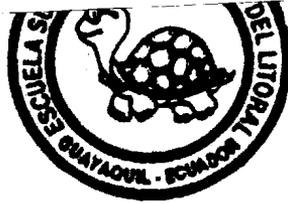




T
6-71.73
T864



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica

"Estudio de la Electrodeposición
del Cadmio sobre Aceros"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
JORGE TROYA FUERTES

GUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO
1993

A G R A D E C I M I E N T O

- A Dios por su protección.
- A los Ingenieros José Pacheco, Ernesto Romero, Fabián Ordoñez, Jhon Quito. en especial al Ing. Julián Peña por su invalorable ayuda para la culminación de este trabajo.
- Al señor Marco Rojano por su valiosa ayuda.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS.

DECLARACION EXPRESA

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

(reglamentos de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

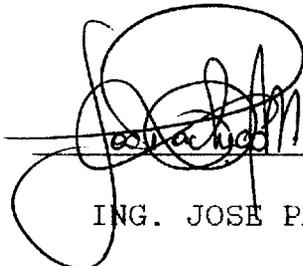


Jorge Troya Fuertes.



Dr. ALFREDO BARRIGA

Decano de la Facultad de
Ingeniería en Mecánica.



ING. JOSE PACHECO.

Director de Tesis



ING. JULIAN PEÑA E.

Miembro del Tribunal



ING. OMAR SERRANO

Miembro del Tribunal.

RESUMEN

Los recubrimientos metálicos son usados con el fin de dar al material base una buena presentación y una mejora en cuanto se refiere a su resistencia a la corrosión. En artículos son particularmente aptos para proteger al hierro y acero en diferentes medios, así como para mejorar algunas de sus propiedades físicas.

En este trabajo se estudiará el proceso en sus detalles para adaptación de tecnología en beneficio de los pequeños industriales del sector.

De acuerdo al plan desarrollado, este trabajo tratará sobre las generalidades del proceso, usos y aplicaciones industriales, ventajas y desventajas frente a otros procesos.

Se creará una planta física para la producción en pequeña escala. Además se realizará variaciones de los parámetros existentes con el fin de alcanzar el espesor óptimo del recubrimiento.

Posteriormente se realizará el control de la calidad del producto mediante el uso de análisis metalográfico y

otros tipos de ensayos. Finalmente se expondrán las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proceso realizado.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
NOMENCLATURA.....	XII
INTRODUCCION.....	XIII
CAPITULO I. FUNDAMENTO TEORICO.....	15
1.1. Generalidades de la electrodeposición del cadmio	15
1.2. Tipos de baños existentes.....	22
1.3. Usos y aplicaciones industriales.....	34
1.4. Ventajas y desventajas frente a otros procesos..	37
1.5. Planta física para producción en pequeña escala.	41
CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	49
2.1. Método experimental.....	49
2.2. Equipo para pruebas.....	52
2.3. Preparación de las probetas de ensayo.....	54
2.4. Espesor óptimo del recubrimiento realizando variaciones de parámetros: Corriente, Voltaje..	57
2.5. Control de las variables del proceso.....	57

	Pág.
2.6. Resultados obtenidos.....	63
2.7. Control del producto.....	69
CAPITULO III. DISCUSION DE RESULTADOS.....	76
3.1. Optimización del proceso.....	86
3.2. Ensayos de calidad.....	90
3.2.1 Análisis metalográfico.....	90
3.2.2. Determinación de Porosidad.....	91
3.2.3. Corrosión.....	92
3.2.4. Doblado (Adherencia).....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	102
APENDICE.....	104

INDICE DE TABLAS

NO.	Descripción	Pág.
I	Composición básica de baños cianurados...	22
II	Solución con abrillantador.....	24
III	Baños alcalino-cianurados electrólito 1..	26
IV	Baños alcalino-cianurados electrólito 2..	26
V	Baños alcalino-cianurados electrólito 3..	27
VI	Baños alcalino-cianurados electrólito 4..	27
VII	Composición de electrólito de fluoboratos	29
VIII	Electrólito Patrón a base de Fluoboratos.	30
IX	Soluciones abrillantadoras.....	33
X	Espesores recomendados.....	36
XI	Electrólito.....	51
XII	Composición del baño luego del ensayo....	63
XIII	Resultados 10 minutos de inmersión.....	65
XIV	Resultados 13 minutos de inmersión.....	66
XV	Resultados 15 minutos de inmersión.....	67
XVI	Resultados 20 minutos de inmersión.....	68
XVII	Probetas con valores óptimos.....	87
XVIII	Defectos, causas y soluciones presentes en el proceso.....	89
IXX	Valores de corriente y potencial obtenidos en el ensayo de corrosión.....	93

INDICE DE FIGURAS

NO	Descripción	Pág.
1.	Migración y descarga de los Iones Cadmio.....	21
2.	Planta de electrodeposición del proceso.....	43
3.	Transformador-rectificador.....	44
4.	Diagrama eléctrico.....	44
5.	Cuba electrolítica.....	47
6.	Cuba de Enjuague.....	47
7.	Agitador.....	48
8.	Cadmio metálico.....	50
9.	Anodos de cadmio.....	50
10.	Probetas utilizadas.....	56
11.	Control de la masa depositada.....	71
12.	Espesor vs Densidad de Corriente para varios tiempos de inmersión.....	77
13.	Espesor vs Tiempo para varios valores de corriente.....	78
14.	Espesor vs Potencia para varios tiempos de inmersión.....	79
15.	Peso vs Potencia para varios tiempos de inmersión.....	80
16.	Peso depositado vs Corriente inyectada.....	81

17.	Peso vs Tiempo para diferente valores de corriente.....	82
18.	Granos de metal depositado.....	90
19.	Uniformidad del recubrimiento.....	91
20.	Recubrimiento luego de someterse a ensayo de.. corrosión.....	94
21.	Curva característica. Método Potenciostático..	95
22.	Ensayo de Adherencia.....	97
23.	Adherencia defectuosa.....	97



NOMENCLATURA

A (dm ²).....	Area
Cd.....	Cadmio
d (g/cm ³).....	Densidad
D (Amp/dm ²).....	Densidad de Corriente
I (amp).....	Intensidad de corriente
m (g).....	Masa
P (Vatios).....	Potencia
s (Um, mils).....	Espesor de recubrimiento
T (°C).....	Temperatura
t (min).....	Tiempo
v(volt).....	diferencia de Potencial
Ca ₂ CO ₃	Carbonato de calcio
EDTA.....	Acido Etilendiaminotetracético
NaOH.....	Hidróxido de sodio
NO ₃ Ag.....	Nitrato de plata
NaCN.....	Cianuro de sodio
OCd.....	Oxido de Cadmio
Ph.....	Potencial de Hidrógeno

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es el de tratar de dar a conocer la importancia del recubrimiento metálico con cadmio sobre aceros. El problema de la corrosión de los metales en la atmósfera u otros medios, ha llevado a la necesidad de utilizar recubrimientos para mejorar su resistencia a la corrosión y conseguir alguna propiedad superficial deseada que no tiene el metal base.

En general las propiedades del conjunto vienen determinadas por la del metal protegido y por la del material protector. El recubrimiento solo tiene marcada influencia sobre las propiedades ligadas a la superficie: resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica, color, soldabilidad, resistencia eléctrica por contacto, coeficiente de rozamiento.

El requisito más importante en la práctica de los recubrimientos protectores es el de la limpieza de la superficie en la cuál estos se aplican. La naturaleza física y química de la superficie del material base ejerce un efecto marcado sobre el acabado final y la calidad del recubrimiento, sea este de cualquier tipo.

La presencia de grasa, aceite, productos de la corrosión, suciedad ejercen influencia sobre el grado de adherencia, continuidad y el tiempo de duración del recubrimiento. Es conocido que para obtener una buena calidad del recubrimiento protector depende del pretratamiento que se le da al metal base. En los últimos años, la tecnología de los recubrimientos ha presentado considerables avances, y han aparecido una gran cantidad de materiales y métodos para realizar la limpieza de las superficies.

Después de realizar una buena preparación superficial, es indispensable cuidar en diferentes condiciones de acuerdo a las variables que podamos manejar dentro del proceso.

El proceso se complementa tratando de dar a la superficie cuidada un mejor brillo y mejorar las cualidades contra los diferentes agentes atmosféricos.

Controlaremos la calidad del producto obtenido, mediante el uso de ensayos que nos permitan controlar la calidad del producto recubierto.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEORICO

1.1. GENERALIDADES DE LA ELECTRODEPOSICION DEL CADMIO.

El interés principal de estos recubrimientos, radica en su extraordinaria resistencia a la corrosión, lo que los hace especialmente aptos para la protección del hierro y acero, sobre todo cuando estos materiales están sometidos a la presencia de agentes atmosféricos.

Los recubrimientos de cadmio pueden ser usados además de su buena capacidad protectora, dado que la aplicación del recubrimiento es sacrificada para proteger la parte del metal base que se encuentra bajo de él, también por su buena conductividad y fácil soldadura, natural lubricación, excelente conductividad eléctrica (1).

Los factores determinantes en la elección de un método para aplicar un recubrimiento protector contra la corrosión, gravitan sobre la calidad y economía que presentan para una aplicación

determinada, uniformidad, espesor del recubrimiento ajustado a normas establecidas, entre otros factores determinan la diferencia existente entre ellos.

Los recubrimientos de cadmio obtenidos con los baños normales suelen tener ya un aspecto brillante con un color parecido al de la plata; ahora con los modernos baños brillantes, este brillo se aumenta considerablemente, al mismo tiempo que su poder de protección. El cadmio es posible pulirlo y es suficientemente suave para ser decapado.

El rendimiento de esta propiedad protectora hace que el metal sea particularmente apropiado para la protección de materiales que realizan procesos de bateado o lavado de máquinas, esto es ideal para todo tipo de partes conformadas de hierro y acero, debido a que es altamente resistente a los poderes de lavado, como jabones, lejías, etc (2).

Disociación electrolítica

Las sustancias solubles que contienen disuelto un electrólito conducen la corriente eléctrica. Dichas sustancias una vez disueltas se disocian en mayor o menor rango, en partículas cargadas eléctricamente llamadas iones, los cuales pueden consistir en

átomos o grupo de átomos.

Cuando un átomo se cambia a un ión cargado negativamente, entonces adquiere uno o más electrones adicionales, en tanto que cuando un ión se carga positivamente a perdido uno o más electrones.

Al introducir en una solución de cianuro de Cadmio dos electrodos diferentes, como cadmio y hierro, conectandose estos a los polos positivo y negativo de una fuente de corriente directa respectivamente, se producirá una diferencia de potencial que dará como origen la circulación de corriente en dicha solución.

Debido a la acción de la corriente, la sal CN_2Cd se descompone en iones positivos o cationes Cd^{++} que emigran o son extraídos hacia el cátodo o electrodo negativo, en tanto que los iones negativos o aniones CN^- se dirigen hacia el ánodo o electrodo positivo.

Deposición del Cadmio

El cadmio es generalmente depositado desde una solución alcalina de cianuro y el proceso es extremadamente simple dado que el electrólito

contiene una cantidad suficiente de metal, adecuada cantidad de cianuro libre y el requisito adicionar agentes con el fin de obtener recubrimientos lisos y brillantes.

El proceso electrolítico de la electrodeposición del cadmio consiste, en que mediante el paso de la corriente eléctrica continua a través de una solución a base de sulfato o cianuro de cadmio, se produce en el electrodo negativo o cátodo en contacto con la solución, la descarga de dicho metal, al mismo tiempo en el electrodo positivo o ánodo de cadmio se produce la disolución parcial del mismo.

El cadmio metálico a depositar está contenido en el baño en forma de iones. Es así como, sea el baño de tipo ácido o alcalino-cianurado, cuando se aplica un potencial a los dos electrodos sumergidos en el mismo, los iones cargados eléctricamente se ponen en marcha hacia uno de los electrodos.

Los iones metálicos cargados positivamente (cationes) se dirigen hacia el cátodo y los iones cargados negativamente se mueven hacia el ánodo, transportando de esta forma la corriente eléctrica.

Por efectos de la corriente eléctrica, en el cátodo se producirá una reacción de reducción, mientras que en el ánodo se efectúa el proceso de oxidación, ligados ambos fenómenos a una variación de la valencia, es decir de el número de electrones libres.

Así pues el Cd, cede 2 electrones en ánodo y pasa al estado iónico según la reacción:



Mientras que en el cátodo toma 2 electrones, y pasa al estado metálico depositandose ahí, según la siguiente reacción:



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

1. Migración del ión.
2. Adsorción de la superficie metálica catódica como un ad-ión.

3. Difusión de ad-ión a través de esa superficie.
4. Descarga del ión.

En la **primera fase** el ión cargado eléctricamente emigra hacia la región catódica, pasando luego a la superficie metálica en la que se pierden las moléculas de hidratación, como se indica en la Fig. N^o 1.

En la **segunda fase** el ión se absorbe sobre la superficie metálica como un ad-ión es decir, se incorpora en una película superficial.

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

En la **cuarta etapa**, los iones transfieren electrones, es decir entregan su carga, se vuelven eléctricamente neutros y se depositan formando átomos metálicos puros. Los átomos metálicos se descargan en una forma aleatoria, es decir, amorfa y sin orientación y después se rearreglan y se convierten en cristales.

Este es el proceso que da como resultado una capa metálica de cadmio.

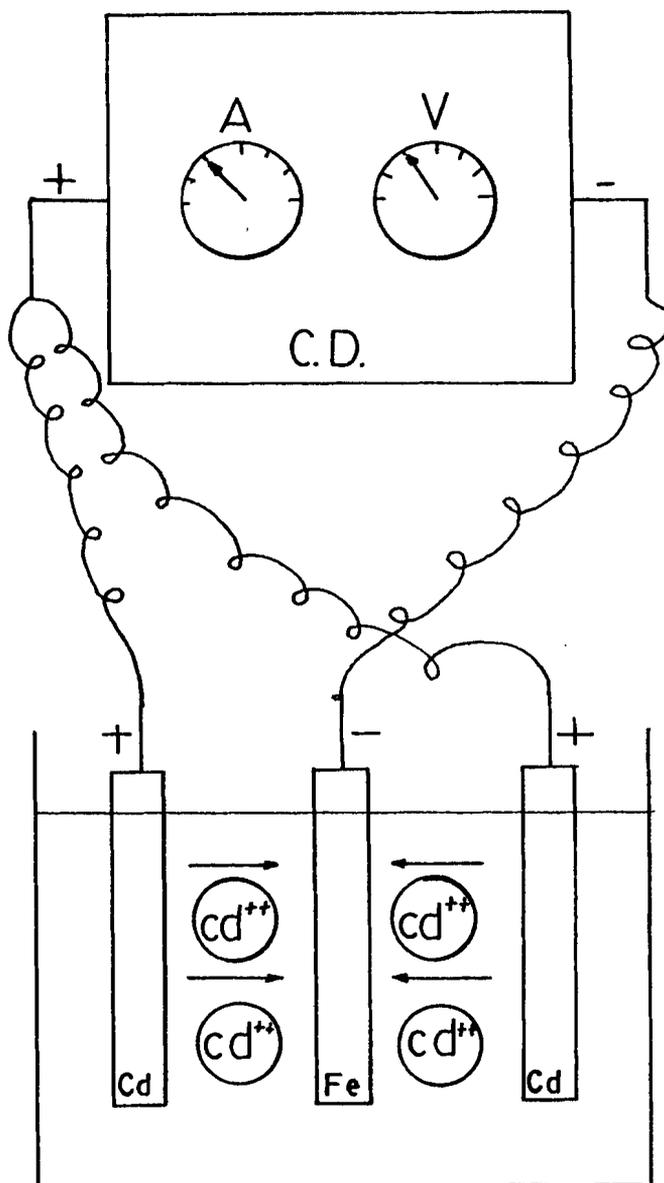


Fig. No 1. Migración y Descarga de los iones Cadmio.

