujos impresos en el papel. Este método nos proporciona un criterio cualitativo, más no cuantitativo.

El método consiste en observar a una distancia de 300 mm, el reflejo de un escrito en negro sobre fondo blanco (con caracteres de 5 mm de altura) sobre la parte de brillante de la muestra a examinar, colocada de frente y paralelamente a la escritura. Ver figura 3.1.

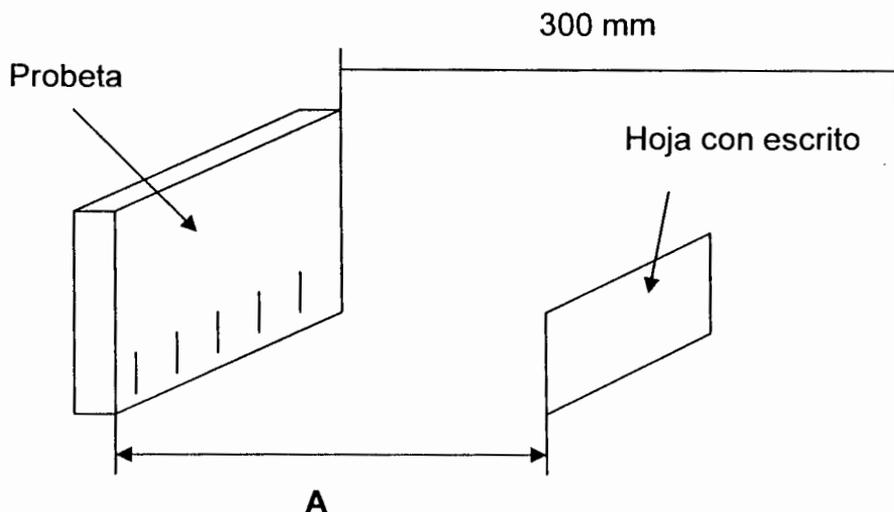


FIGURA 3.1 MÉTODO DE PRUEBAS PARA MEDICIÓN DE BRILLO SEGÚN LA NORMA DIN 50960

De esta manera se procederá a realizar las pruebas para cada una de las probetas recubiertas, y así poder obtener cuál es la mejor probeta en cuanto a brillo se refiere o si existen más cantidad de probetas que poseen esta cualidad.

Probeta 1

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm.

A una distancia de 300 mm la probeta mostró una imagen borrosa del escrito, aunque por defectos de material base no se puede

especificar que sea causa de la probeta si no de las deformaciones que presenta el material.

Por ser ésta una distancia considerable se puede concluir que el recubrimiento tiene un grado de brillo Simplemente brillante.

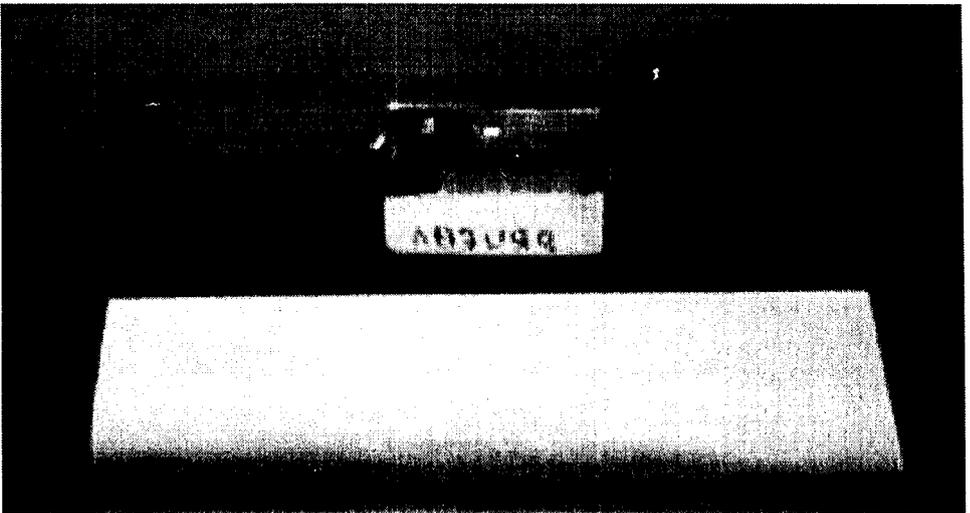


FIGURA 3.2 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 1

Probeta 2

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm.

A una distancia de 400 mm la probeta mostró una distorsión de la imagen que no permitía leer claramente por ende la prueba culminó a dicha distancia.

Por ser ésta una distancia considerable se puede concluir que el recubrimiento tiene un grado de brillo escapular.

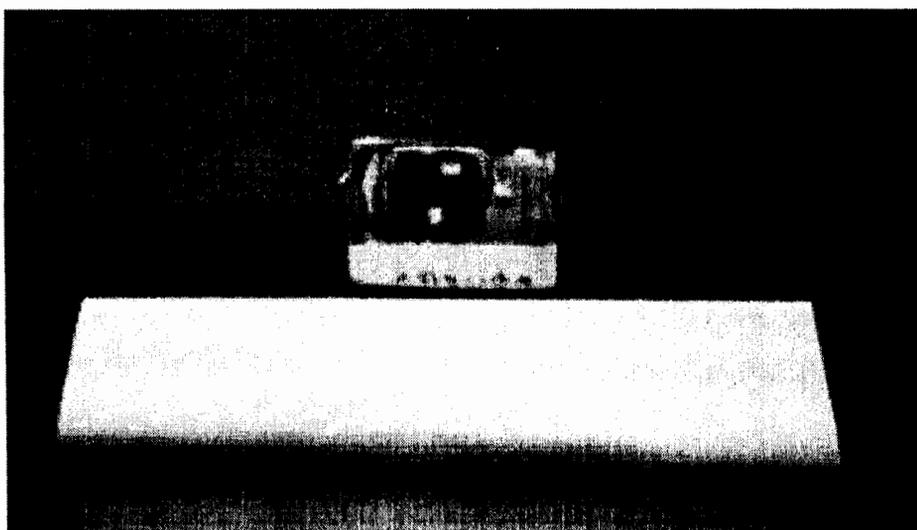


FIGURA 3.3 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 2

Probeta 3

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm.

La probeta número 3 dejó de ser legible a una distancia de 600 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

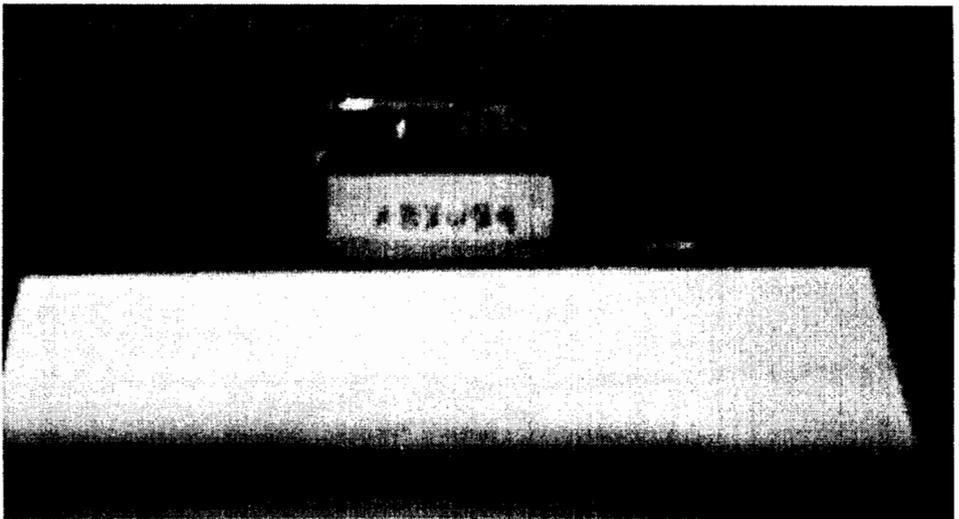


FIGURA 3.4 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 3

Probeta 4

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm.

La probeta número 4 dejó de ser legible a una distancia de 500 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

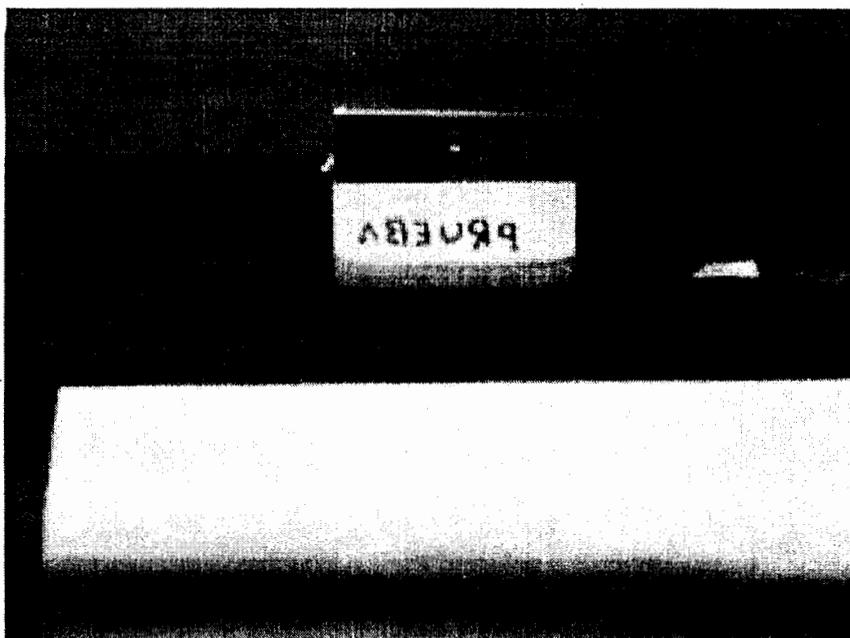


FIGURA 3.5 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 4

Probeta 5

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm.