1.2. TIPOS DE BAÑOS EXISTENTES

Soluciones-electrólito empleadas.

La inmensa mayoría de los baños de cadmio brillantes utilizan como electrólito una solución alcalino-cianurada, aunque últimamente se han introducido con algún éxito baños de fluoboratos.

Baños alcalino-cianurados.

La composición base para estos baños, según se utilice para su preparación el óxido o cianuro de cadmio, varían según los límites que a continuación citamos.

TABLA N° I

COMPOSICION BASICA DE BAÑOS CIANURADOS

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	30-45
CIANURO SODICO	80-120
CIANURO DE CADMIO	40-85
HIDROXIDO SODICO	20-40

La densidad de corriente oscila entre 1-3 amp/dm² según la composición y el abrillantador utilizado, siendo la temperatura de funcionamiento de 18-30°C. Se han propuesto numerosos agentes de adición para producir o incrementar el brillo de los depósitos de cadmio. Entre los abrillantadores de tipo inorgánico utilizados en estos baños se pueden incluir las sales de níquel, de cobalto, uranio, molibdeno, selenio, mercurio y aluminio (3).

Las más usadas de todas ellas son las de níquel y cobalto, especialmente las de níquel en la concentración de 0.05-0.4 g/l. Muchos de los abrillantadores orgánicos empleados en los baños de zinc pueden ser usados también en los de cadmio, solos o acompañados de sales inorgánicas, preferentemente de níquel (4).

Cuando los baños a utilizar son pocos concentrados y emplean densidades de corriente bajas, se acostumbra a adicionar abrillantadores únicamente de tipo orgánico. Cuando se emplean electrolitos concentrados que utilizan altas densidades de corriente, es preferible utilizar un abrillantador orgánico junto con algunas de las sales citadas preferentemente cianuro o sulfato de níquel en cantidades de 0.5-2 g/l (5).

Entre los primeros abrillantadores orgánicos utilizados en estos baños cabe destacar una serie de proteínas naturales extraídas de la lana, además de leche y caseína, a los que han seguido productos tales como dextrina, almidón, melaza, gelatina, glicerina, extracto de regaliz, goma laca, goma arábica y aceites sulfonados en el que destaca el aceite rojo de turquía.

Entre los electrólitos citados para producir depósitos brillantes de Cadmio, destacamos los siguientes:

TABLA N° II

SOLUCION CON ABRILLANTADOR

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	25
CIANURO SODICO	110
SULFATO SODICO	10-50
EXTRACTO DE REGALIZ	1.5

El PH de este baño oscila entre 12-13, siendo su temperatura de trabajo de 20-25°C, y su densidad de corriente de 1-3 A/dm².

En todos los casos la relación entre el cianuro de sodio total y el cadmio debe ser de 5:1 para mantener elevada eficiencia catódica del electrólito y reducir a un mínimo la formación de carbonato de sodio. Es aconsejable controlar diariamente el cianuro de sodio y semanalmente el cadmio metálico, agregando óxido de cadmio o hidrato si fuese necesario. Los abrillantadores son por lo general, ácido nítrico, peróxido y ácido crómico (6).

Selección de baños de cianuro (7).

La selección de un baño sobre la base depende de la relación Cianuro-Metal, del tipo de trabajo y de los resultados deseados, así tenemos:

1. Para partes metálicas sin descanso y cuando la protección del metal base es lo que se requiere el electrólito 1 es el recomendado (ver Tabla III).
2. Para partes con grandes descansos y acabados brillantes y uniformes, el electrólito 2 es el recomendadoa (Ver Tabla IV).
3. Para láminas brillantes para todo propósito y variadas formas, se recomienda el electrólito 3

(Ver tabla V).

4. Para láminas de alta velocidad y alta eficiencia de recubrimiento se recomienda el electrólito 4 (Ver tabla VI).

TABLA N° III
ELECTROLITO 1

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	23
CIANURO DE SODIO	78
HIDROXIDO DE SODIO	14.2
CARBONATO DE SODIO	30-75
DENSIDAD DE CORRIENTE	2.5 Amp/dm ²
TEMPERATURA	27-32 °C

TABLA N° IV
ELECTROLITO 2

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	23
CIANURO DE SODIO	138
HIDROXIDO DE SODIO	14.2
CARBONATO DE SODIO	30-45
DENSIDAD DE CORRIENTE	2.5 Amp/dm ²
TEMPERATURA	27-32 °C

TABLA N° V

ELECTROLITO 3

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	26
CIANURO DE SODIO	115
HIDROXIDO DE SODIO	16.4
CARBONATO DE SODIO	30-60
DENSIDAD DE CORRIENTE	3.5 amp/dm ²
TEMPERATURA	24-29 °C

TABLA N° VI

ELECTROLITO 4

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	40.1
CIANURO DE SODIO	163
HIDROXIDO DE SODIO	25.8
CARBONATO DE SODIO	30-45
DENSIDAD DE CORRIENTE	0.5-4.5Amp/dm ²
TEMPERATURA	27-32 °C

Ventajas y Desventajas de los baños alcalino-cianurados.

Ventajas:

- Se logran depósitos uniformes.
- Alta eficiencia anódica (100%).
- Buen poder de desprendimiento y deposición del metal.
- Alta velocidad de deposición.
- No se requiere elevada concentración.
- Ofrecen gran poder penetrante, buena adherencia.
- Aceptan depósitos posteriores.
- Se puede aplicar directamente sobre el metal base.

Desventajas:

- Difícil de controlar.
- El metal a depositar debe ser de elevada pureza
- Continua y periódica filtración del baño.
- Son más costosos que los baños ácidos.

Electrólitos de Fluoboratos.

Los electrólitos con base de fluoboratos se

caracterizan por permitir recubrimientos rápidos, fácil preparación, mantenimiento y control del baño, elevada eficiencia catódica y anódica y excelente estabilidad del electrolito. El recubrimiento es uniforme, con buena adherencia, resistencia a la corrosión y de aspecto mate claro muy atractivo.

Un baño de cadmio de fluoborato posee 100% de rendimiento catódico, lo que indica un bajo desarrollo del hidrógeno sobre la pieza a galvanizar, de importancia para aceros templados, que pueden ser cadmiados sin riesgos de agrietamientos por hidrógeno. La composición del electrolito es muy semejante a la empleada en el cadmiado con soluciones alcalino-cianuradas, aunque la concentración de los componentes y la densidad de corriente y tensión son algo mayores.

TABLA N° VII

COMPOSICION DE ELECTROLITO DE FLUOBORATOS

COMPONENTES	G/L
FLUOBORATO DE CADMIO	242
FLUOBORATO AMONICO	60
ACIDO BORICO	27
EXTRACTO DE REGALIZ	1

El pH del baño es de 3-3,5, y su temperatura de

trabajo de 21-38°C, siendo la densidad de corriente de 3-6,4 A/dm², y la tensión de 4-6 voltios. La relación ánodo/cátodo más aconsejable es de 2:1 (8).

TABLA N° VIII

ELECTROLITO PATRON A BASE DE FLUOBORATOS

COMPONENTES	G/L
FLUOBORATO DE CADMIO	240
EQUIVALENTE METALICO DE CADMIO	94
FLUOBORATO DE AMONIO	60
LICORICE O PEPTONA	1
PROPIEDADES	VALORES
TEMPERATURA °C	21 - 37
DENSIDAD AMPERICA A/dm ²	3 - 6
POTENCIAL HIDROGENO (COLORIMETRICO)	4 - 4.6
TENSION (VOLTIOS)	4 - 6
AGITADO (AIRE O MECANICO)	

El fluoborato de cadmio se obtiene en concentraciones de aproximadamente 50% en peso lo que corresponde a 770 g/l. El fluoborato es vertido en agua que contenga poco cloruro y llevado a la concentración indicada. Una vez diluido, se incorpora el fluoborato de amonio, controlando que el pH este entre 4 y 4,6; si fuera inferior se agrega agua amoniaca (1:1) y ácido fluobórico si

ocurriera lo contrario. Una vez vertida el agua amoniacal debe agitarse enérgicamente el líquido para prevenir la formación de precipitado (9).

Ventajas y Desventajas de los baños de fluoboratos.

Ventajas:

- Fácil control y preparación del baño.
- Gran velocidad de deposición.
- Elevada eficiencia catódica.
- Reducido desarrollo de hidrógeno en la pieza a recubrir.
- Alto rendimiento electrolítico.

Desventajas:

- *Necesario enfriamiento y agitación por aire, manual o mecánico.*
- Mayor densidad de corriente.
- Concentración elevada de los componentes.
- Componentes escasos en el mercado.

En los dos tipos de baños, la adición excesiva de estos agentes producen depósitos de inferior calidad y tienen pobre resistencia a la corrosión.

Abrillantado químico por inmersión.

Para la obtención de depósitos brillantes y mejorar la presentación y estética es necesario, conforme hemos indicado, que los ánodos y electrólito empleados sean de la máxima pureza, siendo aconsejable la filtración periódica y continua de la solución electrolítica, que se provea a esta del suficiente sistema de agitación y que se trabaje exactamente con las condiciones estipuladas para cada baño.

Este tratamiento produce la pasivación química de la superficie cadmiada, aumentando considerablemente su resistencia a la corrosión, al mismo tiempo que su brillo.

Las soluciones más comunmente utilizadas son las siguientes, las cuales las proporcionamos en la Tabla IX (10):

TABLA N° IX

SOLUCIONES ABRILLANTADORAS

SOLUCIONES	G/L
ACIDO CROMICO	100
ACIDO SULFURICO CONCENTRADO	2
PEROXIDO DE HIDROGENO (de 100 vol)	70
ACIDO SULFURICO CONCENTRADO	3
ACIDO NITRICO	5 - 10
ACIDO CROMICO	100
ACIDO SULFURICO CONCENTRADO	6.1
ACIDO FOSFORICO CONCENTRADO	2.9
ACIDO NITRICO CONCENTRADO	7.10

Se opera para esta pasivación a temperatura ambiente. El objeto cadmiado se sumerge en una de estas soluciones abrillantadoras durante 8-20 segundos, con ligera agitación. Al cabo de este tiempo se saca de la solución, se lava en agua corriente y se seca.

Si se desea eliminar las irisaciones ligeramente coloreadas que se forman en su superficie, es preciso sumergir el objeto durante algunos segundos, inmediatamente después del citado tratamiento, en una segunda solución teniendo metasilicato sódico al 2% procediéndose finalmente a su lavado y secado.

1.3. USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES

Es necesario reconocer la importancia del proceso no solamente desde el punto de vista económico, sino además de la forma con que pueda desarrollarse y adaptarse tecnológicamente en beneficio de los pequeños industriales del sector, con el fin de obtener procesos con buena calidad de manufactura.

Debemos saber además que los medios corrosivos producen grandes pérdidas de materiales, y algunos fallan por corrosión. Actualmente la técnica de cadmiado tiene las siguientes aplicaciones:

- a. Aplicación en componentes eléctricos, por su buena conductividad ha encontrado gran aplicación en la fabricación de accesorios para la industria de la radio, partes de interruptores, equipos de control, alambres de resistencia, dínamos de carros, no aumenta su resistencia de contacto por lo que puede ser utilizado en la mayoría de instrumentos delicados, de tal manera es utilizado en la industria de las telecomunicaciones (11).
- b. Aplicaciones en ingeniería, en los motores comerciales el cadmiado es usado en una

extensión considerable sobre partes que están ocultas o cubiertas de una armazón metálica ejemplos: resortes, bástagos de conexión, también es utilizado en partes de motores que no requieren esmaltado o pintado tales como; tornillos, pernos, tuercas y resortes.

Otras aplicaciones incluyen una variedad de componentes de ingeniería, hierro y aceros fundidos, llaves, destornilladores y otras herramientas además es ideal para la protección de implementos de agricultura y herramientas para jardinería.

Tiene una desventaja, las sales de cadmio son venenosas y por ese motivo este metal bajo ninguna circunstancia es utilizado para revestir envases de la industria alimenticia o para fabricar utensillos de cocina o de mesa, ni es aconsejable aplicar en metales no ferreos tales como el cobre o latón (ver Apéndice A).

En la TABLA X se da los espesores que se recomiendan de acuerdo al medio ambiente o al grado de exposición que van ha estar sometidos (12).

TABLA N° X

ESPESTORES RECOMENDADOS

Medio de Exposición	Descripción	Espesor µm mils	Usos
Apacible	Expuestos dentro de atmósfera con rara condensación Mínimo uso y abrasión	5 0.2	Resortes Sujetadores
Moderado	Expuestos en su mayor parte dentro de atmósferas secas, sujetas a ocasional condensación uso o abrasión	8 0.3	Cubiertas para radio y televisión, tornillos, partes electrónicas para servicio tropical
Severo	Expuesto a condensación no frecuente de lluvia, limpieza	13 0.5	Partes de maquinaria de limpieza, herraje militar, partes electrónicas para servicio tropical
Muy severo	Sujetas a frecuentes mezclas, soluciones salinas y soluciones limpiadoras	25 1

1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS FRENTE A OTROS PROCESOS.

Cadmiado vs zincado

Ventajas.

- En ambientes rurales el cadmio y zinc ofrecen igual protección, sin embargo el cadmio es inferior al zinc en medios industriales.

En atmósferas marinas el cadmio tiene ventajas en cuanto a protección, cuando la comparación se realiza a una distancia de 24 m. desde el océano, el Cd proporciona una protección significativamente mayor que la del zinc.

- Una razón para preferir el recubrimiento de cadmio en lugar del zinc es la de que produce una pequeña cantidad de corrosión en relación al zinc, particularmente en medios marinos.
- Se deposita en mayor proporción para una cantidad de corriente dada.

- Bastan revestimientos más delgados para asegurar la protección del metal
- El cadmio retiene sus apariencias iniciales por largo tiempo, se obtiene una buena presentación en objetos pequeños de hierro y acero, sometiendolos a elaboración posterior sin inconvenientes.

Desventajas:

- En el proceso de cadmiado se requiere mayor control de las variables y baños a utilizar.
- En lo que se refiere al costo es mayor debido a la dificultad para la obtención del metal.

Cadmiado vs Cobreado

Ventajas:

- Mejor acabado.
- Superior resistencia a medios corrosivos.
- Mejor maquinabilidad y soldabilidad.
- No se empaña.

Desventajas:

- A nivel decorativo el costo resulta elevado.
- Mayor precaución y control de los baños.
- Mayor toxicidad presente en el proceso.

Cadmiado vs Estañado**Ventajas:**

- Elevada eficiencia alcanzada.
- Mayor resistencia en ambiente marinos.
- Parecido grado de soldabilidad.

Desventajas.

- No se recomienda su uso en recipientes de conservación de alimentos.
- En medios industriales y farmacéuticos resiste menos.
- El costo para su proceso es mayor.

Cadmiado vs Cromado

Ventajas:

- El pulido posterior es menos costoso.
- Requiere baja densidad de corriente y tensión.
- Elevado rendimiento de corriente.
- Es frecuente el cadmiado directo sobre piezas de hierro y acero no así el cromo.
- No necesita de otro recubrimiento como base, ya sea cobre o níquel para resistir a la corrosión.
- Menor temperatura presente en el momento del proceso.
- Tiene mayor auto-lubricación.

Desventajas:

- Para fines decorativos resulta elevado el costo comparandolo con el cromo.
- Respecto al cromado duro su dureza es menor.
- Costo parecido.

1.5. PLANTA FISICA PARA LA PRODUCCION EN PEQUEÑA ESCALA.

La planta esta alimentada mediante un transformador-rectificador, si bien de pequeña capacidad que es lo que se requiere, debido a que se trata utilizarla en la pequeña industria y además porque emplea densidades ampéricas bajas. Este rectificador nos permitirá variar el voltaje y el amperaje de acuerdo a nuestra necesidad. Se puede trabajar con intensidades que varían desde 0 a 10 amperios por dm^2 de área total.

Elementos Básicos.

La planta piloto Fig. N°2 está compuesta de los siguientes elementos y accesorios:

- a. Transformador rectificador
- b. Cubas electrolíticas.
- c. Cables
- d. Reguladores de la corriente y el voltaje.
- e. Los ánodos y las armaduras de conducción,
- f. Agitador.

Transformador-Rectificador.

Con sus accesorios de control tanto de corriente como de voltaje, sistemas de alimentación, etc.

(Ver Fig. N° 3). El diagrama eléctrico lo podemos observar en la Fig. N°4.

El Cadmiado al igual que otros procesos de electrodeposición se caracteriza por la baja densidad de corriente que se necesita para el proceso. La intensidad de corriente deseada depende de la superficie total en tratamiento simultáneo y la densidad de corriente aplicada.

El voltaje alcanzado depende de las condiciones en las cuales se realiza el proceso, además de las características anotadas, básicamente en la selección del rectificador se deben considerar los parametros siguientes:

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

De forma que la densidad de corriente esta proporcionada por:

$$I = A_{\text{max}} * D_{\text{máx}}.$$

En virtud que se trabajará con valores menores a $10 \text{ Amp}/\text{dm}^2$ de densidad de corriente, un rectificado de 10 Amp . y 10 voltios satisface plenamente los requerimientos para el desarrollo de el cadmiado y los objetivos trazados para el presente trabajo. La función del transformador será de reducir la tensión de alimentación a la requerida.

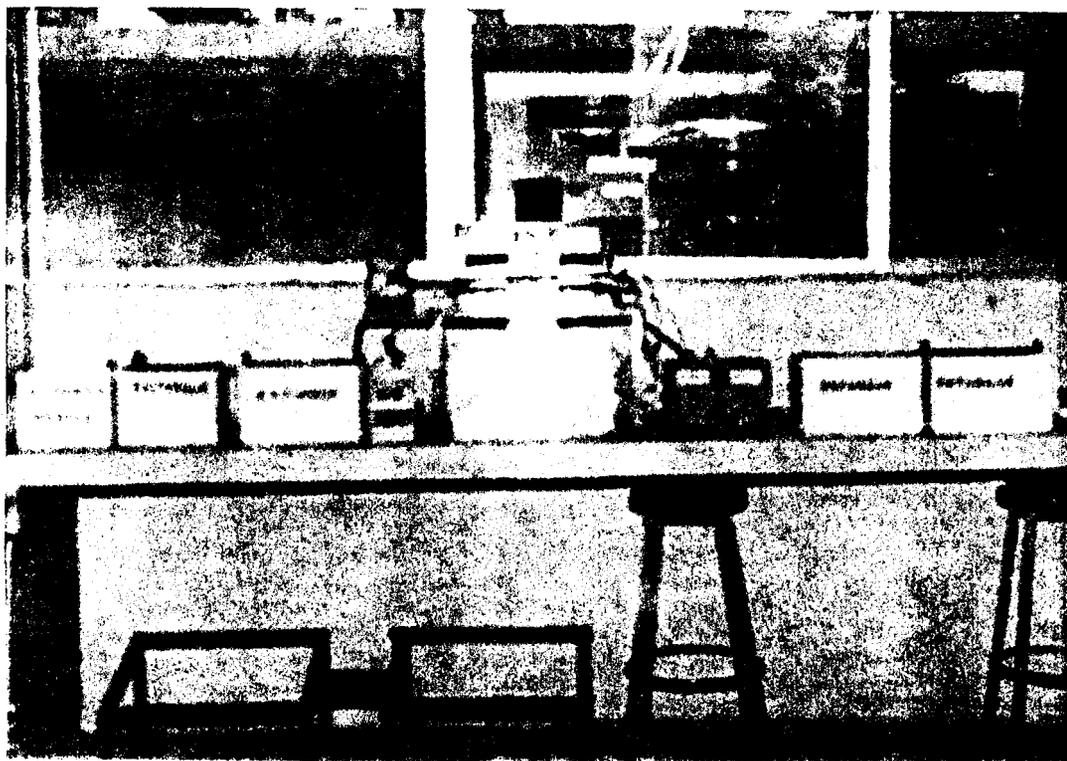


Figura. N° 3. Planta piloto de electrodeposición.



Figura. N° 3. Transformador - rectificador.

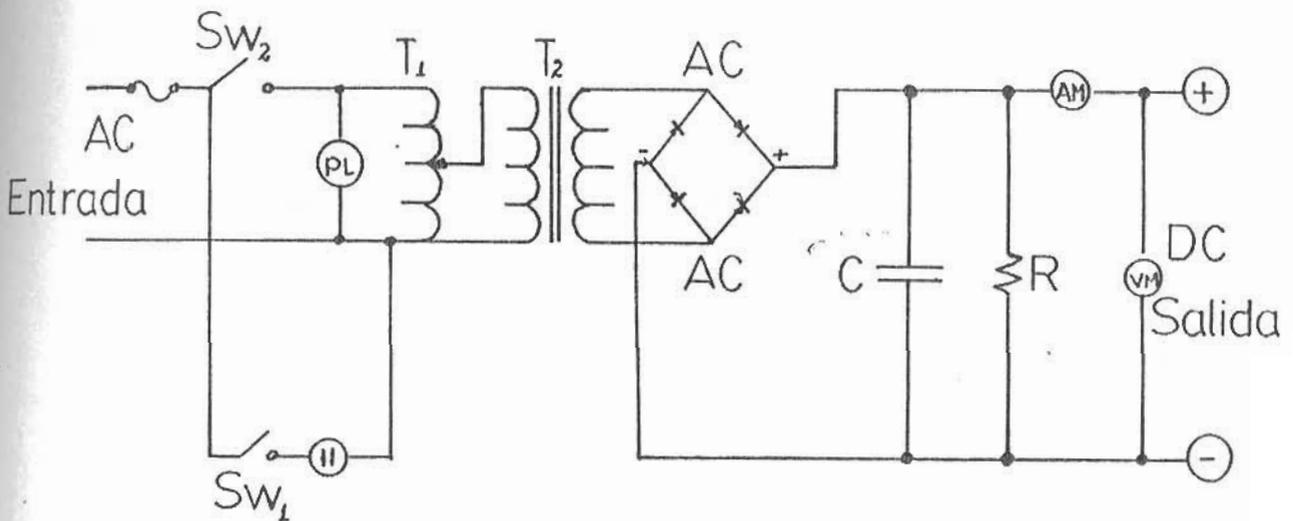


Figura. N° 4. Diagrama eléctrico del transformador - rectificador

Cubas

Por cuba se denomina el receptáculo donde se encuentra la solución del electrólito, el material de las cubas fue escogido para que satisfaga los siguientes requerimientos:

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

Las cubas prestan las facilidades necesarias para su limpieza y transporte (ver Fig. N° 5). Para cubas de enjuague en el presente trabajo se utilizarán recipientes de brea, las mismas que contendrán agua natural, realizandose esta etapa con agitación manual (ver Fig. N° 6).

Anodos.

Los ánodos son piezas que contienen Cadmio a 99.99% de pureza y de sección cuya forma es particular para el buen desarrollo del proceso, el gancho del sosten va asegurado al ánodo en forma rígida.

Debido a que se trabajan con probetas de 0.25 dm^2 las dimensiones de los ánodos deben ser tales que abarquen las superficies de dichas probetas.

Armadura de Conducción.

La armadura de conducción está compuesta por varillas de cobre de $5/16''$ dispuestas paralelamente, la primera constituye la barra catódica, ya que de esta irán suspendidos los cátodos, en este caso es lo que se desea recubrir, mientras que los otros constituyen las barras anódicas de la cuál se suspenderán los ánodos. Para asegurar que la distribución de corriente sea aceptable, la barra catódica va intercalada entre las anódicas.

Agitador.

El tipo de agitación de esta planta será mecánico, para esto nos ayudaremos de un motor reductor con una velocidad de 10 rpm, que nos proporciona una velocidad lineal de 6 cm/s. Este motor se encuentra conectado a la fuente de 110 volt, consta de un brazo de 6cm.de largo y otro que estará fijo a la barra catódica, en la cual estarán suspendidas las probetas que se desean recubrir.(Fig. N°7).

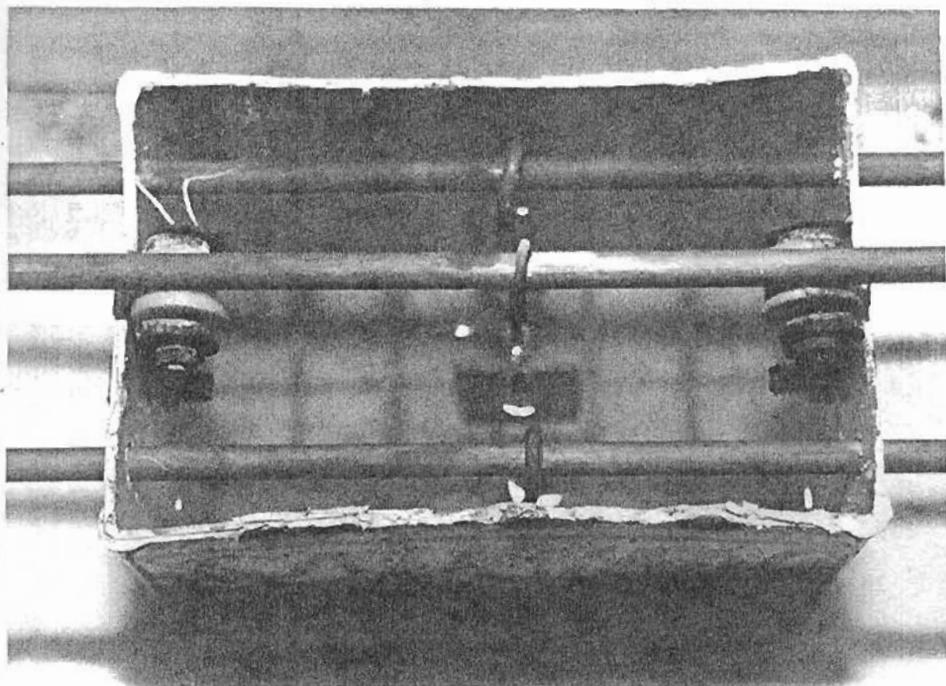


Figura. N° 5. Cuba electrolitica

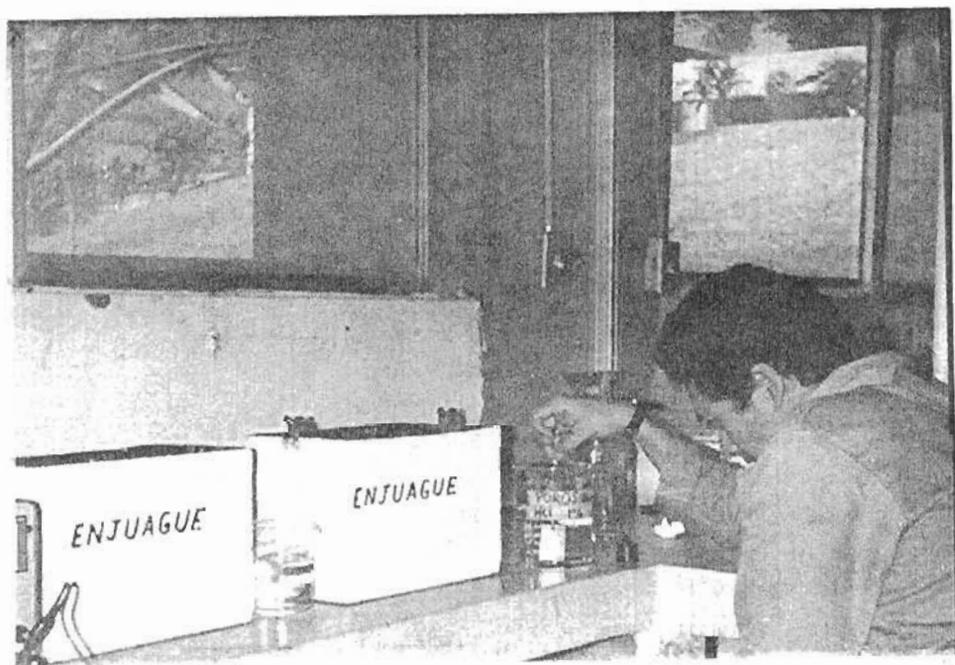


Figura. N° 6. Cubas de enjuague.

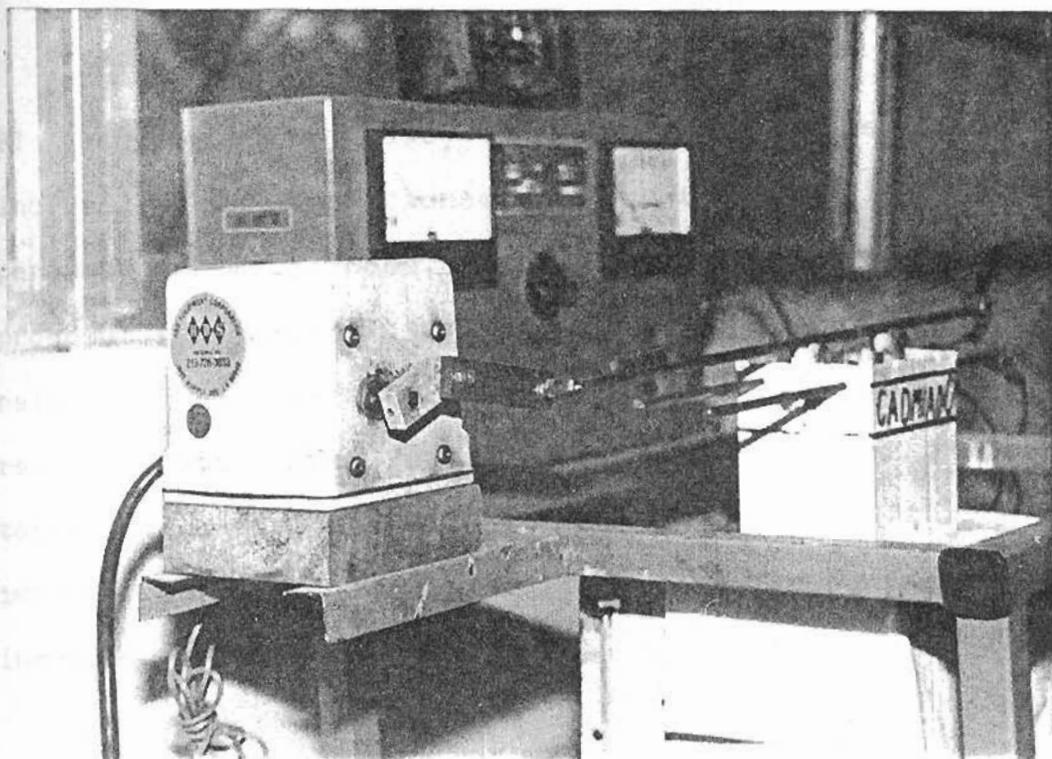


Figura. N° 7.

Agitador mecánico.

CAPITULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El trabajo relacionado con el proceso de Cadmiado, incluye varias operaciones iniciandose con la limpieza perfecta del metal base, posteriormente la aplicación del proceso fundamental y finalizando con el control de calidad, para verificar las bondades y desventajas del recubrimiento. Se realizarán recubrimientos de Cadmio tendientes a explicar el efecto producido por parámetros importantes como; densidad de corriente y tiempo de inmersión.

Al encontrarse gobernado el cadmiado por estos parámetros, nuestro interés radica en estudiar la influencia de estos en el resultado obtenido.