La probeta número 5 dejó de ser legible a una distancia de 500 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

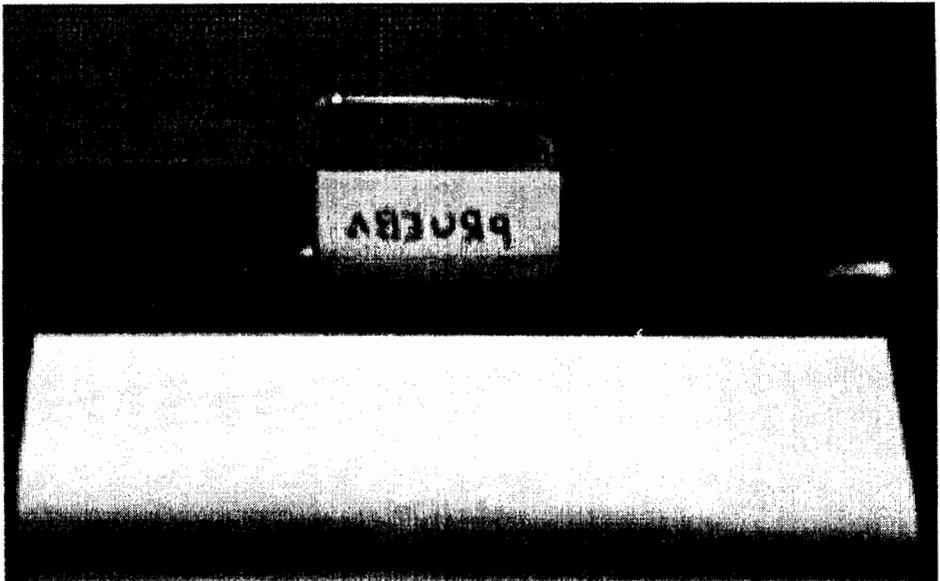


FIGURA 3.6 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 5

Probeta 6

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm.

La probeta número 6 dejó de ser legible a una distancia de 500 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

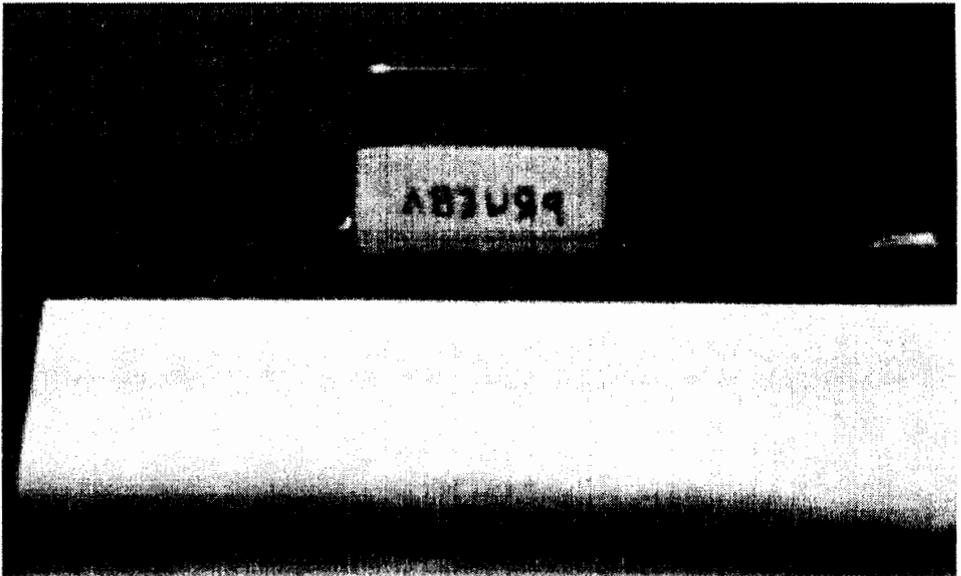


FIGURA 3.7 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 6

Probeta 7

A = 100 mm, 200 mm, 300 mm,, 400 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm.

La probeta número 7 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

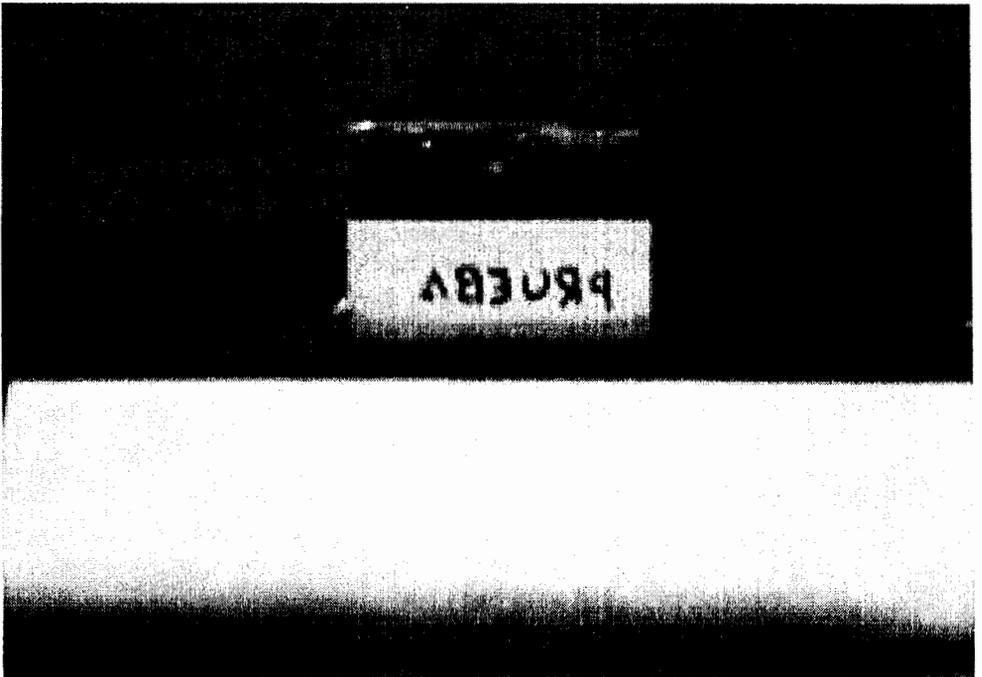


FIGURA 3.8 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 7

Probeta 8

A = Desde 100 mm hasta 700 mm, medida con variaciones de 100 mm, entre cada toma.

La probeta número 8 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

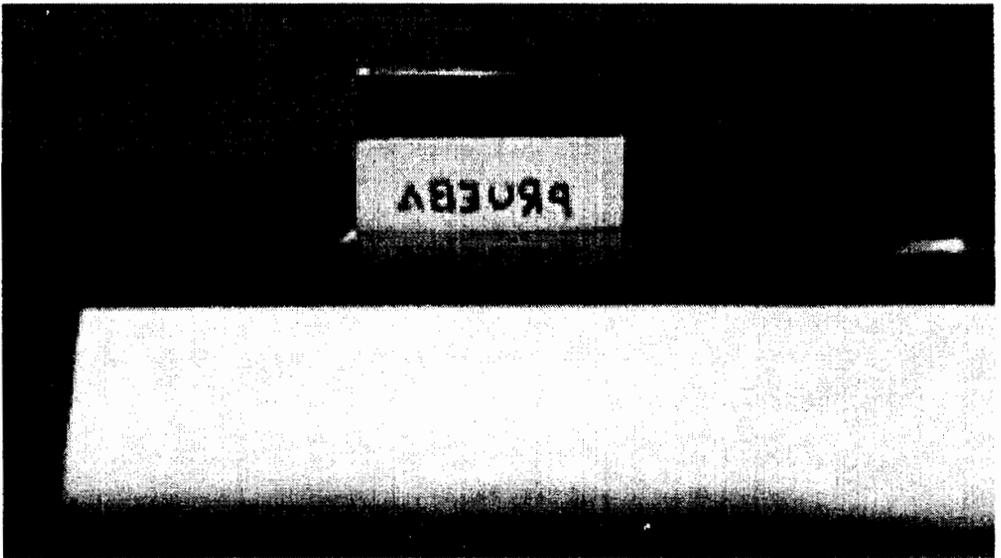


FIGURA 3.9 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA Nº 8

Probeta 9

A = Desde 100 mm hasta 700 mm.

La probeta número 9 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

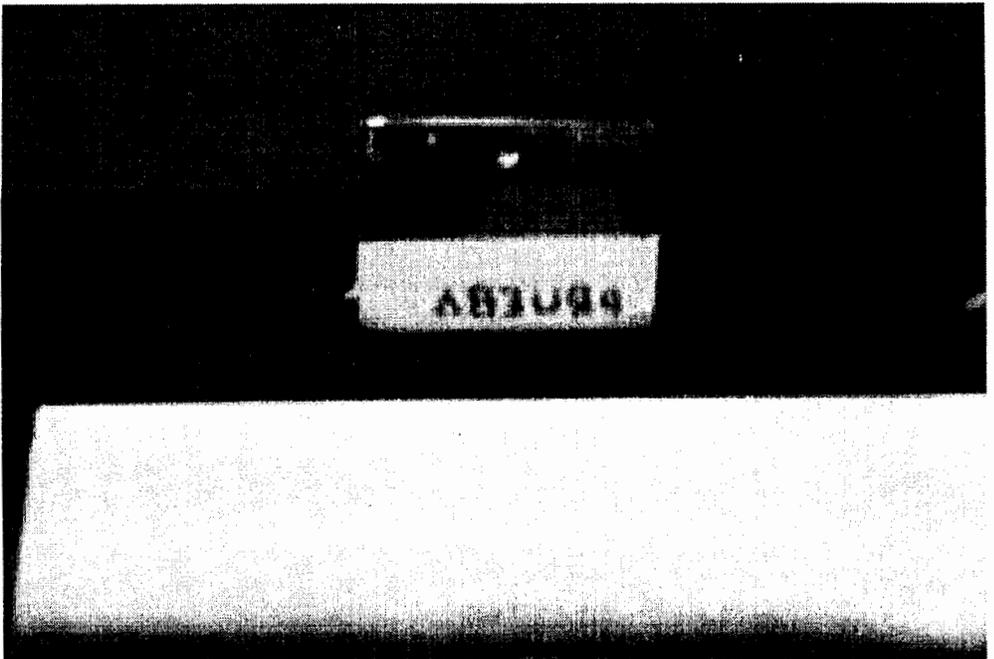


FIGURA 3.10 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 9

Probeta 10

A = Desde 100 mm hasta 700 mm.