2.1. METODO EXPERIMENTAL

- a. Corte y dimensionamiento de las probetas.
- b. Se procedió a la construcción de los ánodos de Cadmio, para esto se fundió el metal puro y se los sujetó con alambre conductor(Ver fig. 8 y 9)

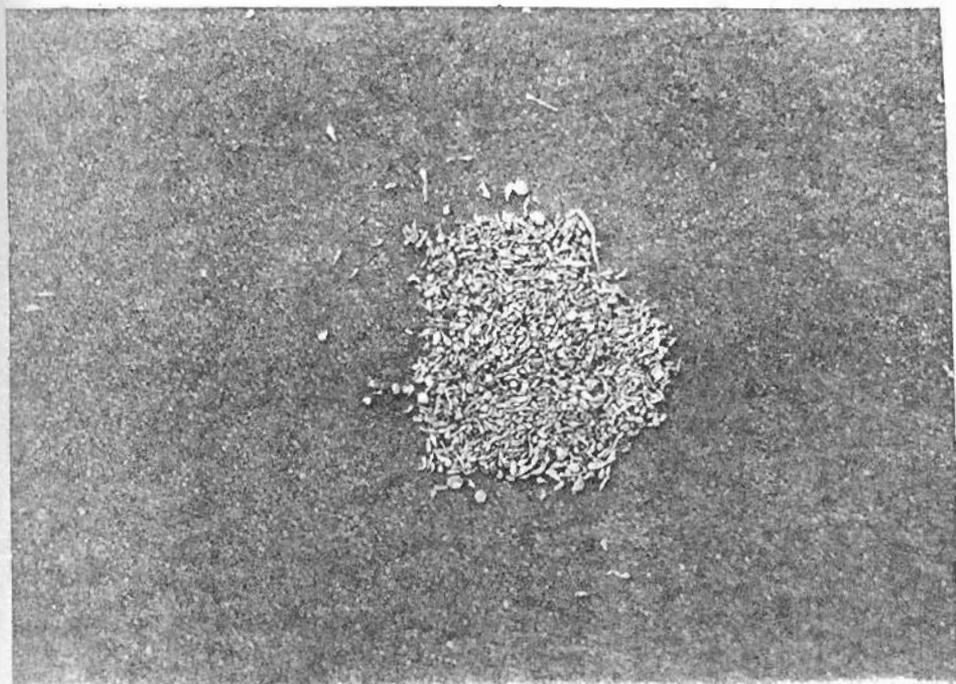


Figura. N° 8. Cadmio metálico.

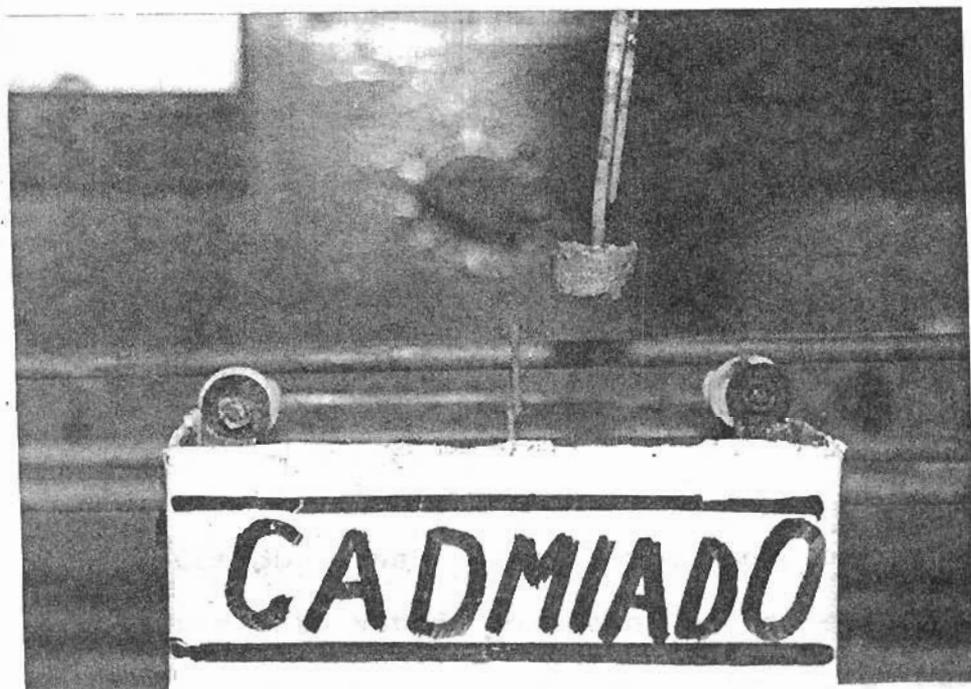


Figura. N° 9. Anodo de cadmio.

- c. Seguidamente se llevó a efecto la preparación del electrólito, el cuál consta de los elementos y su composición respectiva en gramos por litro de solución de acuerdo al tipo de baño utilizado descritos en el acápite 1.2. El volumen de agua destilada para la disolución fue de 0.85 litros de acuerdo con la cuba utilizada para el ensayo y también por el costo de los componentes, a continuación citamos las cantidades utilizadas:

TABLA N° XI

ELECTROLITO

COMPONENTES	G
OXIDO DE CADMIO	22.1
CIANURO DE SODIO	97.75
HIDROXIDO DE SODIO	13.94
CARBONATO DE SODIO	42.5

- d. A continuación verificamos que todas las conexiones se encuentren en perfecto estado para que no haya pérdidas de corriente y que esta sea la seleccionada.
- e. Cuando las conexiones se encuentran en perfecto estado colocamos en el electrólito la pieza que se desea recubrir, seguidamente se inyecta la cantidad de corriente y controlamos el tiempo necesario para obtener un determinado

espesor.

- f. La cantidad de corriente se la determina mediante:

$$I = D * A$$

I = Cantidad de corriente en (Amperios).

D = Densidad de corriente (Amperios/ dm²)

A = Area en (dm²).

- g. El recubrimiento se lo puede realizar con la ayuda de agitación dentro del proceso.
- h. Luego de cumplir el tiempo necesario, se retira la probeta cuidadosamente.
- i. Enjuagado con agua a temperatura ambiente por un tiempo de 1 minuto.
- j. Pulido de las probetas.
- k. Enjuagado con agua a temperatura ambiente.
- l. Secado.

2.2. EQUIPO PARA PRUEBAS.

Es muy importante conocer los materiales y equipos a utilizar con su funcionamiento y las precauciones que hay que tomar.

Materiales.

- a. 50 probetas de ensayo de 5 * 2.5 cm de acero:
AISI 1008 laminado en frío.

AISI 1020 laminado en caliente.

(Observar Fig. N°10).

- b. ánodos de cadmio.
- c. alambres de cobre conductor para sostener las probetas.
- d. barras conductoras de cobre.
- e. papel filtro.
- f. guantes de plástico.
- g. lija gruesa.
- h. lija fina.

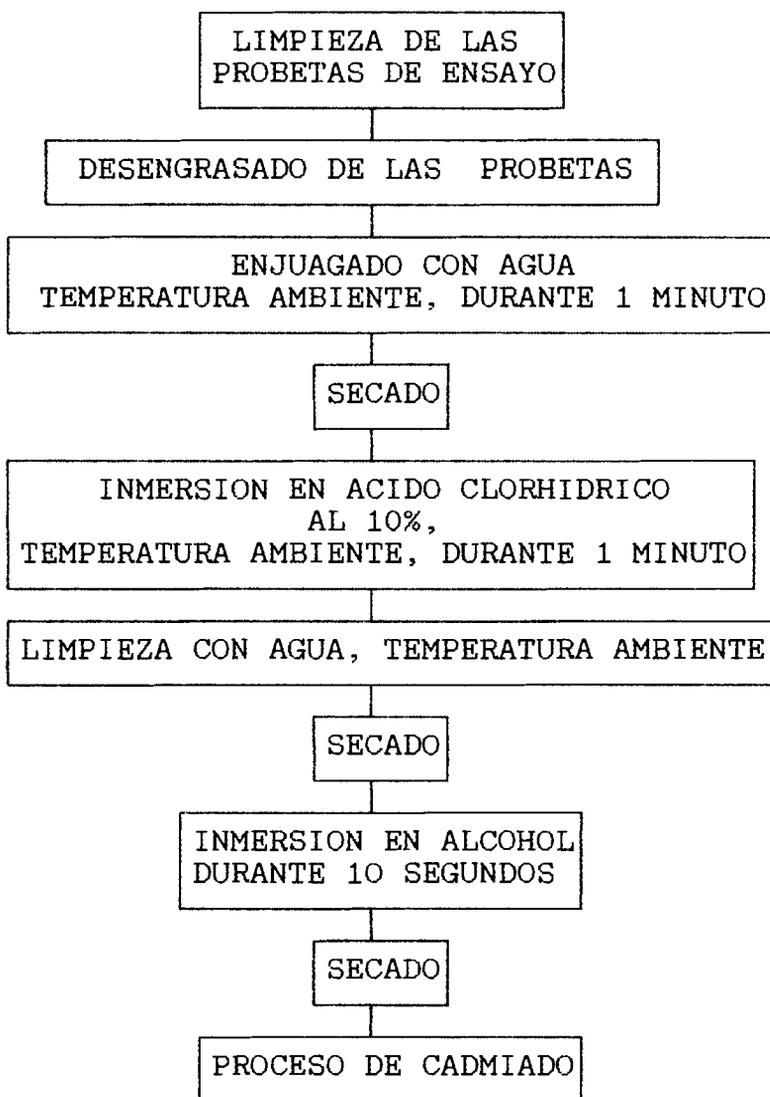
Equipo.

- a. 4 cubas para contener agua
- b. 1 cuba para contener: Agua + detergente.
- c. 1 cuba para contener: electrólito del proceso.
- d. 3 vasos de precipitación graduados para contener:
 - Alcohol
 - HCL (Acido clorhídrico), HNO₃ (Acido Nítrico).
- e. Medidor de Ph y Temperatura.
- f. Cronómetro.

- g. Equipo suministrador de corriente.
- h. Agitador.
- i. Balanza electrónica.
- j. Embudo de cristal.

2.3. PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO.

A continuación se muestra una síntesis del proceso que se realizó.



La metodología la describimos a continuación:

- a. Quitar el óxido de las probetas.
- b. Limpiar las probetas cuidadosamente con agua, detergente y un cepillo con cerdas de plástico suaves.
- c. Sacar la grasa de la probeta con un paño suave, utilizar un guante de plástico para no impregnar de grasa con los dedos.
- d. Posteriormente se enjuaga con agua limpia.
- e. Secar la probeta.
- f. Colocar la probeta en una solución de ácido clorhídrico al 10% durante 1 minuto, visualmente se puede observar el grado de limpieza, inclusive si lo agitamos el decapado será más veloz.
- g. Seguidamente enjuagar con agua limpia.
- h. Secar la probeta.
- i. Para evitar que se produzca la oxidación antes del proceso de cadmiado, se puede sumergir las probetas en alcohol durante 10 segundos.
- j. Secado

Es necesario indicar que existen muy variadas formas de preparar las probetas antes de proceder a realizar su recubrimiento, lo cuál se deja a criterio personal.

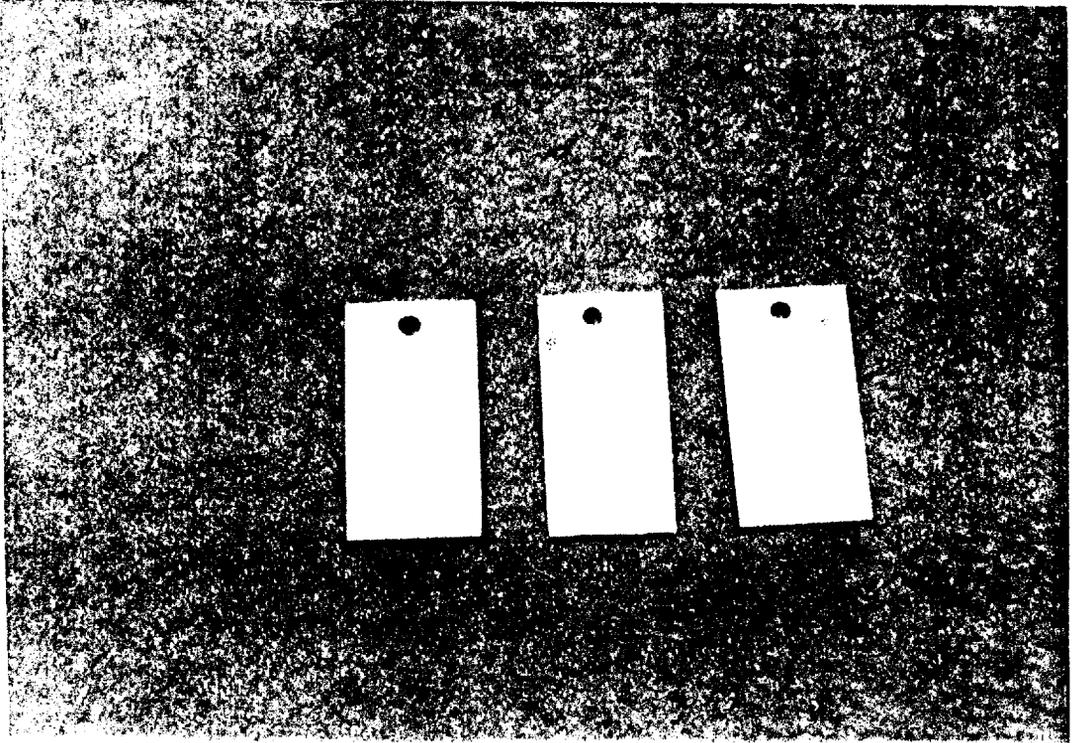


Figura. N° 10.- Probetas utilizadas.

2.4. ESPESOR OPTIMO DEL RECUBRIMIENTO REALIZANDO VARIACION DE PARAMETROS: CORRIENTE, VOLTAJE.

En esta fase de investigación, se trata de estructurar la metodología a seguir en el proceso propiamente dicho. Esto es realizar el control respectivo de las variables presentes de tal forma que se obtenga el espesor deseado en las probetas designadas para el efecto.

La cantidad de probetas utilizadas son 36 de las cuales se utilizaron 9 probetas para cada tiempo de inmersión; 10, 13, 15, 20 min de la misma forma a cada probeta se le inyectó una determinada cantidad de corriente desde 0.25 a 0.8 Amp y se controló la cantidad de voltaje presente lo que nos dará la cantidad de energía que se necesita para llegar a obtener un espesor determinado y tratar en lo posible la obtención de parámetros óptimos tanto de corriente como del tiempo de inmersión, debido a que un aumento del tiempo nos representaría un aumento en el costo del proceso.

2.5. CONTROL DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.

La buena calidad de un recubrimiento de cierto metal base depende de los parámetros que intervienen,

entre los cuales tenemos:

1. Densidad de corriente.
2. Temperatura.
3. Agitación.
4. Concentración de las soluciones.
5. Disposición de las piezas en las cubas.

Densidad de Corriente.

Para obtener depósitos de cadmio 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 crítica se presenta una marcada tendencia de depósitos rugosos, frágiles y mal adheridos.

Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionará inclusive depósitos esponjosos o quemados, como consecuencia de una generación excesiva de hidrógeno que se fija sobre la superficie a cadmiar, dificultandose la adherencia de la película de Cadmio. Además no se produce en el ánodo el desprendimiento del metal con la

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

Temperatura.

Un incremento en la temperatura ocasiona un aumento en el tamaño de los cristales. Es así cómo en los depósitos de Cd estos cambios estructurales en los cristales ocasionan una disminución en la resistencia a la tensión, debido que el depósito es más blando.

Cuando el aumento de temperatura no va acompañado de un aumento en la densidad de corriente, el efecto de esta se traduce en 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.