La probeta número 10 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

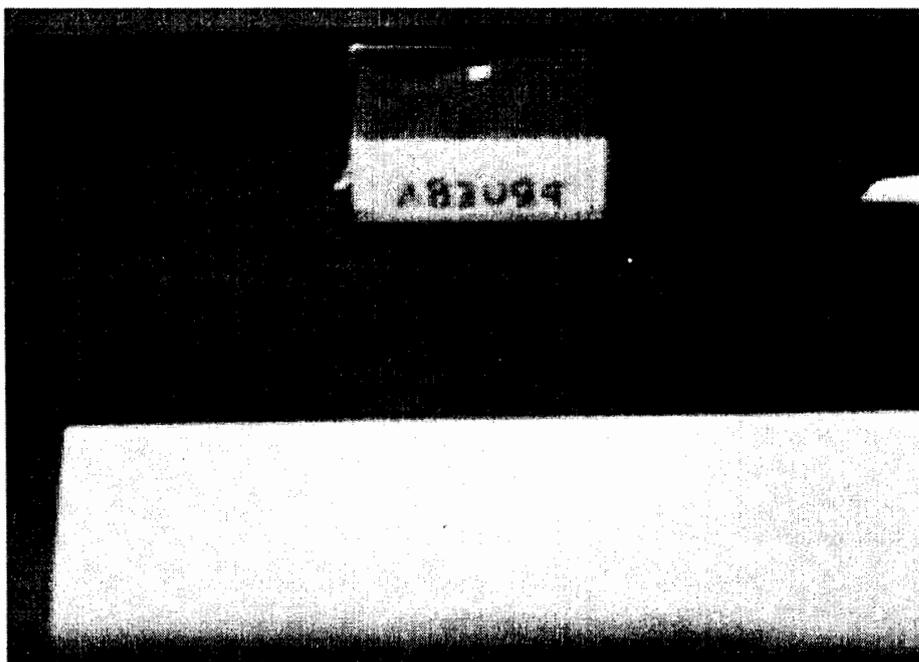


FIGURA 3.11 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 10

Probeta 11

A = Desde 100 mm hasta 700 mm.

La probeta número 11 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

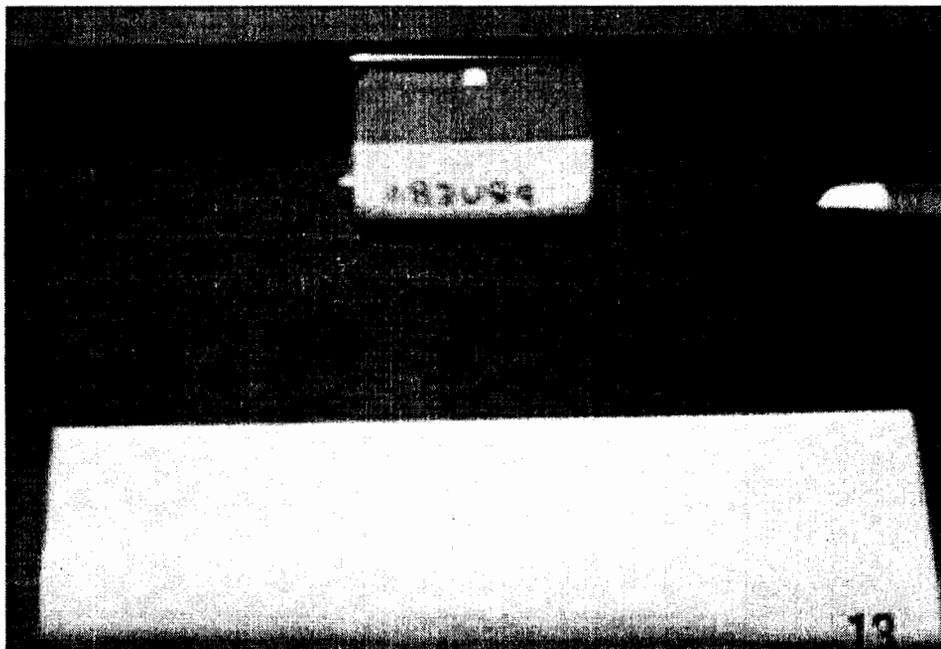


FIGURA 3.12 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 11

Probeta 12

A = Desde 100 mm hasta 700 mm

La probeta número 12 dejó de ser legible a una distancia de 700 mm lo que representa una distancia muy grande la cuál nos permite clasificar a ésta probeta por su brillo como Brillante escapular.

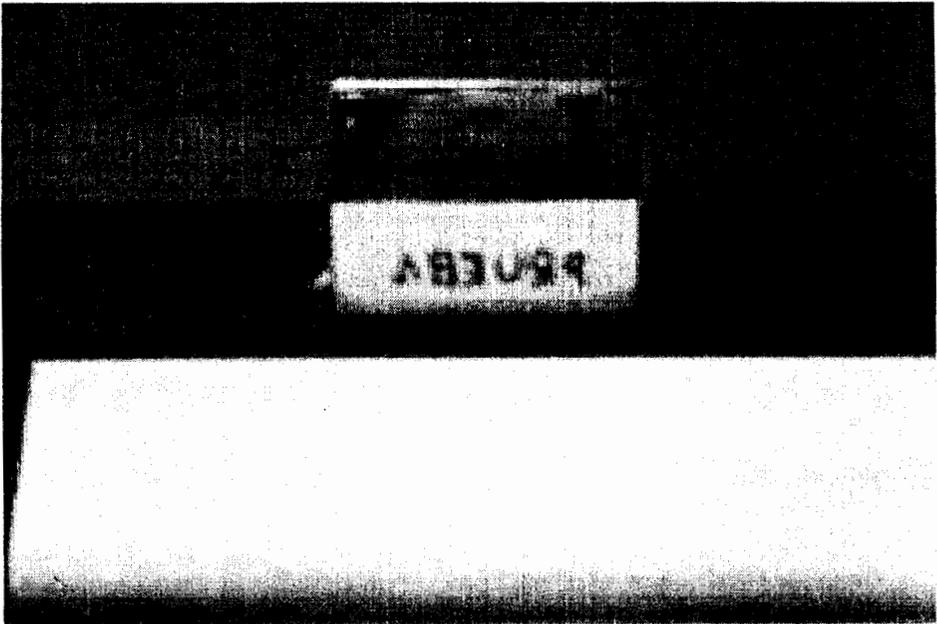


FIGURA 3.13 ENSAYO DE BRILLO PARA PROBETA N° 12

Por medio de estos ensayos se pudo determinar que la calidad de brillo que presentan las probetas es bueno dando un reflejo del escrito a una distancia considerable, lo que nos indica que todo en cuanto al proceso ha sido bien realizado.

Las probetas numeradas de 7 a 12 presentan un grado mayor de nitidez del escrito, por ende estas son las mejor manufacturadas, dando una indicación de que el proceso que tuvieron fue el más adecuado.

Medición de Espesor de Recubrimiento

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

La determinación del espesor se puede realizar en cualquier parte de la superficie para obtener un espesor promedio o en un punto

específico para obtener un espesor local, se pueden realizar distintos métodos para calcular espesores y entre los cuales tenemos:

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

Para el siguiente caso esta medición se la realizará por diferencia de pesos, de esta manera se podrá encontrar cuál es el espesor de recubrimiento para dicha probeta.

Probeta 1.

Dimensiones:

$$e = 1.3mm$$

$$l = 38.5mm$$

$$a = 27.45mm$$

$$W = 13.8970gr$$

$$W_f = 13.9520gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.2857 \text{ micras}$$

Probeta 2.

Dimensiones:

$$e = 1.45mm$$

$$l = 40.8mm$$

$$a = 29.55mm$$

$$W = 17.1570gr$$

$$W_f = 17.2122gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.18614 \text{ micras}$$

Probeta 3.

Dimensiones:

$$e = 1.6mm$$

$$l = 40.65mm$$

$$a = 28.05mm$$

$$W = 16.9074gr$$

$$W_f = 16.9622gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.24509 \text{ micras}$$

Probeta 4.

Dimensiones:

$$e = 1.5mm$$

$$l = 40.40mm$$

$$a = 30.05mm$$

$$W = 17.3299gr$$

$$W_f = 17.3849gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.17368 \text{ micras}$$

Probeta 5.

Dimensiones:

$$e = 1.55\text{mm}$$

$$l = 40.60\text{mm}$$

$$a = 29.70\text{mm}$$

$$W = 16.4794\text{gr}$$

$$W_f = 16.5397\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.29553 \text{ micras}$$

Probeta 6.

Dimensiones:

$$e = 1.6\text{mm}$$

$$l = 40\text{mm}$$

$$a = 29\text{mm}$$

$$W = 16.2878\text{gr}$$

$$W_f = 16.3567\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.53877 \text{ micras}$$

Probeta 7.

Dimensiones:

$$e = 2.00\text{mm}$$

$$l = 40.40\text{mm}$$

$$a = 28.4\text{mm}$$

$$W = 16.8052\text{gr}$$

$$W_f = 16.8660\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.37283 \text{ } \mu\text{m}$$

Probeta 8.

Dimensiones:

$$e = 1.75\text{mm}$$

$$l = 40.90\text{mm}$$

$$a = 29.60\text{mm}$$

$$W = 16.5193\text{gr}$$

$$W_f = 16.5832\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.37383 \mu\text{m}$$

Probeta 9.

Dimensiones:

$$e = 2\text{mm}$$

$$l = 40.50\text{mm}$$

$$a = 29.55\text{mm}$$

$$W = 16.2824\text{gr}$$

$$W_f = 16.3738\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.9785 \mu\text{m}$$

Probeta 10.

Dimensiones:

$$e = 1.6\text{mm}$$

$$l = 40.6\text{mm}$$

$$a = 27.55\text{mm}$$

$$W = 16.3324\text{gr}$$

$$W_f = 16.3806\text{gr}$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.11638 \mu\text{m}$$

Probeta 11.

Dimensiones:

$$e = 1.5mm$$

$$l = 40.5mm$$

$$a = 27.55mm$$

$$W = 15.2755gr$$

$$W_f = 15.3238gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.12554 \mu m$$

Probeta 12.

Dimensiones:

$$e = 1.55mm$$

$$l = 40.6mm$$

$$a = 29.5mm$$

$$W = 16.8315gr$$

$$W_f = 16.8889gr$$

$$\rho = \frac{m}{A * e} \Rightarrow e = \frac{m}{A * \rho}$$

$$e = \frac{m}{[2(l * a) + 2(l * e) + 2(a * e)] * \rho}$$

$$e = 1.24159 \mu m$$

Determinación de la Adherencia

Para este caso nos basaremos en la norma descrita en el Apéndice D. Esta norma establece los métodos para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados también sobre base metálica.

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

Método del doblado para ensayo de adherencia

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

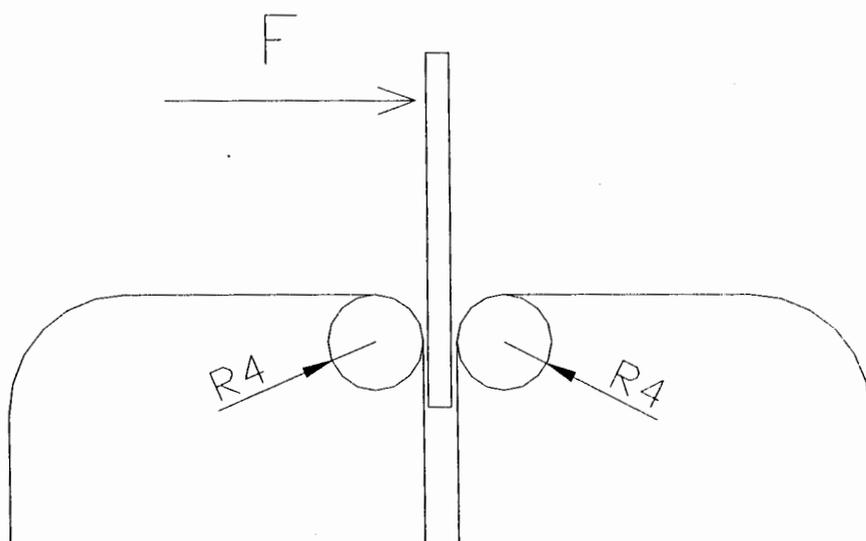


FIGURA 3.14 ENSAYO DE ADHERENCIA DE RECUBRIMIENTO

TABLA XXV

RESULTADOS DE ENSAYO DE ADHERENCIA

ENSAYO DE ADHERENCIA		
PROBETA	N° DOBLECES	RESULTADO
1	6	La probeta ensayada presentó una pequeña marca en la parte interna del doblado.
2	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
3	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
4	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
5	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
6	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
7	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
8	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
9	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
10	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
11	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.
12	8	La probeta ensayada no presento falla de adherencia de recubrimiento.

3.2 Prueba de Resistencia a la Corrosión

Objetivos

Ensayar en cámara de niebla salina el comportamiento del recubrimiento, verificar si el recubrimiento cumple con los requerimientos de calidad establecidos y si éste fue realizado debidamente.

Equipos

Los equipos usados son:

- Un gabinete de ensayo
- Aspersor de agua 5% ClNa

Toma de muestras

Las muestras serán analizadas en un ambiente salino acelerado, con el objeto de observar el comportamiento de cada probeta.

La prueba se realizará en una atmósfera salina al 5% de ClNa, el ensayo es basado en la norma ASTM B117 "Test Method of SALT Spray".

Los resultados obtenidos se basa en informar los cambios ocurridos en las probetas al estar sometidas durante 16 días en este caso a un medio ambiente salino en donde durante el tiempo dado recibirá un nuevo suministro de agua salina cada hora durante el día, para mantener ese ambiente constantemente.



**FIGURA 3.15 ENSAYO DE CORROSIÓN EN
AMBIENTE SALINO**

Para hacer más consistente el proceso se introducirá junto con las probetas doradas dos probetas del material base y dos probetas comerciales galvanizadas, con esto se realizará una comparación de un recubrimiento catódico con un anódico que será una pieza galvanizada, y con el material base.

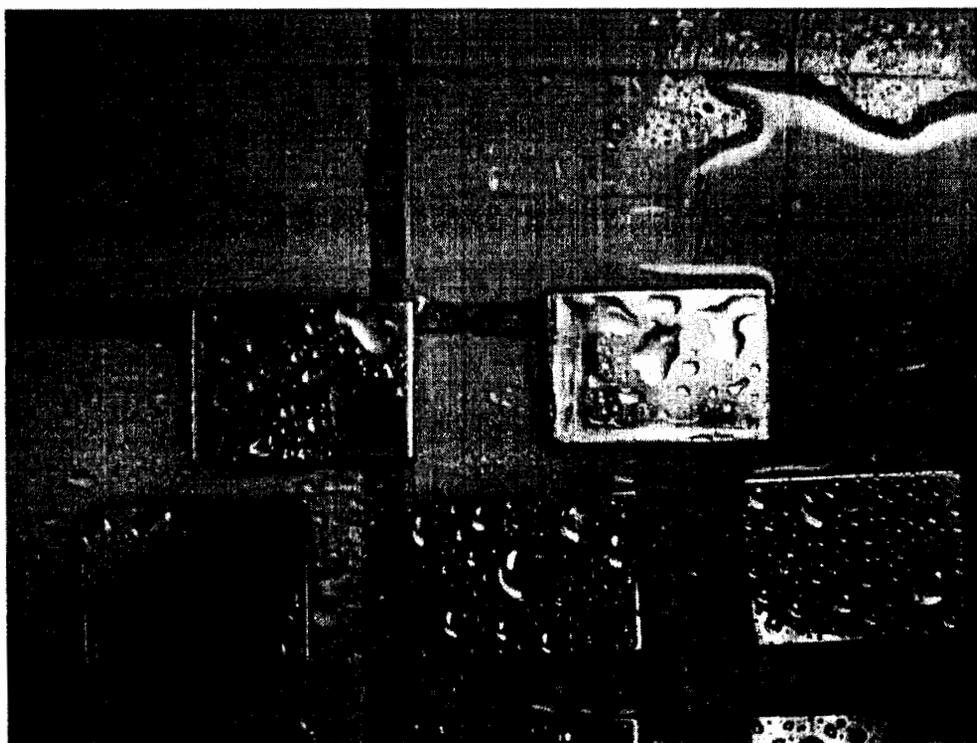


FIGURA 3.16 MUESTRA INICIAL DE METAL BASE



FIGURA 3.17 MUESTRA INICIAL DE PROBETA GALVANIZADA



**FIGURA 3.18 MUESTRA INICIAL DE SEGUNDA PROBETA
GALVANIZADA**

Resultados

TABLA XXV

RESULTADOS DE ENSAYO DE CORROSIÓN

ENSAYO EN CÁMARA DE NIEBLA SALINA			
Fecha de recepción:		12 de diciembre del 2004	
Características de las muestras:		Probetas con recubrimiento de oro, probetas galvanizadas y probetas de metal base	
Tipo de prueba:		ASTM – B117 Test Method of Salt Spray	
Atomización:		Agua al 5% de NaCl.	
Muestra	Fecha	Hora	Observaciones
Probetas con recubrimiento de oro, probetas metal base	12 de diciembre del 2004	08h00	Entran las probetas doradas y las probetas de material base a la cámara de niebla salina.
		19h00	No se observa cambio en las probetas con recubrimiento, las de material base tienen manchas.
	13 de diciembre del 2004	08h00	No se observa cambio en las probetas, material base con manchas de corrosión generalizadas.
		19h00	No se observa cambio en las probetas recubiertas, material base continua con proceso de corrosión.
	14 de diciembre del 2004	08h00	No se observa cambio en las probetas recubiertas, material base sigue en las mismas condiciones.
		23h00	No se observa cambio en las probetas recubiertas, material base corroído.

Probetas con recubrimiento de oro, probetas galvanizadas	15 de diciembre del 2004	08h00	La probeta recubierta #1 muestra una pequeña picadura en su superficie, mientras que las demás están en perfectas condiciones.
		16h00	Las probetas siguen en buen estado a excepción de la probeta #1 que continua con la picadura sin variar sus dimensiones
	20 de diciembre del 2004	08h00	La probeta #1 ha tenido un aumento de su nivel de corrosión, las demás no han tenido cambio alguno. Ingresan a la cámara las probetas galvanizadas.
		21h00	Las probetas galvanizadas presentan variación en su coloración y un escurrimiento en su superficie.
	21 de diciembre del 2004	08h00	Se comienza a evidenciar cambio de coloración en la superficie de las probetas recubiertas, la probeta 1 muestra dos picaduras más, las galvanizadas tienen marcas de corrosión en ciertos sectores.
		21h00	La probeta 1 tiene una picadura mas grande las demás probetas presentan marcaciones en toda su superficie, las probetas de metal base están totalmente corroídas y las galvanizadas presentan mas marcado su nivel de corrosión.
22 de diciembre del 2004	08h00	Continúa el cambio de coloración de las probetas, probeta 1 quemada, continúa corroyéndose las probetas galvanizadas.	
	21h00	Se acentúa el cambio de coloración en las probetas recubiertas.	
23 de diciembre del 2004	08h00	Las probetas de 1 a la 6 evidencian marcas en la superficie, probeta 1 galvanizada, presenta corrosión generaliza en la parte superior,	