La elevada temperatura aumenta la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad de la solución, así que la película catódica se

reaprovisiona más rápidamente, lo cual reduce la tendencia a la formación de estructuras absorbentes e incrementa también la densidad de corriente obtenida a partir de un voltaje dado.

Agitación.

La agitación de la solución produce un suministro fresco de sales o iones metálicos al cátodo, barre las burbujas gaseosas que pueden ocasionar cráteres, además mezcla la solución e impide la estratificación de soluciones más pesadas que van al fondo de la cuba.

El resultado neto de la agitación es la que permite utilizar una densidad de corriente más elevada con el propósito de producir un depósito con una estructura excelente, sin perturbaciones mayores, contribuye a una mejor difusión de los iones metálicos.

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

Concentración de las Soluciones

Debido a que los metales pueden depositarse a partir de soluciones que tienen disueltos compuestos de esos metales, se hace necesario tener concentraciones más altas posible de cada sal dada. Al emplear soluciones fuertes obtenemos las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Una conductividad mayor.
- Una densidad de corriente más elevada.
- Una mayor eficiencia del baño.

Desventajas:

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

En general, la composición más conveniente de una solución-electrolito será aquella que tenga pocas iones a depositar y muchas moléculas no disociadas dispuestas a disociarse rápidamente, liberando de

esta manera iones metálicos que sustituirán a los que desaparecen de la película líquida catódica durante la electrólisis.

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

Disposición de las piezas en las cubas.

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

Se ubican las piezas de tal manera que queden dentro del flujo electrogalvánico de los electrodos, bien cubierta por el electrólito y equidistante de los electrodos.

La ubicación de las piezas huecas deben ser tal que en ningún caso puedan retener burbujas de aire o gas en el electrólito.

2.6. RESULTADOS OBTENIDOS

Al término de los estudios realizados se procedió a realizar el análisis del baño de cadmiado en el laboratorio, siguiendo los métodos establecidos en el Apéndice (B), solamente para encontrar la cantidad de cadmio metálico presente se lo realizó mediante absorción atómica de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° XII

BAÑO DE ENSAYO DESPUES DEL PROCESO

COMPONENTES	G/L
OXIDO DE CADMIO	23.9
CADMIO METALICO	16.76
CIANURO LIBRE	69.79
HIDROXIDO DE SODIO	10.13
PROPIEDADES	VALORES
DENSIDAD	18.5 °Bé
PH	13

Si observamos las cantidad en gramos ha variado con relación a su composición original, así tenemos que el óxido de cadmio a aumentado, la cantidad de cianuro a disminuido debido a que se evapora en parte durante el proceso por lo que hay que ir

añadiendo cierta cantidad de acuerdo a la utilización del baño y a los problemas que se presentan durante el proceso, los cuales se explican en el acápite 3.2.

En cuanto a la densidad del baño se encuentra dentro de los rangos permitidos y su potencial de hidrógeno es el aceptable para estos tipos de baños los cuales mencionamos en el capítulo 1.2.

Seguidamente procedemos a mostrar los resultados obtenidos al término del desarrollo experimental en el que se evaluaron los diferentes parámetros presentes en el proceso.

Las tablas de resultados estan dadas para diferentes tiempos de inmersión.

TABLA Nº XII
TIEMPO DE INMERSION
10 MINUTOS

PROBETA #	CORRIENTE μamp	AREA cm^2	DENSIDAD DE CORRIENTE $\mu\text{amp}/\text{cm}^2$	VOLTAJE VOL	MASA (g)	ESPESOR μm	ESPESOR coils	ADHERENCIA INDICE	POROSIDAD INDICE	POTENCIA Volts
1	0.25	0.25	1.0	2.2	0.11	5.1	0.201	10	9	0.55
2	0.3	0.265	1.13	2.5	0.14	6.35	0.25	10	9	0.75
3	0.4	0.25	1.6	2.54	0.157	7.29	0.287	10	10	1.032
4	0.5	0.25	2.0	2.6	0.176	8.16	0.322	10	9	1.3
5	0.6	0.25	2.4	2.75	0.21	9.76	0.38	10	9	1.65
6	0.65	0.25	2.6	2.78	0.235	10.9	0.43	9	10	1.81
7	0.7	0.25	2.8	2.8	0.251	11.7	0.46	9	9	1.96
8	0.75	0.265	3.0	3.1	0.27	12.7	0.5	8	9	2.33
9	0.8	0.25	3.1	3.2	0.273	12.9	0.51	8	9	2.48

TABLA N° SIX
TIEMPO DE INMERSION
13 MINUTOS

PROBETA #	CORRIENTE amp.	AREA cm ²	DENSIDAD DE CORRIENTE Amp/cm ²	VOLTAJE Volt.	MASA (g)	ESPESES μ m.	ESPESES mils	ADHERENCIA INDICE	POROSIDAD INDICE	POTENCIA Vatios
1	0.25	0.25	1.0	1.8	0.125	5.8	0.23	10	9	0.45
2	0.3	0.25	1.2	2.0	0.14	6.6	0.26	10	9	0.6
3	0.4	0.255	1.57	2.3	0.167	7.6	0.3	10	8	0.92
4	0.5	0.25	2.0	3.0	0.23	10.69	0.42	10	9	1.5
5	0.6	0.255	2.35	3.4	0.267	12.2	0.48	9	9	2.04
6	0.65	0.25	2.6	3.7	0.28	12.9	0.51	9	9	2.4
7	0.7	0.25	2.8	3.9	0.31	14.4	0.56	9	8	2.73
8	0.75	0.25	3.0	4.1	0.32	14.87	0.58	8	7	3.1
9	0.8	0.25	3.2	4.3	0.321	14.9	0.587	8	8	3.44

TABLA N° IV
TIEMPO DE INMERSIÓN
15 MINUTOS

PROBETA #	CORRIENTE μamp	AREA cm^2	DENSIDAD DE CORRIENTE $\mu\text{amp}/\text{cm}^2$	VOLTAJE Volt	MASA (g)	ESPESES μm	ESPESES mils	ADHERENCIA INDICE	POROSIDAD INDICE	POTENCIA Ratios
1	0.25	0.25	1.0	1.8	0.13	6.0	0.236	10	9	0.45
2	0.3	0.25	1.2	2.0	0.17	8	0.31	10	9	0.6
3	0.4	0.25	1.6	2.5	0.21	9.7	0.38	10	9	1.0
4	0.5	0.25	2.0	2.9	0.26	12.1	0.475	10	9	1.45
5	0.6	0.25	2.4	3.5	0.31	14.9	0.56	10	8	2.1
6	0.65	0.25	2.6	3.65	0.33	15.2	0.6	10	9	2.37
7	0.7	0.25	2.8	3.7	0.3625	16.8	0.66	9	9	2.59
8	0.75	0.25	3.0	4.0	0.38	17.7	0.7	9	9	2.93
9	0.8	0.25	3.2	4.1	0.384	17.85	0.702	9	8	3.25

TABLA Nº XVI
 TIEMPO DE INMERSION
 20 MINUTOS

PRUEBA #	CORRIENTE Amper	AREA cm ²	DENSIDAD DE CORRIENTE	VOLTAJE Volt	MASA (gr)	ESPESE mic	ESPESOR milis	ADHERENCIA INDICE	FOROSIDAD INDICE	POTENCIA Watts
1	0.25	0.25	1.0	2.3	0.16	7.36	0.29	10	10	0.575
2	0.3	0.255	1.18	2.5	0.19	8.9	0.35	10	10	0.75
3	0.4	0.25	1.6	2.85	0.23	10	0.42	10	9	1.14
4	0.5	0.25	2.0	3.0	0.28	13.0	0.51	9	9	1.5
5	0.6	0.25	2.4	3.4	0.35	16.3	0.64	10	9	2.04
6	0.65	0.25	2.6	3.6	0.375	17.5	0.69	9	9	2.34
7	0.7	0.25	2.8	3.9	0.4	18.6	0.73	9	9	2.73
8	0.75	0.25	3.0	4.4	0.43	20	0.79	9	8	3.3
9	0.8	0.25	3.2	4.5	0.435	20.22	0.796	9	8	3.6



BIBLIOTECA

2.7. CONTROL DEL PRODUCTO

El rendimiento de un recubrimiento metálico en un ambiente determinado se lo realiza en base a los ensayos de corrosión o de las reacciones químicas que puedan tener lugar. Es relativamente sencillo controlar la calidad del producto y predecir su rendimiento. Como es lógico, el mejor método para determinar el valor protector de un recubrimiento metálico es de someterlo a una serie de ensayos, en condiciones lo más parecido posible a aquellas que han de reinar cuando esten prestando servicio.

Cuando deseamos valorar la calidad del recubrimiento metálico entre las propiedades que debemos tener en cuenta son las siguientes:

- a. Espesor medio.
- b. Variación de la uniformidad de dicho espesor.
- c. Porosidad o continuidad.
- d. Adherencia al metal base.
- e. Presencia y distribución de ciertas impurezas metálicas.

Esto lo podemos realizar mediante ensayos físicos o mecánicos en el caso de adherencia, y químicos que tienen por objeto determinar el espesor,

distribución y continuidad de este, estos ensayos se encuentran en el acápite 3.2. La proporción del producto que vamos a ensayar dependerá del proceso de recubrimiento empleado y de la calidad exigida por las especificaciones, el control lo realizamos bajo las normas ASTM e INEN.

Los ensayos deben de ser sencillos, rápidos y baratos, los ensayos para la determinación de la adherencia de los recubrimientos se los realiza cuando existe la probabilidad de que estas propiedades puedan ejercer influencia sobre el rendimiento.

Control de la masa depositada.

Es necesario efectuar el control de la cantidad de masa electrodepositada, ya que esta nos proporciona el grado de eficiencia de corriente como del baño.

Para realizar este control se siguió el procedimiento que nos indica el INEN para obtener espesor del recubrimiento, este proceso se encuentra en la Norma INEN 953-1986-09.

(ver Apéndice C).

En la Fig. N°11 se observa el control del peso electrodepositado.

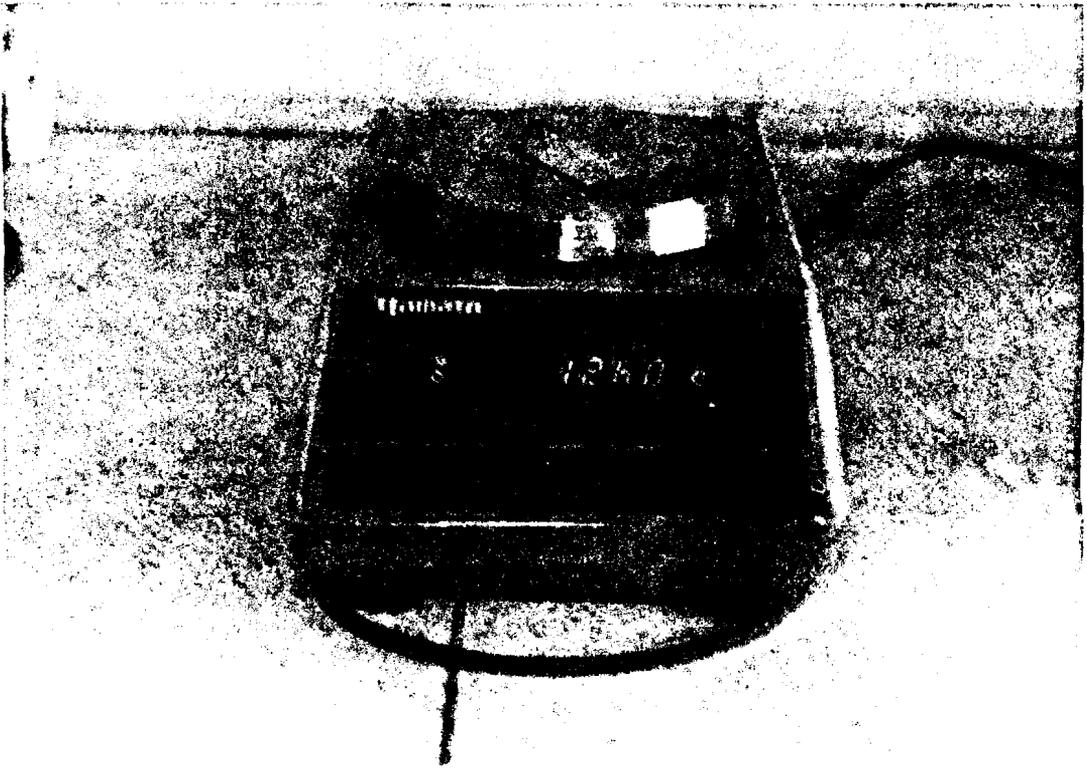


Figura. N° 11.- Control del peso depositado.

Porosidad.

Los poros que se extienden por el recubrimiento y exponen el metal base, ejercen una marcada influencia sobre las propiedades protectoras.

Si tomamos la probeta directamente después de realizarle el recubrimiento, es necesario lavarla en agua fría, caso contrario si tomamos la probeta después de un tiempo determinado es nuestra obligación desengrasar la probeta y posteriormente introducir la probeta en el ácido diluido. Se puede comprobar que existe porosidad en un recubrimiento cuando al introducir la probeta dentro del ácido se observan formaciones de burbujas de hidrógeno, simplemente una burbuja de hidrógeno cubre un poro en la superficie.

Podemos notar que si los poros son muy numerosos una gran cantidad de burbujas de hidrógeno pueden aparecer en pocos segundos de inmersión, la ausencia de burbujas en un tiempo aproximado de cinco minutos nos indica que no existe porosidad en el depósito.

Este ensayo no perjudica el recubrimiento de cadmio, pero es necesario que la probeta pase esta prueba en forma satisfactoria, finalmente es necesario

enjuagar y secar la probeta antes de guardarla.

El procedimiento utilizado se lo encuentra en el Apéndice (E).

Adherencia.

La falta de adherencia suele presentarse a menudo como uno de los principales defectos de los procesos de recubrimientos metálicos por electrodeposición ya sean estos defectos producidos por deformaciones mecánicas, cambios de temperatura, etc.

De tal forma que el control de la adherencia es muy necesario ya que con este ensayo se podrá determinar si los depósitos reúnen o no las condiciones necesarias para el propósito trazado.

Para esto utilizaremos la norma que determina el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) Norma INEN 950-1984-04:

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA.

Las regulaciones de esta norma se dan en el Apéndice (D).

Corrosión.

El ensayo de corrosión se lo efectuó mediante el método potencioestático, este método es un proceso de corrosión acelerada donde se observa el grado de degradación del recubrimiento, para esto se utilizó una concentración de 4% de NaCl.

Al realizar este método se deben aplicar sobrepotenciales constantes y medir la respectiva corriente luego de que esta haya alcanzado un valor estacionario.

La ASTM ha establecido a través de la norma ASTM G5 variaciones de potencial en escalones de igual valor (50mv) cada cierto tiempo y se espera el mismo tiempo para llegar a leer el valor de la corriente alcanzada. Es conveniente efectuar barridos de hasta 300mv por encima y por debajo del potencial natural de corrosión para obtener las curvas.

El procedimiento que se realizó se lo describe a continuación;

1. Se prepara la celda electroquímica siempre verificando que los electrodos se encuentren inmersos en la solución.

2. Se conectan en forma correcta los terminales con los electrodos respectivos, tanto para la pieza analizar como para el electrodo de referencia
3. Posteriormente se enciende el equipo y anotamos el potencial de equilibrio entre el electrodo de referencia y la pieza a analizar que nos marca el potencióstato.
4. Colocamos desde el potencial inicial al valor designado según las normas.
5. Se selecciona el rango de corriente adecuado, generalmente se coloca el valor máximo, 1 Amp. y luego se tantea hasta obtener un valor adecuado de corriente.
6. Se incrementan los potenciales de 50mv en 50mv cada 8 min, con un barrido de hasta 300mv por encima y debajo del potencial.

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

Para poder analizar los diferentes parámetros que se utilizaron, a continuación se procede a presentar las diferentes figuras obtenidas de las tablas de resultados presentadas anteriormente.

Estas gráficas obtenidas están en función de los parámetros evaluados en el proceso, y que nos sirven para determinar el comportamiento de los mismos, ya sea para lograr una mejora en el grado de deposición alcanzado o determinar la influencia negativa que tienen.

Se realizó un análisis del comportamiento de;

- a. Espesor vs Densidad de corriente para varios tiempos de inmersión.
- b. Espesor vs Tiempo para diferentes valores de corriente.
- c. Peso vs Tiempo para diferentes valores de corriente.
- d. Espesor vs Potencia para varios tiempos de inmersión.
- e. Peso vs Potencia para varios tiempos de inmersión.
- f. Peso depositado vs Corriente inyectada.

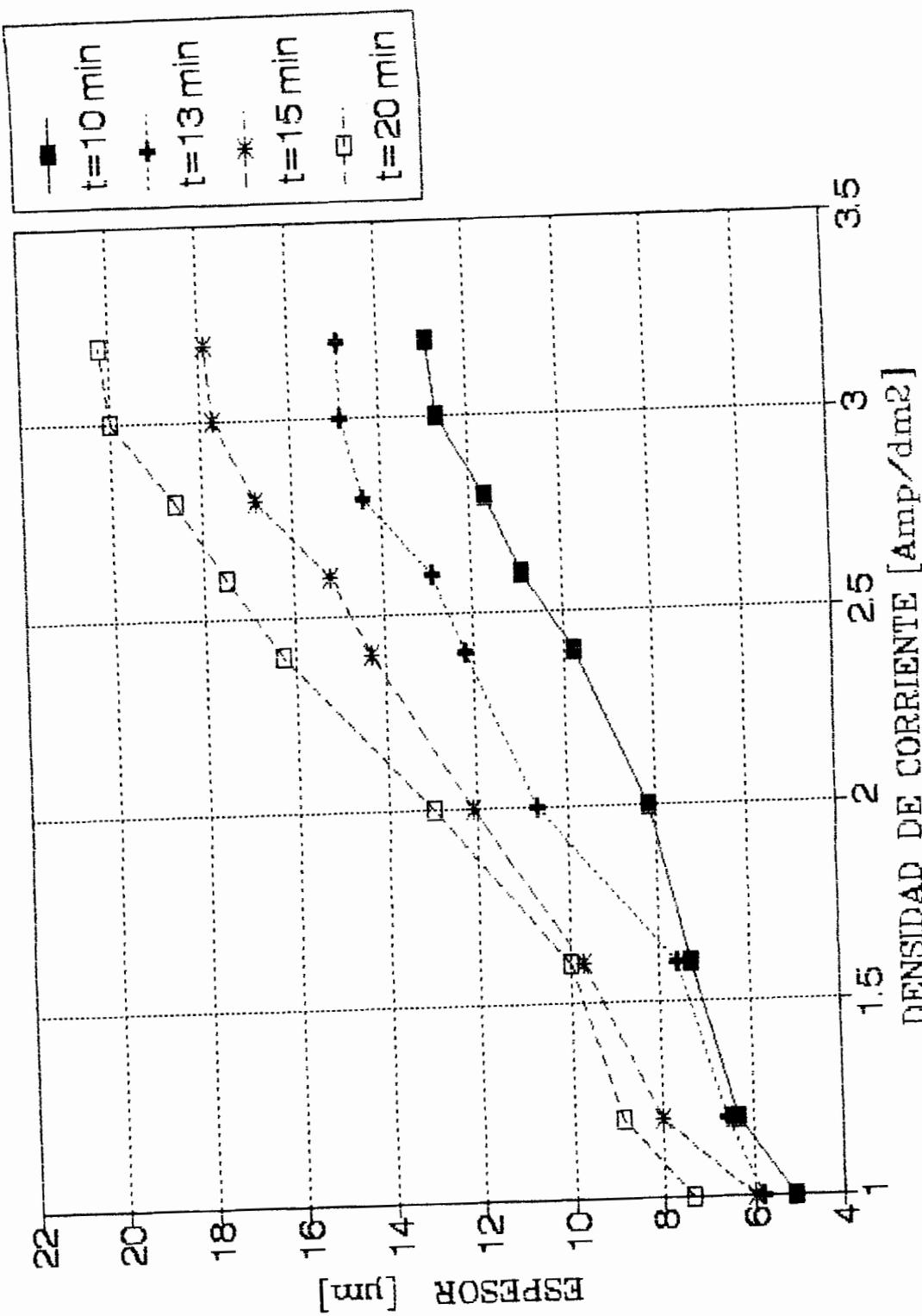


Fig. 12. Espesor vs Densidad de corriente

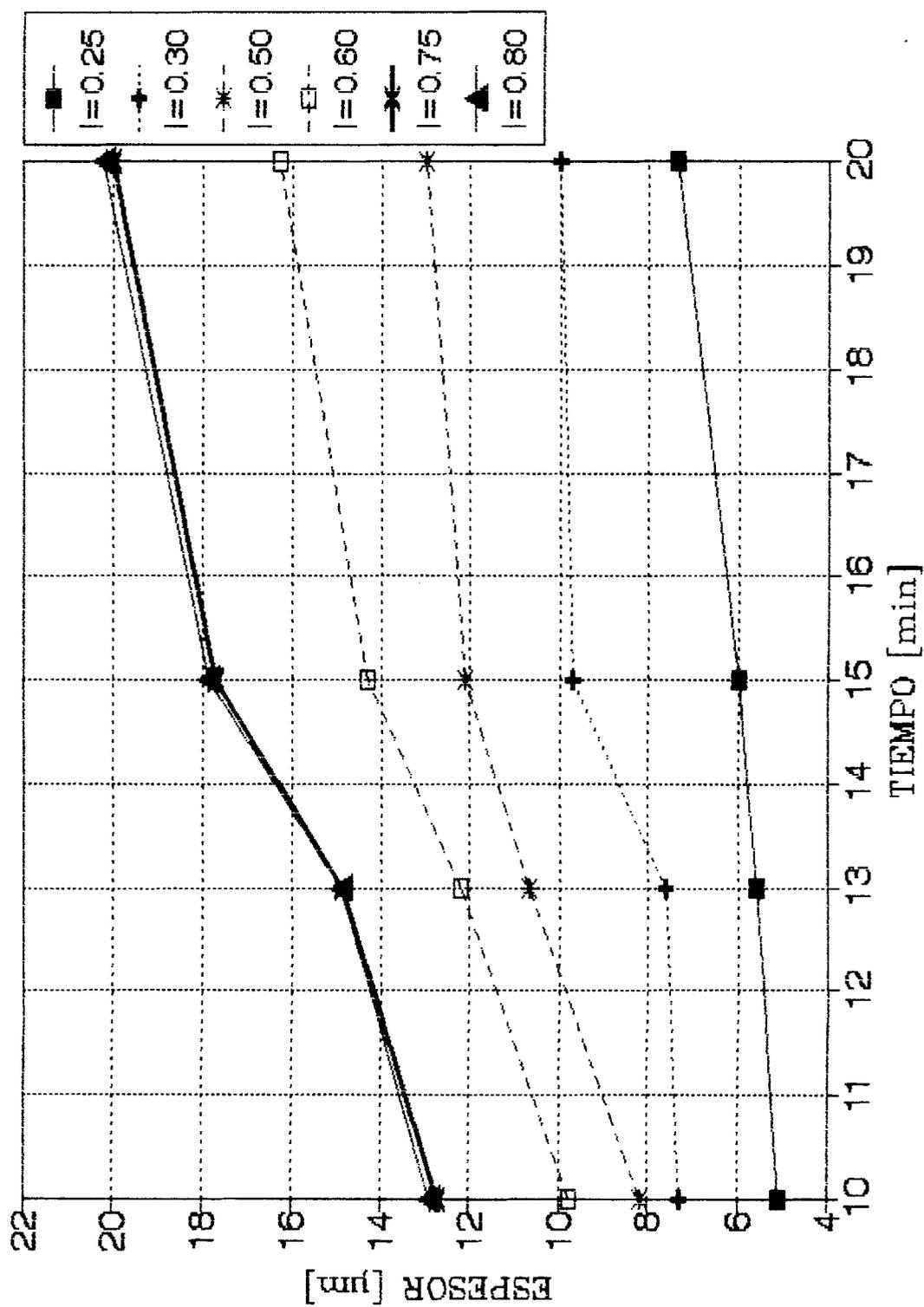


Fig. 13. Espesor vs Tiempo para diferentes valores de corriente

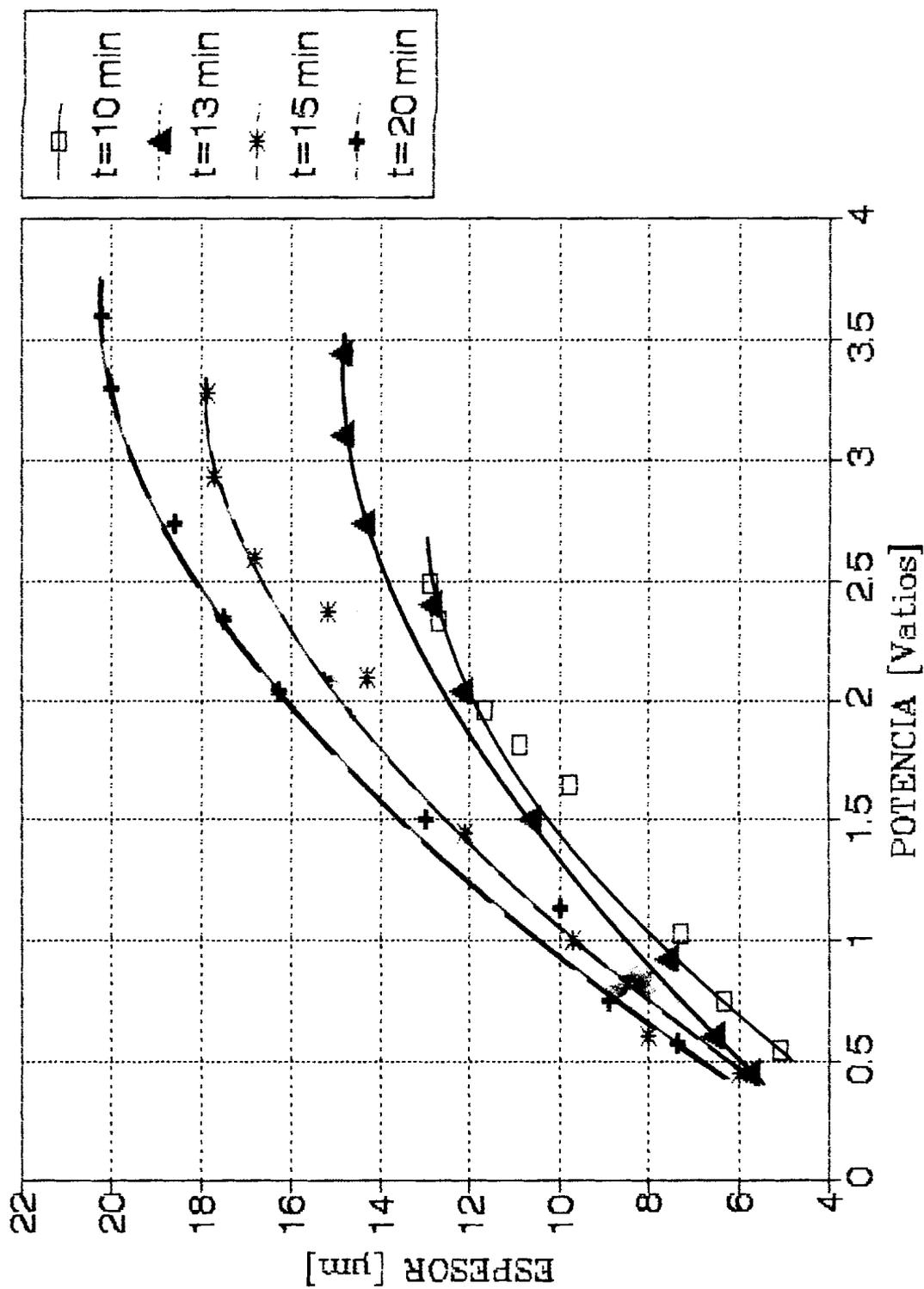


Fig. 14. Espesor vs Potencia para varios tiempos de inmersión

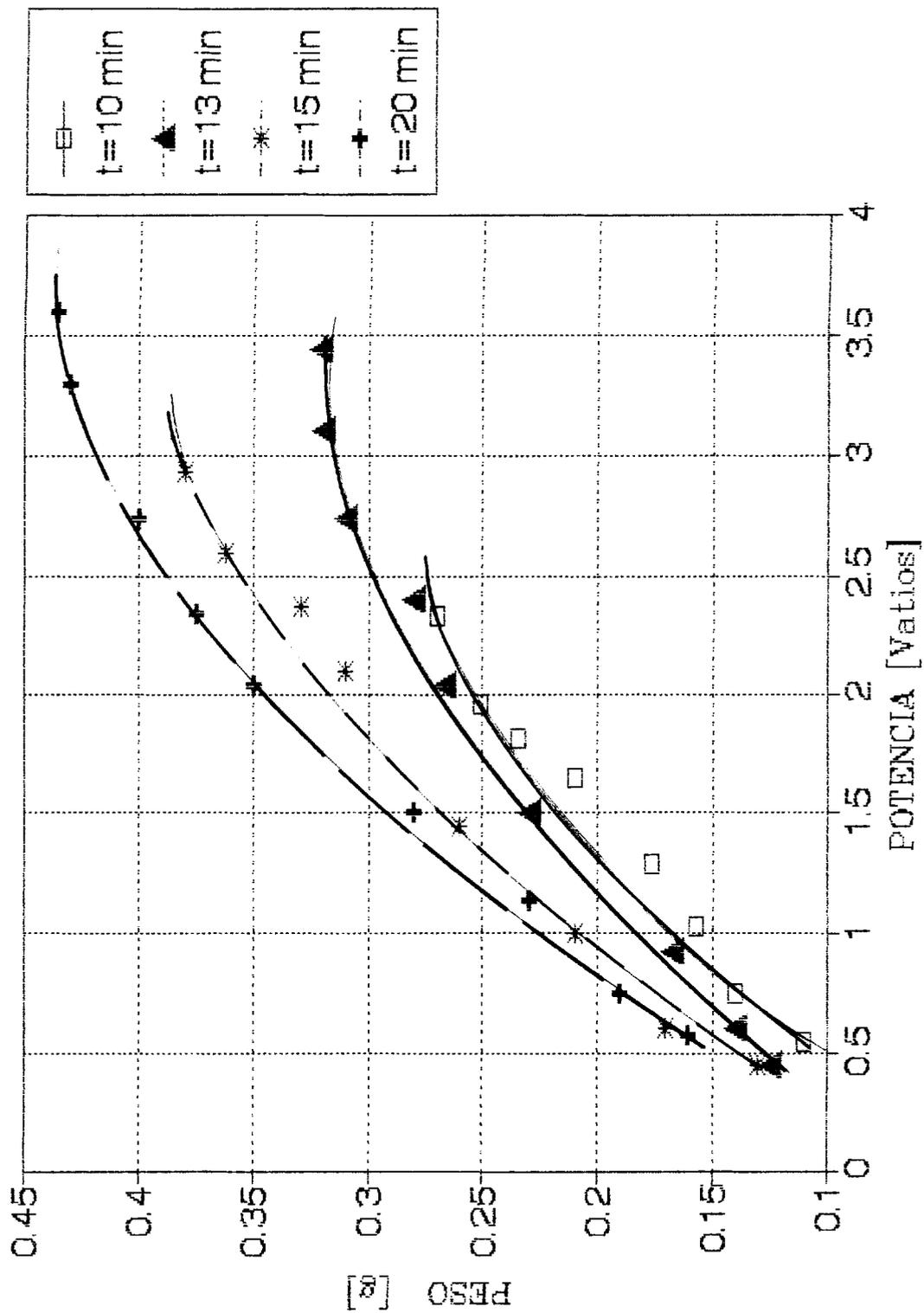


Fig. 15. Peso vs Potencia para varios tiempos de inmersión

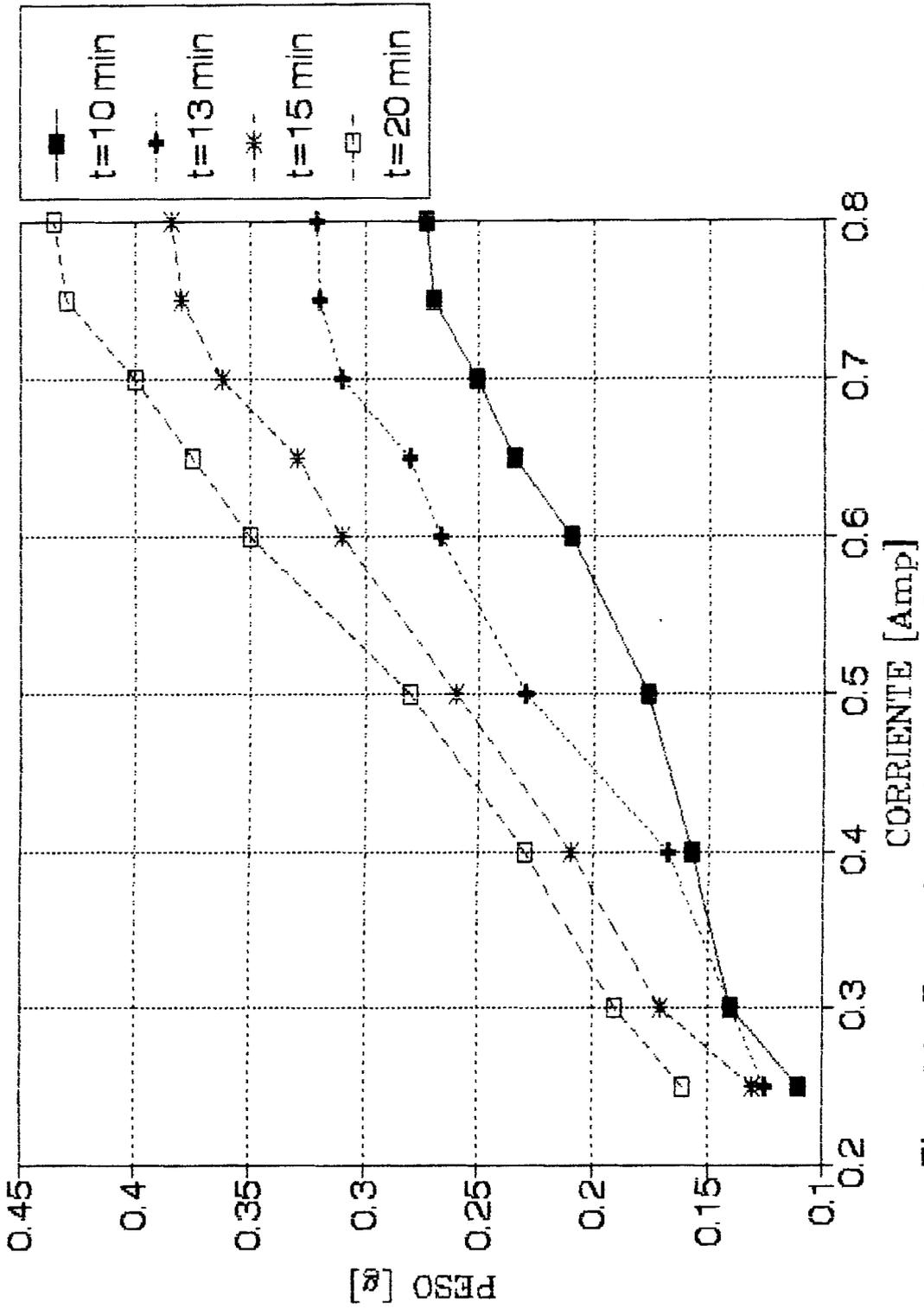


Fig. 16. Peso depositado vs Corriente inyectada.

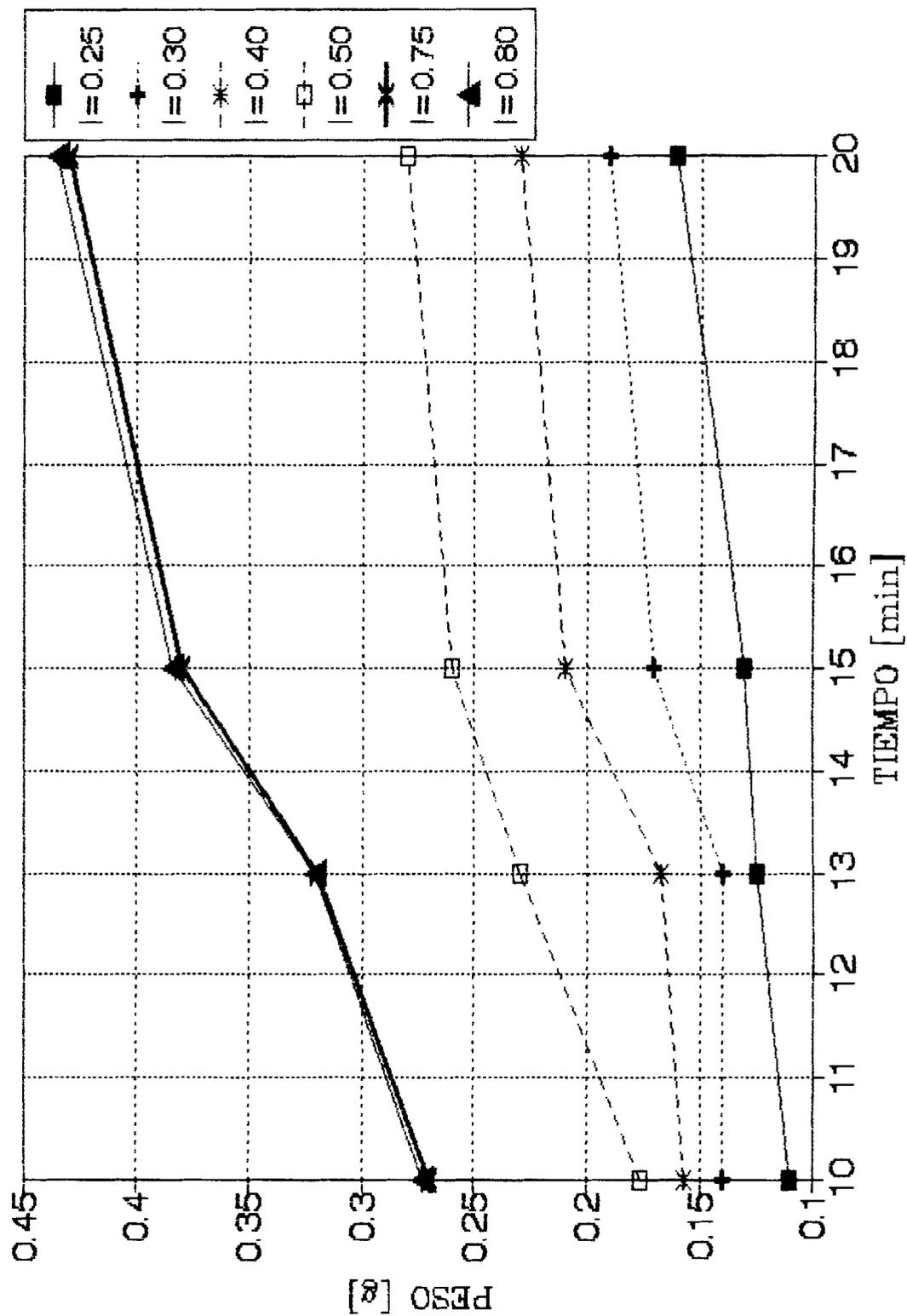


Fig. 17. Peso vs Tiempo para diferentes valores de corriente

Análisis del comportamiento Espesor vs Densidad de Corriente (ver Fig.N°12).

Si se observa el gráfico Espesor vs Densidad de corriente, se puede apreciar que no todo incremento en la densidad de corriente trae consigo un aumento en el espesor del recubrimiento de cadmio depositado con relación al valor teórico esperado, al aumentar una densidad de corriente mayor a 3 Amp/dm², el valor del espesor no aumenta maayormente. Este efecto se lo puede explicar como la disminución de iones metálicos de la capa líquida catódica y el aumento de generación de hidrógeno en el momento del proceso, lo que hace que se produzca una obstrucción para la circulación y el depósito de los iones cadmio en la superficie catódica.

Análisis del comportamiento Espesor vs Tiempo para diferentes valores de corriente.(ver Fig. N°13)

Si se observa el gráfico Espesor vs Tiempo, para valores de corriente menores se logra alcanzar un aumento mayor en el espesor ha medida que se incrementa el valor de la corriente suministrada, no ocurre lo mismo cuando se inyecta una corriente mayor que la permitida que es de 0.75 Amp. Al inyectar una corriente de 0.8 Amp el aumento del

espesor es menor que para los otros valores de corriente, esto se lo puede relacionar por el aumento de burbujas de hidrógeno en el proceso.

Análisis del comportamiento de Espesor vs Potencia.

(ver Fig. N°14).

En el gráfico Espesor en función de la Potencia, se puede observar que para valores bajos de potencia la tasa de incremento del espesor es un poco mayor independiente del tiempo de inmersión, esto representa que a bajas densidades de corriente la energía suministrada tiene un bajo porcentaje de pérdidas, por lo que es más aprovechada durante el tiempo de deposición.

Si nos damos cuenta se llega a un punto en el cual la pendiente de la curva disminuye, correspondiendo este valor al máximo de aprovechamiento de la energía que se entrega.

A partir de este punto las tasas de incremento del peso van disminuyendo.

Al lograr alcanzar un espesor con una determinada cantidad de corriente, después de cierto tiempo la cantidad que se logra depositar va disminuyendo.

Análisis del comportamiento Peso vs Potencia.

(ver Fig. N°15).

El gráfico Peso vs Potencia se encuentra relacionado con el gráfico anterior, ya que un aumento en el peso depositado trae consigo un aumento en el grado de espesor alcanzado. Por lo que si observamos que para valores de potencia mayores la tasa de incremento del peso es menor independiente del tiempo de inmersión, esto se produce debido a que a mayores densidades de corriente existe un mayor porcentaje de pérdidas.