		21h00	<p>probeta 2 presenta corrosión en el interior.</p> <p>Probetas continúan en la misma situación.</p>
	27 de diciembre del 2004	08h00	<p>Las superficies de las probetas recubiertas continúan en la misma situación, probetas galvanizadas han aumentado su nivel de corrosión, al igual las probetas de metal base.</p>
		21h00	<p>La probeta 5 presenta una mancha de coloración verde, las demás siguen en el mismo estado, las probetas 9 y 12 no presentan ningún cambio en su superficie, las probetas galvanizadas no han cambiado su aspecto.</p>
	31 de diciembre del 2004	08h00	<p>En las probetas se ha incrementado la aparición de manchas en toda su superficie, las probetas mas limpias son la 9, 11 y 12, estas probetas contienen muy pocos daños a diferencia de las demás, las probetas galvanizadas tienen rastros de corrosión generalizada, el codo en su interior la rosca en su exterior, las probetas de metal base muestran una coloración totalmente café.</p>
		12h00	<p>Las probetas continúan en la misma situación, mostrando una superficie totalmente blanca en el codo galvanizado.</p>
FECHA DE FINALIZACION DE PRUEBAS: Diciembre 31, 2004			

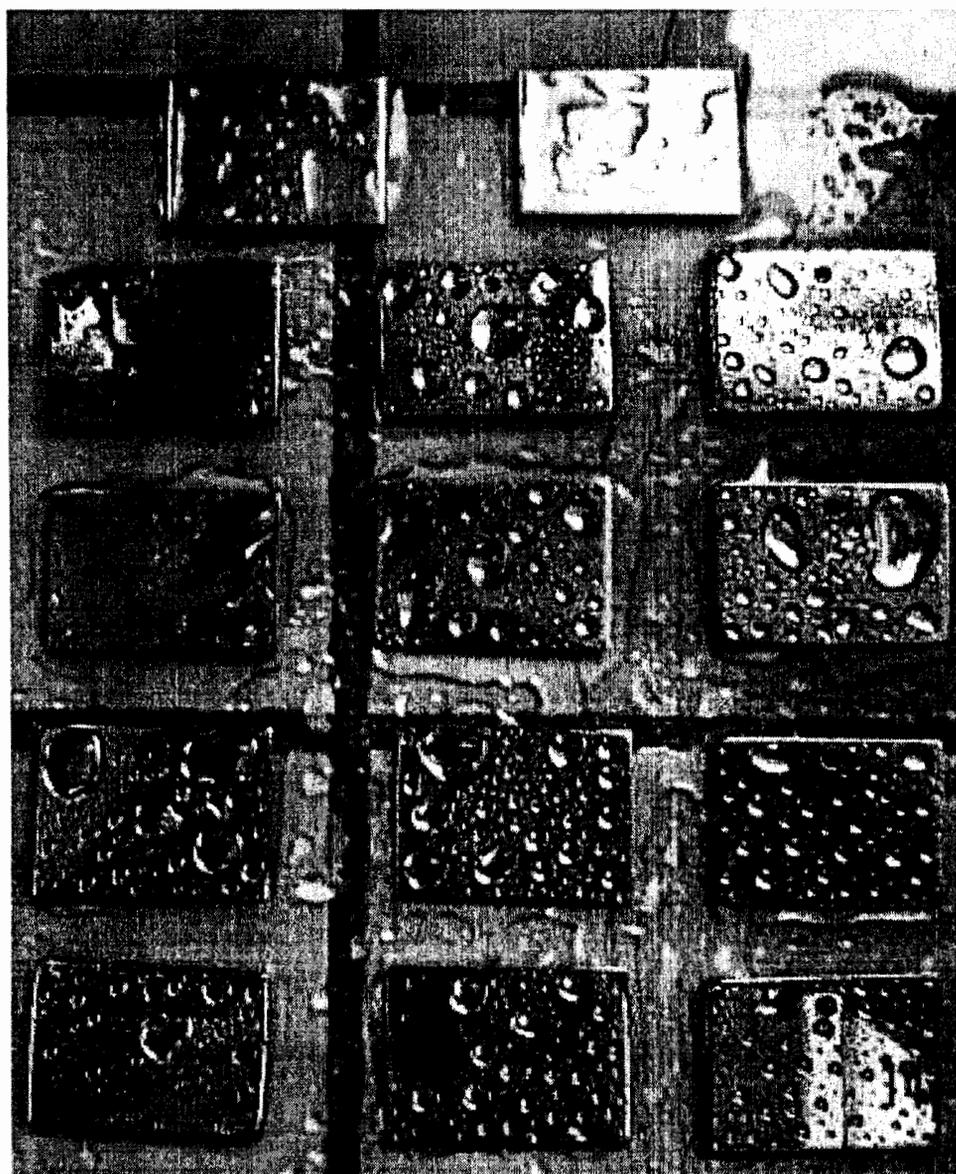


FIGURA 3.19 INGRESO DE PROBETAS EN AMBIENTE SALINO

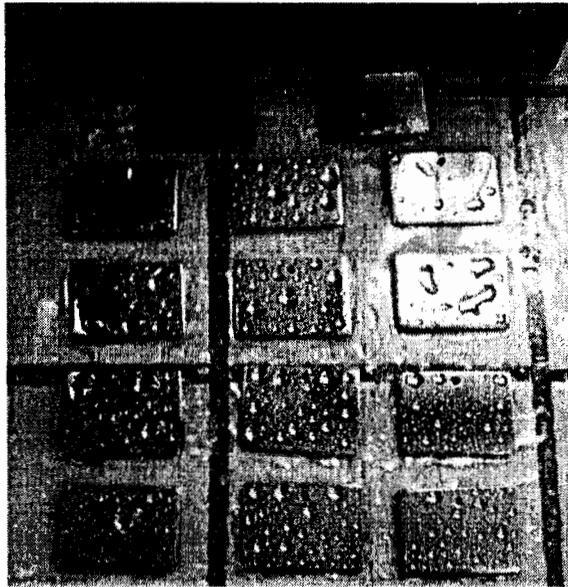


FIGURA 3.20 PROBETAS DE MATERIAL BASE DESPUES DE PRIMER DIA DE EXPOSICIÓN



FIGURA 3.21 PROBETA GALVANIZADA DESPUES DE PRIMER DIA DE EXPOSICIÓN

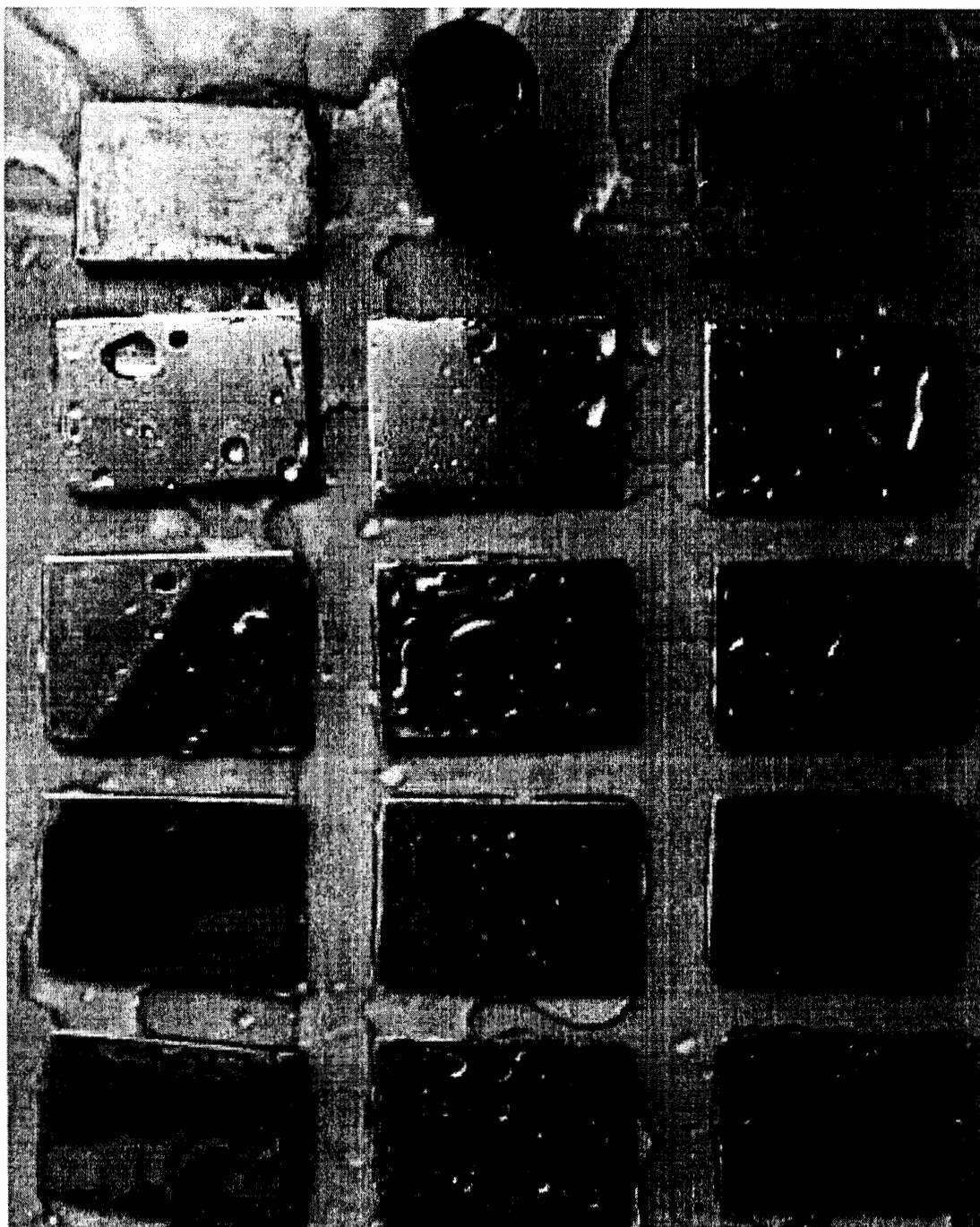


FIGURA 3.22 SEXTO DÍA DE EXPOSICIÓN DE PROBETAS

RECUBIERTAS



FIGURA 3.23 CORROSIÓN EN PROBETAS GALVANIZADAS



FIGURA 3.24 CUARTO DIA DE EXPOSICIÓN DE SEGUNDA PROBETA GALVANIZADA

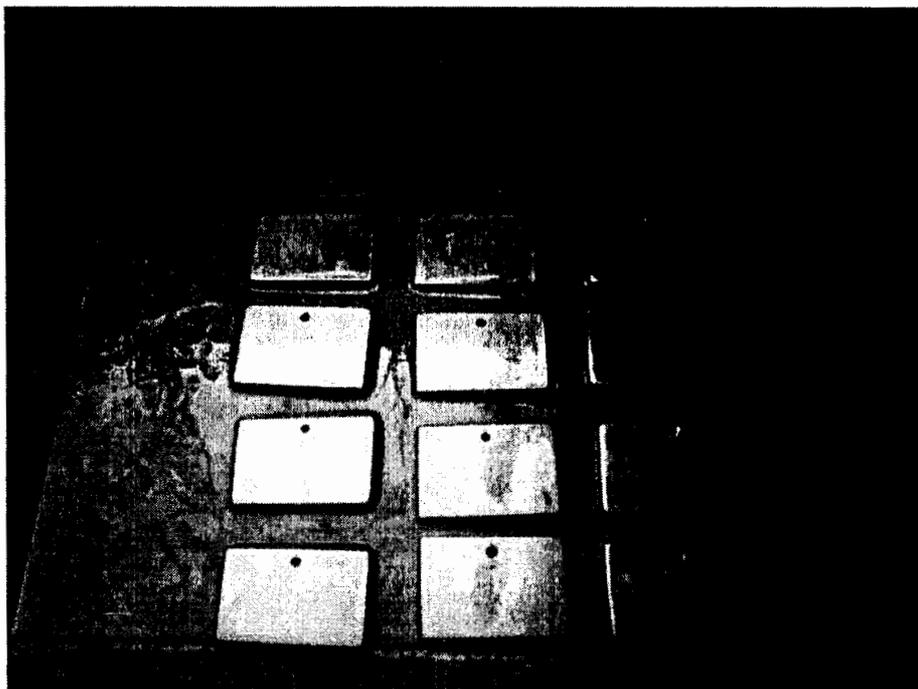


FIGURA 3.25 ÚLTIMO DIA DE EXPOSICIÓN DE PROBETAS



FIGURA 3.26 ÚLTIMO DIA DE EXPOSICIÓN DE PROBETA GALVANIZADA

Luego de haber realizado el proceso, podemos considerar que las probetas 9 y 12 son las que mejor se comportaron con respecto a las demás probetas recubiertas, además cabe recalcar de que todas las probetas tuvieron un periodo extenso de exposición sin sufrir ninguna alteración, en comparación con las probetas de metal base y las galvanizadas que al cabo de un día de exposición ya presentaron niveles de corrosión.

A consideración mía, los cambios ocurridos en las probetas recubiertas se debe principalmente a los niveles de cloro que se presentan en la solución aplicada, puesto que como este elemento es un halógeno, ataca al oro no con gran fuerza pero debido al tiempo de exposición pudo generar una disolución del metal produciendo porosidades, que permitieron que el metal base sea corroído.

CAPITULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

1. Utilizar el proceso de pulido electrolítico nos permite obviar dos procesos, que son el decapado del material y el desengrase del mismo.
2. Una densidad de corriente de 122 Amp/m^2 nos permite controlar el proceso de electrodeposición y mantener el ritmo del mismo, aunque es muy bajo como para optimizar el proceso.

3. Hasta una densidad de corriente levemente mayor de 300 Amp/m^2 nos permite trabajar más tiempo con el mismo baño sin que los ánodos insolubles se descompongan contaminando la solución.
4. A medida que se aumenta el tiempo de exposición, el depósito se hace cada vez más propenso a manchas en la superficie debido a la escasa agitación en el baño.
5. Agitación por medio de aire insuflado permite homogenizar de mejor manera al baño.
6. Un eficiente pulido electrolítico se obtuvo en un intervalo de 5 segundos de inmersión a 1 Amp. de corriente aplicada
7. Trabajar con un voltaje de 6 V , y una densidad de corriente de 306 Amp/m^2 , otorgaron los mejores procesos de recubrimiento.
8. El pH para el proceso debe ser de 4, ya que con este se obtuvieron los resultados deseados.

9. Al utilizar bajas concentraciones de Oro en la solución no se logran obtener los espesores deseados, debido a la escasez de iones oro en la solución.

10. Al momento de precipitar el oro con sulfato ferroso es necesario realizar una limpieza exigente para eliminar el hierro de la solución comparado con la aplicación de metabisulfito de sodio que únicamente se enjuaga con agua destilada.

Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

1. Sería bueno realizar un ensayo de conductividad eléctrica para evaluar las propiedades de este recubrimiento en aplicaciones de la microelectrónica.

2. Para un futuro proyecto sería apropiado ensayar las probetas con otro método de adherencia, este puede ser el de rayado o el de bruñido.

3. Para realizar un proceso químico es recomendable tomar las precauciones respectivas con el área de trabajo, tanto como una

ventilación adecuada como los implementos a usar para evitar cualquier riesgo durante su manipulación.

4. Dado que este tipo de recubrimiento requiere de insumos costosos en nuestro mercado nacional y alta calidad en el ámbito de la microelectrónica y otras aplicaciones de ingeniería, se podría direccionar su aplicación al campo decorativo; el mismo que no obstante requiere buena apariencia superficial, no exige grandes espesores de recubrimiento ya que están en el orden de las 2 micras.
5. Si se va a realizar el proceso de pulido electrolítico se proceda primeramente a colocar el ácido nítrico y solo ahí se puede añadir la solución de ácido sulfúrico ya que este es exotérmico y puede ocasionar temperaturas muy elevadas, vapores tóxicos y explosión del recipiente que lo contiene.
6. Para una próxima experiencia de este tipo de proyectos, sería bueno realizar el ensayo de medición de espesor con un equipo electrónico medidor de espesores.

Apéndices

APENDICE A

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN BANCO EXPERIMENTAL

Cantidad	Artículo	Función
1	Transformador-Rectificador	Proveer Energía
3	Barras Conductoras de Cu	Conducir la Corriente
2	Extensiones	Conducir la Corriente
2	Cubas	Almacenar soluciones
1	Cuba de limpieza	Limpieza Electrolítica
8	Ánodos	Proceso Electrolítico
6	Lagartos	Unión de cables con barras de Cu.
4	Recipientes Plásticos	Enjuagues
2	Recipientes Plásticos	Neutralización
1	Pulidora 1000 RPM	Eliminar rebabas
1	Taladro con broca	Perforación Probetas
1	Esmeril	Pulir Probetas
2	Disco de Paño	Pulir Probetas
3	Balones de 250, 500, 1000ml	Obtener Volumen de soluciones
1	Balanza Electrónica	Controlar pesos
1	Medidor de espesores	Controlar espesores

APENDICE B
DETERMINACION DEL BRILLO
NORMA DIN 50960

El método consiste en observar a una distancia de 300 mm, el reflejo de un escrito en negro sobre fondo blanco (con caracteres de 5 mm de altura) sobre la parte de brillante de la muestra a examinar, colocada de frente y paralelamente a la escritura. Ver figura 1.1.

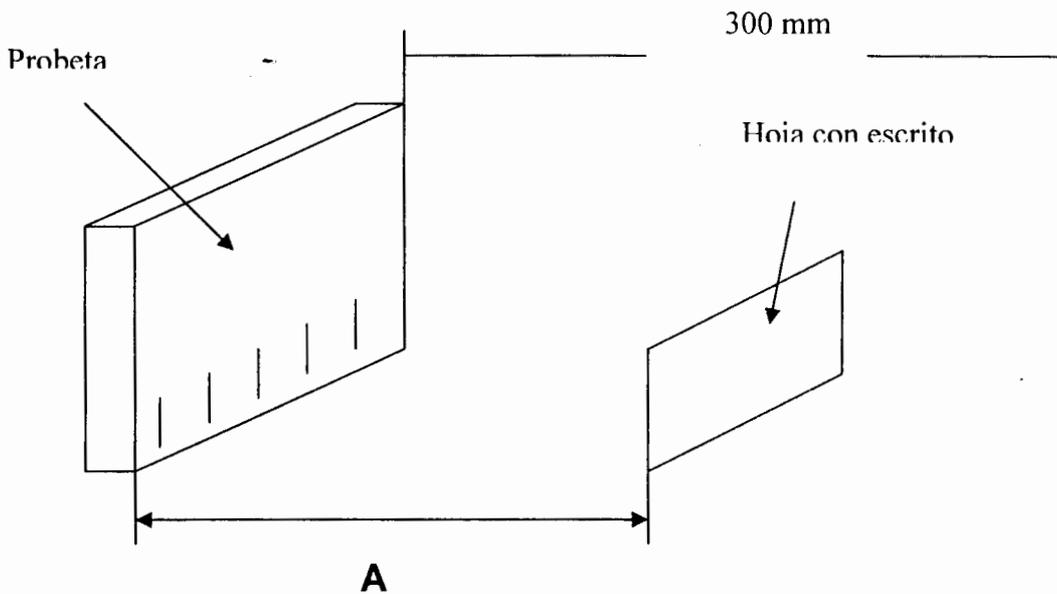


FIGURA 1.1 Método de pruebas para medición de brillo según la Norma DIN
50960

La distancia A entre el papel escrito y la prueba reflejando de modo legible las palabras, es considerada como un criterio de medida de brillo. Cuando mayor sea A mayor será el grado de brillo. Esta distancia sirve para clasificar a las superficies como:

- Brillante especular
- Simplemente brillante
- Semi-brillante

Otro método que nos da una medida de brillo y que también es presentado por las normas DIN 50960 es el que se describe a continuación.