Análisis del comportamiento Peso vs Corriente Inyectada (ver Fig. N°16).

El Gráfico Peso en función de la corriente, nos muestra la variación del peso de la capa de cadmio con relación a la cantidad de corriente aplicada para los diferentes tiempos de inmersión utilizados, se puede observar que la cantidad deposita aumenta a medida que aumenta la cantidad de corriente suministrada y el aumento del tiempo de inmersión.

Análisis del comportamiento Peso vs Tiempo.

(ver Fig. N°17).

Podemos observar que al inyectar un valor de

corriente mayor del establecido que es de 0.75 Amp, el incremento del peso que se obtiene es mucho menor independientemente del tiempo de inmersión, esto se produce debido a una elevada densidad de corriente lo cuál hace que se produzca una mayor cantidad de burbujas de hidrógeno que impiden una buena deposición de iones metálicos en la superficie.

3.1 OPTIMIZACION DEL PROCESO.

Las características de apariencia y brillo son aceptables en las probetas cadmiadas con valores de densidad de corriente de 3 Amp/dm² de acuerdo al valor del área que se desea recubrir, que es el rango que se tiene para este tipo de baño, al aumentar esta densidad de corriente se presentan características pobres, en los bordes y esquinas encontramos quemaduras que no se desean si se va a realizar un tratamiento posterior.

Para poder seleccionar los mejores resultados que se obtuvieron se establecieron los siguientes límites de aceptación en base a recomendaciones del INEN las cuales las encontramos en los diferentes apéndices

1. La apariencia o brillo en la capa de cadmio en procesos de cadmiado : brillante.

2. Adherencia mínima de la capa = 8
3. El rango de espesor de 3 a 15 μm .

De las probetas ensayadas, las que plenamente satisfacen todos los requerimientos y límites de aceptación son las siguientes:

TABLA N° XVII

PROBETAS CON VALORES OPTIMOS

DENSIDAD DE CORRIENTE Amp/dm ²	PROBETA #	TIEMPO DE INMERSION min
1.0	1	20
1.2	2	20
1.6	3	10
	3	13
	3	15
	3	20
2.0	4	10
	4	13
	4	15
	4	20
2.4	5	10
	5	13
	5	15
2.6	6	10
	6	13
	6	15
2.8	7	10

Para obtener un proceso óptimo se realizó luego de la etapa de recubrimiento, el control de la calidad del producto y en base a los parámetros presentes se determinó las causas que producían recubrimientos de mala calidad.

Durante las pruebas se han presentado ciertos problemas en el recubrimiento, con la ayuda de información se ha podido corregir para lo cual citamos los siguientes, que lo presentamos en la Tabla XVIII.

TABLA N° XVIII

DEFECTOS CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES EN EL PROCESO

DEFECTOS	CAUSAS	SOLUCION
Adherencia defectuosa.	Desengrase deficiente o enjuage incompleto.	Eliminar residuos de óxidos o grasas de los baños de limpieza.
Los ánodos toman coloración negra.	falta cianuro libre.	Verificar el cianuro libre y agregar de 5 a 6 g/l de cianuro de sodio.
Recubrimiento obscuro, rugoso y quemado.	Exceso de amperaje o inconveniente colocación en el baño.	Utilizar densidad ampérica menor.
Recubrimiento lento y espesor débil.	Falta metal en el electrólito.	Agregar las sales necesareas de acuerdo al electrólito.
Los ánodos se recubren de lodo negro, baja el amperaje y sube el voltaje durante el trabajo.	Se produce polarización anódica por falta de cianuro libre.	Rectificar el electrólito agregando cianuro de sodio.
Recubrimiento áspero solamente en las partes ubicadas en la proximidad de la superficie del baño.	Presencia de impurezas en la superficie.	Limpiar y filtrar el baño.
No se produce recubrimiento.	Polaridad invertida o falsos contactos.	Verificar conexiones.

3.2. ENSAYOS DE CALIDAD

3.2.1 ANALISIS METALOGRAFICO.

Este ensayo se lo llevó a efecto con la finalidad de observar la forma como se depositan los granos del metal la uniformidad alcanzada del recubrimiento, en algunas probetas pudimos observar las partes donde se presenta la mala adherencia alcanzada (Ver Fig. N°18 y 19).