Como se ve en la figura 1.2, el aparato de Krusenstjern y Schelegel, consiste en una caja en forma de triángulo rectángulo, llevando uno de los catetos "a" a una escala transparente iluminada con luz difusa, constituida por una serie de números en orden creciente (pudiendo haber varias columnas con números de distintos tamaños). El otro cateto "b" lleva una lámina de vidrio transparente sobre la cuál están esmerilados en sucesión invertida con respecto a los de la escala del cateto "a" una serie de números del (1 al 20) constituyendo la escala de referencia.

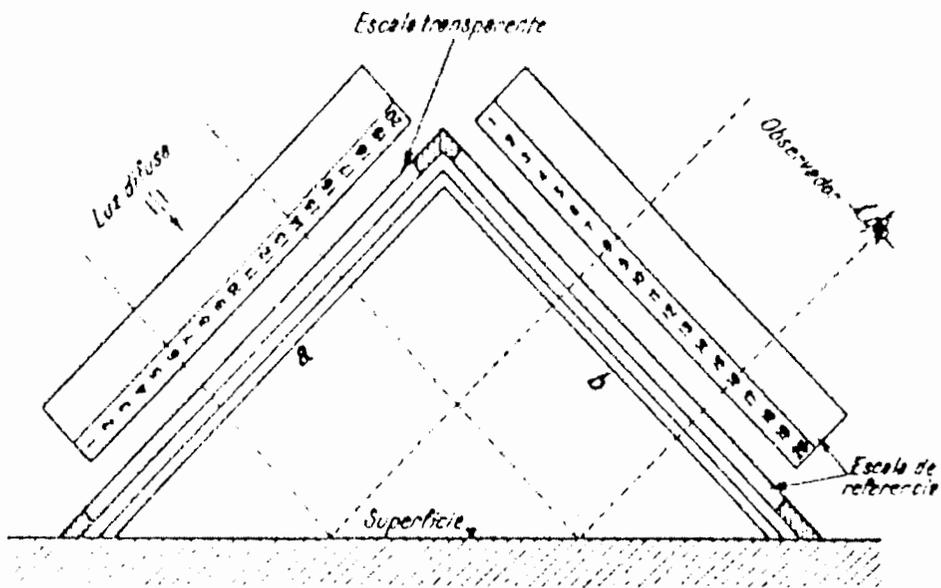


FIGURA 1.2 Esquema del funcionamiento del medidor de brillo de Krusenstjern-Schlegel

Para medir el brillo se coloca la hipotenusa (parte abierta) del aparato sobre la superficie a examinar, observando sobre el brillo transparente de "b" que número, por reflexión sobre la superficie metálica, resulta nítidamente legible llevándolo sobre la escala de referencia. Cuanto más alta sea la cifra nítida observada mayor será el brillo de la superficie.

Hay otros métodos de medición de brillo como lo son los reflectómetros, fotómetros y espectrofotómetros, otros instrumentos que se basan en la nefluorometría, observación a través de microscopio interferométrico, utilizando la esfera de Ulbricht.

APENDICE C

DETERMINACION DE ESPESOR

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

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

- Métodos electrónicos
- Métodos magnéticos
- Método de eliminación química del depósito
- Método del chorro de Clerk
- Método electroquímico de la solución anódica
- Método de Mesle-Chord
- Método del micrómetro
- Método del micrómetro metalográfico

Métodos magnéticos

Estos métodos son rápidos, precisos y sencillos, además de no necesitar la destrucción de la probeta. Estos métodos son aplicables a recubrimientos metálicos no magnéticos depositados en metales base magnéticos, o viceversa.

El método de medida de espesor de un depósito magnético sobre un material base no magnético, se fundamenta en la atracción magnética que experimenta el depósito cuando la pieza a medir se coloca sobre un imán fijo, siendo dicha atracción proporcional a la masa del recubrimiento, y, por lo tanto, al espesor del mismo. Determinando mediante un dinamómetro o cualquier otro instrumento idóneo la fuerza necesaria para contrarrestar la atracción del imán; y comparándola con otras fuerzas patrón, previamente establecidas con depósitos de espesor conocido, se sabe el espesor del depósito que recubre la pieza.

Cuando se requiere determinar el espesor de depósitos no magnéticos sobre base metálica magnética, se utiliza el método de la permeabilidad magnética de Knight, inverso al citado, que consiste en medir la reducción que experimenta el flujo magnético producido entre los polos del imán y la base magnética.

Equipos que midan espesores de depósitos no magnéticos sobre bases magnéticas pueden ser los citados a continuación: el lápiz B.S.A. Tinsley, otro que cumple con la misma finalidad es el proceso Mikrotest G.

Método de Eliminación Química

Este método se basa en el decapado de la pieza y la obtención del peso de la misma por medio de la diferencia de los pesos. Una vez que se conoce el peso y el área del recubrimiento, se calcula el espesor por medio de fórmulas descritas en la Ley de Faraday.

Método del Micrómetro

Esta es una de las determinaciones más fáciles de realizar. Se utilizan distintos tipos de tornillo micrométricos, desde los sencillos hasta los de lectura óptica. La determinación del espesor se realiza mediante dicho instrumento antes y después de efectuar el recubrimiento. Este método no requiere la destrucción del objeto a ensayar, puede determinar espesores de hasta 5 micras, pero necesita que las superficies sean completamente planas.

Método de Microscopio Metalográfico

Este método es más exacto que el anterior, requiere el empleo de un microscopio metalográfico común asociado a un micrómetro óptico. Con él se aprecian espesores hasta de 2 micras.

La medida del espesor se la realiza con la sección de la pieza cortada perpendicularmente a su superficie, convenientemente pulida o esmerilada. Este procedimiento requiere de aparatos muy caros y necesita la destrucción de la probeta.

APENDICE D

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA MÉTODOS DE ENSAYO NORMA INEN 950-1984-04

1. OBJETO

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

2. ALCANCE

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

3. TERMINOLOGÍA

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

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Método del limado

4.1.1 El ensayo consiste en preparar un corte en la probeta, perpendicularmente a la superficie cubierta; colocar la probeta así cortada en una mordaza o entenalla y limar la parte expuesta. La acción del limado debe ejecutarse de tal modo que la dirección de ataque de la lima sea del metal base al recubrimiento, intentando desprender a este por descascamiento. El ángulo aproximado es de 45 grados. AL finalizar el limado, comprobar si existen desprendimientos del recubrimiento o si se han producido escamaciones.

4.2 Método de bruñido manual

4.2.1 El método consiste en frotar un área no mayor de 700 mm² de la superficie recubierta, seleccionada a discreción del inspector, en forma rápida y firme con un implemento metálico blando (cobre), por ejemplo, durante 15 segundos. Un implemento apropiado es un disco de cobre o latón (p.e. una moneda sin estrías periféricas). La presión ejercida debe ser lo suficiente para producir el efecto de bruñido, pero no para cortar el recubrimiento. Registrar el apareamiento de ampolladuras, fisuras y otros defectos que comprometan la adherencia del depósito.

4.3 Método por enfriamiento brusco.

4.3.1 El método de ensayo por enfriamiento brusco consiste en calentar en un horno la probeta del metal base con el recubrimiento hasta una determinada temperatura, durante tiempos que oscilen entre 30 y 60 min. para luego proceder a enfriar bruscamente en agua. Dependiendo del metal base y del recubrimiento, las temperaturas del calentamiento se dan para los casos más usuales, en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas de enfriamiento brusco

METAL BASE	RECUBRIMIENTO	TEMPERATURA °C
Acero y fundición	Estaño	185
Acero	Estaño - Níquel	300
Cobre y aleaciones	Estaño – Níquel	250
Zinc y aleaciones	Estaño – Níquel	150
Acero	Níquel - cromo	300
Zinc y aleaciones	Níquel – cromo	150
Cobre y aleaciones	Níquel – cromo	250
Aluminio	Níquel – cromo	250
Acero	Cadmio	200
Acero	Zinc	200
Acero	Cobre	310
Acero	plata	315
Aluminio	Plata	190
Cobre	plata	200

4.4 Método de bruñido manual para metales preciosos.

Se procede como en 4.2 con un área de ensayo de aproximación 6 cm², la que se frota vigorosamente con espátula dental de ágata, con mango de 60 a 100 mm de longitud y hoja de ágata blanda de 30 a 50 mm de largo y 5 a 10 mm de ancho, aguzada en un borde como un cincel, pero de filo redondeado, para evitar cortaduras del recubrimiento ensayado. Aplicar presión suficiente para producir el bruñido, pero no para cortar el recubrimiento.

4.5 Método del doblado

4.5.1 El método consiste en doblar o deformar de alguna forma la probeta. La aparición de escamaciones denota adhesión insuficiente. El procedimiento exacto de la deformación plástica debe establecerse para cada producto en particular. Las deformaciones más usuales se detallan a continuación:

4.5.1.1 Para alambres recubiertos (zinc, níquel), se procede a enrollarlos en espiral sobre un mandril de diámetro dado una probeta representativa del material. La tabla 2 establece el número de vueltas de la espiral y la relación entre el diámetro del mandril cilíndrico y del diámetro del alambre ensayado:

Tabla 2. Doblado espiral de alambres

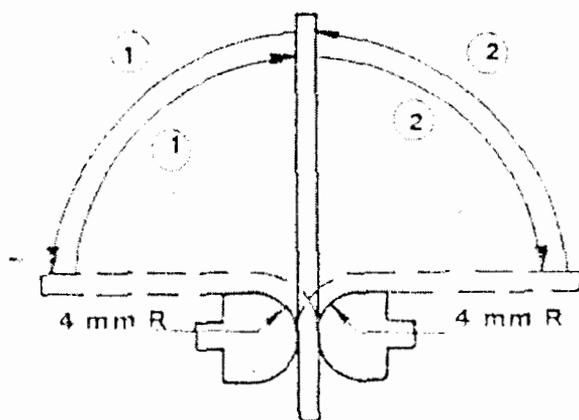
Diámetro del alambre (mm)	Vueltas completas de la espiral	Relación del diámetro del mandril/diámetro del alambre
Hasta 3,55	10	2 (zinc) 4 (níquel)
3,55 – 7,10	10	6
Sobre 7,10	0,25 (90°)	6

4.5.1.2 Para tubos recubiertos (zinc p.e.), el ensayo de doblado consiste en doblar 90° con radio ocho veces mayor que el diámetro exterior del tubo. El

ensayo es aplicable hasta diámetros nominales de 50 mm; para diámetros mayores debe aplicarse el ensayo de martillado (4.9).

4.5.1.3 Para el ensayo de doblado de placas y láminas, se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos como los representados en la figura 1:

Figura 1. Ensayo de doblado para láminas

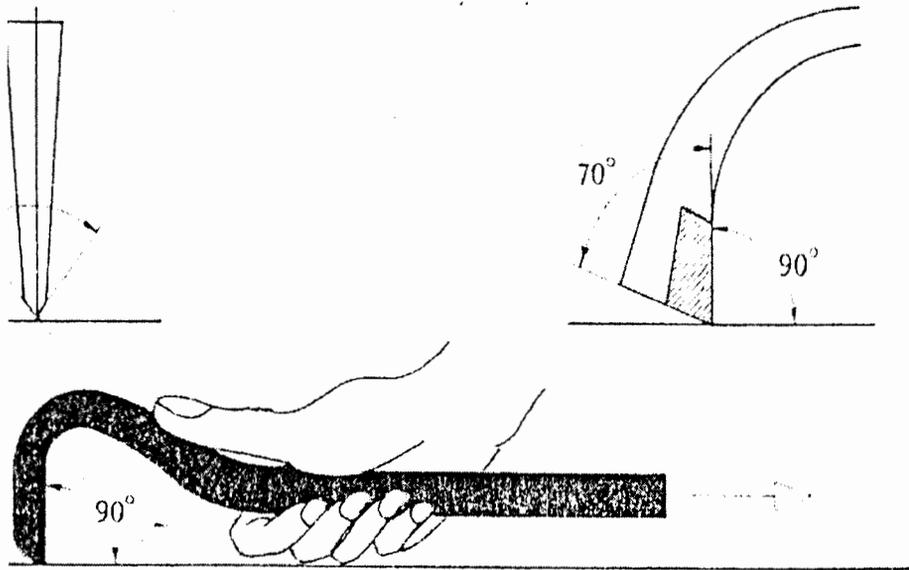


El radio de los mandriles es de 4 mm. Se dobla la lámina 90° alternativamente sobre los dos mandriles, por el número de veces que debe especificarse para cada recubrimiento en la aplicación particular. El método tiene aplicación principal para láminas delgadas con recubrimientos de oro, plata, bronce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

4.6 Método de cinta adhesiva

4.6.1 El método de ensayo consiste en rayar sobre el recubrimiento de la probeta con un instrumento afilado de acero templado, una cuadrícula formando cuadrados de 2 a 5 mm de lado, sobre el área de ensayo. La presión debe ser suficiente para cortar la capa recubierta de un solo tajo, hasta llegar al metal base (ver figura 2). Aplicar luego una cinta adhesiva sobre la superficie. La cinta debe tener una adhesión de 290 a 310 gr/cm² (cinta de celulosa regenerada). Presionar solamente con la mano al aplicar la cinta adhesiva, teniendo cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas. Luego de 10 segundos separar manualmente la cinta, aplicando una fuerza de manera que la posición de la cinta que se retira, sea perpendicular a la superficie ensayada.

Figura 2. Herramienta de corte, ensayo de cinta adhesiva



4.7 Método de Soldadura blanda

4.7.1 El método de la soldadura blanda se aplica a recubrimientos de metales preciosos y a recubrimientos blandos. Se suelda una lámina de acero estañado de dimensiones 10 mm de ancho, 75 mm de largo y 0.56 mm de espesor, a la superficie recubierta, de manera que la lámina quede en contacto con la superficie que debe ensayarse. El área soldada corresponde a todo el ancho de la lámina por una unidad de longitud de 13 mm. El material de aporte de la soldadura debe contener 60% de estaño y 40% de plomo. El fundente utilizado debe ser del tipo a base de resinas no corrosivas. Aplicar luego tensión a la parte libre de la lámina, intentando separarla del material de prueba. Desprendimientos o escamaciones en la parte correspondiente a la soldadura, que no involucre al recubrimiento ensayado, no debe considerarse como defecto.

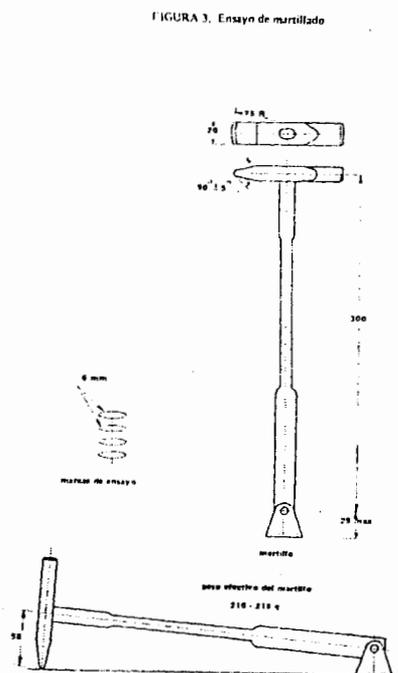
4.8 Método de cortadura

4.8.1 El método de cortadura consiste en cortar la probeta perpendicularmente a la superficie recubierta y limar (pulir) la superficie de corte. Aplicar luego una fuerza de corte mediante instrumentos adecuados, en la vecindad de la zona de unión del metal base con el recubrimiento, intentando separarlo.

4.9 Método de martillado

4.9.1 El ensayo consiste en someter la probeta a golpes de un martillo pivotado como el representado en la figura 3. La base del martillo pivotado debe tener posición horizontal. Al iniciar el ensayo, el martillo se coloca en posición vertical y se deja luego caer con giro de 90° describiendo un arco, sobre la pieza ensayada. Los golpes ocasionados deben espaciarse de tal manera que las marcas dejadas sobre la pieza recubierta estén espaciadas entre si aproximadamente 6mm ninguna marca debe estar más cerca de 12 mm del borde de la probeta. Se constata luego la presencia de desprendimientos del recubrimiento en las proximidades de las marcas dejadas por el martillo.

Figura 3. Ensayo de martillado



4.10 Método de rayado.

4.10.1 El método consiste en rayar con un cuchillo filo la superficie recubierta a distancias de 5 a 20 mm. Se constata después la presencia de desprendimientos, escamaciones o peladuras del material de recubrimiento en la proximidad del rayado.

APENDICE E

CONSTANTES QUIMICAS Y ELECTROQUIMICAS DE LOS METALES

NOMBRE	SIMBOLO	PESO AT.	DENSIDAD	VALENCIA	EQ. Q.
Cobre (cianuro)	Cu	63.6	8.93	1	63.6
Oro (cianuro)	Au	196.96	19.3	1	196.96
Plata	Ag	107.9	10.5	1	107.9
Cadmio	Cd	112.4	8.65	2	56.2
Cobalto	Co	58.9	8.9	2	29.5
Cobre Sulfato	Cu	63.6	8.93	2	31.8
Hierro sulfato	Fe	55.8	7.9	2	27.9
Plomo	Pb	207.2	11.35	2	103.6
Níquel	Ni	58.7	8.9	2	29.3
Estaño cloruro	Sn	118.7	7.3	2	59.4
Estaño sulfato	Sn	118.7	7.3	3	59.4
Zinc cloruro	Zn	65.4	7.14	2	32.2
Zinc sulfato	Zn	65.4	7.14	2	32.2
Oro cloruro	Au	197.2	19.3	3	65.7
Hierro Cloruro	Fe	55.8	7.9	3	18.6
Estaño estannato	Sn	118.7	7.3	4	29.7
Cromo	Cr	52.0	7.1	6	8.7

APENDICE F

ALEACIONES DE COBRE Y PLATA PARA OBTENER TONALIDADES DE COLOR EN EL DORADO

Aleaciones de oro, plata y cobre con porcentajes variables, cambiando las características de color y dureza en el oro de 18 quilates.				
metales	oro verde	amarillo suave para prensa y nilo	amarillo para joyas en general	amarillo para joyas en general
	%	%	%	%
oro plata cobre	75 25 0	75 16 9	75 12.5 12.5	75 11 14
metales	amarillo profundo	rojo palido	rojo medio	rojo profundo
	%	%	%	%
oro plata cobre	75 9.5 15.5	75 4 21	75 2.5 22.5	75 0 25

BIBLIOGRAFÍA

1. Richard H. J. Frost, Investigación de minería y metalurgia. Unidad de Investigaciones PUCE.
2. Metals Handbook ASM 8th Edition VOL 7, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
3. Metals Handbook ASM 9th Edition VOL 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals.
4. Metals Handbook ASM 9th Edition VOL 5.
5. Robert Baboian, Corrosion Test and Standards: Application and Interpretation.
6. Galvanotécnica Práctica, Universidad de Sao Paulo.
7. Metals Handbook ASM VOL 20, Materials Selection and Design.
8. http://www.pfonline.com/articles/clinics/0903cl_plate2.html
9. <http://www.pfonline.com/articles/129901.html>
10. www.aiclassmetal.com.au/palte_functional.htm

11. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions.

12. Manual de Mecánica Industrial Tomo I, Edición 2000, Cultural S.A. -
Soldadura y Materiales.

13. <http://www.electroplating.com/index.html>

14. <http://www.infomet.com.br/cobre.php>

15. <http://www.hmwire.com/plating.html#alloys>

16. <http://www.gold.org>