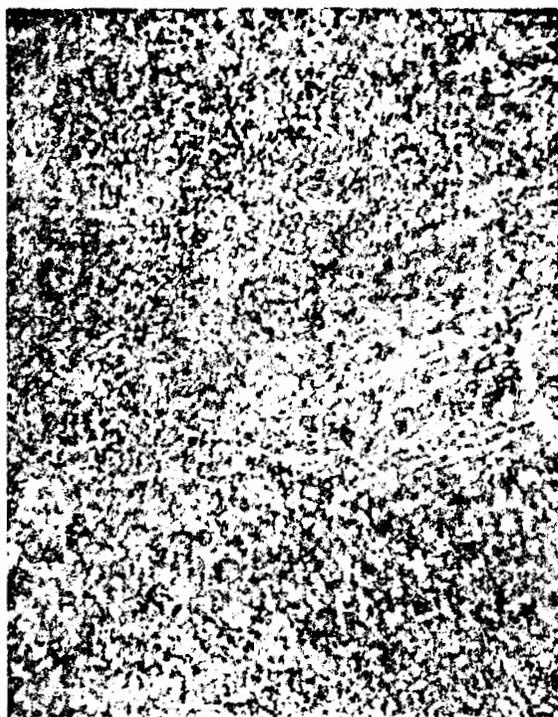


Figura. N°18. Granos de metal depositado. 25X

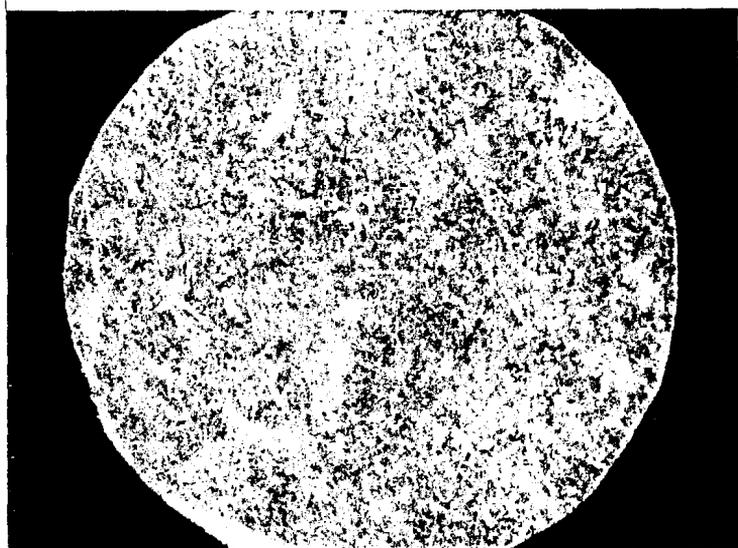


Figura. N°19. Uniformidad presente en el recubrimiento. (Aumento 25)X

En las figuras se puede observar la adherencia lograda, la forma con que los granos logran depositarse en el metal base y el grado de uniformidad.

3.2.2 DETERMINACION DE POROSIDAD.

De los resultados presentados en las tablas para diferentes tiempos de inmersión los índices de porosidad aceptables que se obtuvieron según las normas establecidas generalmente son para valores de densidad de

corriente menores así como para valores intermedios, los índices de porosidad empiezan a disminuir al aplicar valores de densidad de corriente cerca del valor establecido como máximo, esto se debe también que existe la presencia de una mayor cantidad de burbujas de hidrógeno por lo que no permite una mejor deposición del metal en el material base.

3.2.3 ENSAYO DE CORROSION.

En la Tabla XVIII se dan a conocer los valores de corriente, potencial y densidad ampérica obtenidos.

En la Fig. N°20 se puede observar el estado de la probeta luego de el ensayo de corrosión, mientras que el comportamiento que nos presenta el metal del recubrimiento es mostrado por la curva en la Fig. N°21.

Proyectando en la región Tafeliana de la curva catódica como se observa en el gráfico de la Fig.21, la corriente de corrosión es de 0.019 mA/cm^2 , la cuál es un valor baja por lo que nos demuestra las bondades del metal utilizado como recubrimiento.



BIBLIOTECA

TECNICA
CONCENTRACION

TABLA IX
POTENCIOSTATICA
4% NaCl

Voltaje	corriente	densidad
mV	μA	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$
-1100	-0.1	0.098
-1050	-0.07	0.069
-1000	-0.05	0.049
-950	-0.06	0.059
-900	-0.025	0.024
-850	0	0
-800	0.5	0.493
-750	0.1	0.98
-700	0.4	0.39
-650	0.32	0.31
-600	0.8	0.78

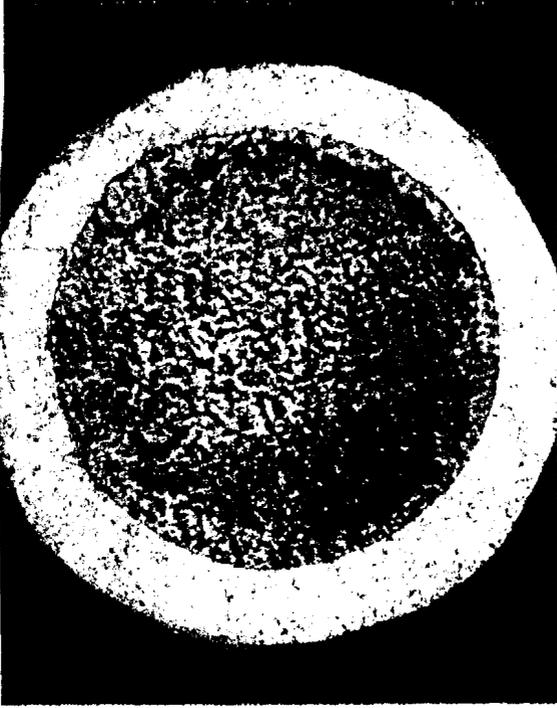


Figura. N°20. Estado del recubrimiento al ser sometido a
corrosión acelerada. 25X

CURVA POTENCIOSTATICA

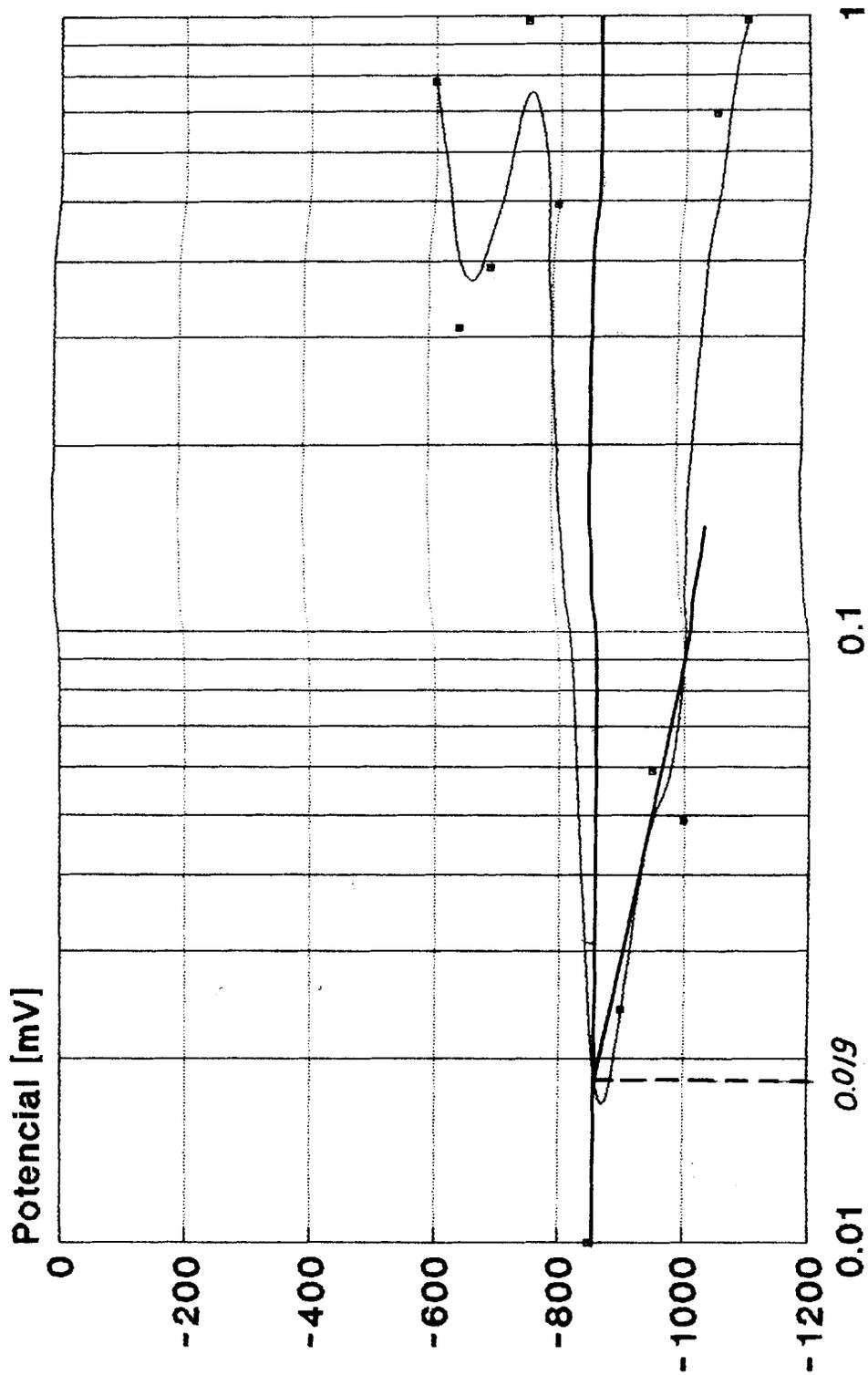


Fig. N° 21 Potencial vs Densidad de corriente

3.2.4 ENSAYO DE ADHERENCIA.

Los valores de adherencia aceptables que se obtuvieron fueron para valores de densidad de corriente más bajos, por lo que para valores de potencia menores se observan mejores valores de adherencia.

También los malos valores de adherencia se obtienen por la deficiente limpieza del metal base.

(En la Fig. N°23) se puede observar la mala adherencia presente, esto se debe a la no muy buena limpieza superficial de la probeta, es decir desengrase deficiente o enjuague incompleto, otra causa por lo que puede presentarse una adherencia defectuosa es la forma de colocar la probeta dentro del electrólito ya que esta debe estar dentro del flujo electrolítico.

En la Fig. N°22 se muestra parte del ensayo.



Figura. N°22. Ensayo de Adherencia.

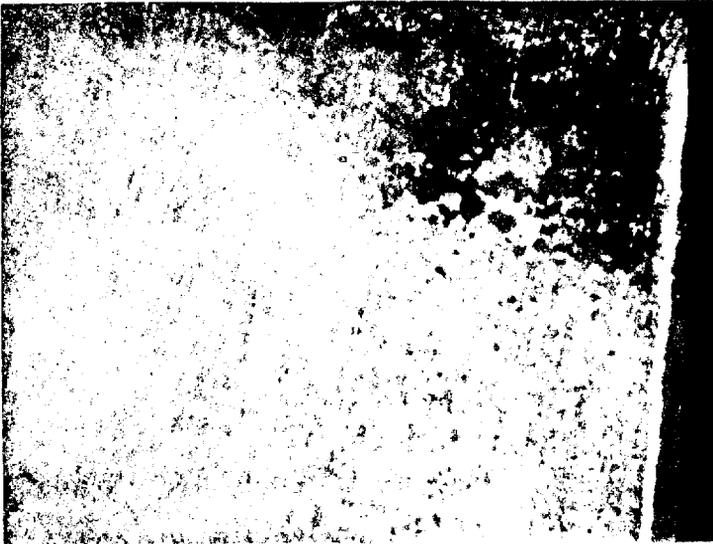


Figura. N°23. Adherencia defectuosa. 25X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos presentan características satisfactorias en cuanto a brillo, uniformidad y adherencia.
2. A mayor densidad de corriente se produce una mayor deposición de metal.
3. Los valores de potencia bajos corresponden a una mayor tasa de incremento del peso.
4. A tiempos iguales, potencias más elevadas producen peso de metal depositado mayores.
5. A tiempos de inmersión dados, la adherencia disminuye a medida que aumenta la potencia que se aplica en el proceso.
6. Recubrimientos con espesores menores logran obtener mayor adherencia.

7. Espesores iguales de capa independientemente del tiempo de proceso y de la potencia que se aplica presenta valores similares en cuanto al grado de adherencia.
8. Cuando se producen recubrimientos ásperos y porosos es necesario balancear cuidadosamente la operación, cuando la concentración del metal es muy baja o la relación metal-cianuro varía o es diferente a los valores estipulados puede resultar este tipo de recubrimiento, otros factores que pueden producir porosidad contaminación son: impurezas, suciedad, partículas metálicas, aceite, alta concentración de carbonato de sodio, densidad de corriente elevada, etc.
9. Es importante tener en cuenta la forma como se coloca la pieza a recubrir dentro del electrólito, aunque la distancia entre los ánodos y la pieza de trabajo no es crítica, sin embargo al ser aumentada la distancia entre ellos la densidad de corriente y la eficiencia decrecen.
10. Para evitar fallas en el recubrimiento por las impurezas en el baño, es necesario filtrarlo.

RECOMENDACIONES

1. El proceso debe realizarse sin interrupción, para evitar la inmediata contaminación de la probeta al estar expuesta al medio.
2. En virtud del elevado costo de los baños, se los debe tener cubiertos para evitar la contaminación de los mismos por la caída de elementos extraños.
3. Por la alta toxicidad de los vapores presentes se recomienda trabajar con las medidas de seguridad adecuadas sobre todo mascarilla para evitar la inhalación de gases tóxicos.
4. Se recomienda la implementación de un laboratorio para poder efectuar el análisis de los baños de recubrimientos para poder mantener las concentraciones adecuadas.
5. Se recomienda que se ponga en actividad el método de resistencia de Polarización para poder determinar en buena forma los valores de velocidad de corrosión.

6. De la misma forma hay que tomar precauciones en una forma controlada para que el proceso sea óptimo.

Precauciones

DIARIAMENTE

- Revisar los anodos cuantas veces sea necesario.
- Revisar los contactos cátodo-ánodo.
- Revisar el nivel de la solución, por pérdida del electrólito.
- Revisar el fondo del tanque debido a sedimentaciones que se puedan presentar.
- Chequear el voltaje y amperaje de trabajo.

SEMANALMENTE

- Revisar la cuba en la que se encuentra el electrólito por posibles daños.
- Filtrar el contenido del baño a menos que el proceso de filtración sea constante.
- Limpieza de contactos.
- Control y corrección de los líquidos en los tanques de limpieza.

MENSUALMENTE

- Controlar la composición del baño.

B I B L I O G R A F I A

1. BLUM William y HOGABOOM Jorge, Galvanotecnia y Galvanoplastia, Continental México, 1984, 5a impresión.
2. CANDELL Reinaldo, Galvanostegia, Sutes S.A. Barcelona, 1981, 3a Edición.
3. GLAYMAN J. y FARKAS G. Galvanotecnia. Técnica y Procedimientos, Ediciones CEDEL, Barcelona, 1980, 2a Edición.
4. JULVE, Enrique, Control de Calidad en la Electrodeposición de metales, CEDEL, Barcelona, 1982.
5. JULVE, Enrique, Recubrimientos electrolíticos brillante, Ediciones CEDEL, Barcelona, 1963, 1a edición.
6. MARCE, Roger, AMS, Metal Handbook, Polishing, finishing Plating, Volumen 5.
7. PILA y ROMAN J, Acumuladores o elementos Galvánicos. Galvanotécnia, LABOR, Barcelona, 1968, Tomo III, 2a edición.
8. RIERA, Jaime, Análisis y control de Baños y Recubrimientos en Galvanotécnia, Ediciones CEDEL, Barcelona, 1962, edición en español.
9. KEHL, George, The principles of Metallographic laboratory practice, McGRAW-HILL, New York, 1940, First edition.
10. EWENS, Frank, Handbook on Electroplating, McGRAW-HILL, New York, 1960, first edition.
11. MOHLER, J.B, Electroplating and Related processes, McGRAW-HILL, New york, 1962,

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. JULVE, E. Recubrimientos electrolíticos, 145p.
2. JULVE, E. Recubrimientos electrolíticos, 147p.
3. EWENS, F. Handbook on electroplating, 416p.
4. EWENS, F. Handbook on electroplating, 420p.
5. JULVE, E. Recubrimientos electrolíticos, 147p.
6. JULVE, E. Control de calidad en la electrodeposición de metales, 189p.
7. MARCE, R. AMS Metal Handbook, 256p.
8. JULVE, E. Recubrimientos electrolíticos, 151p.
9. JULVE, E. Recubrimientos electrolíticos, 152p.
10. JULVE, E. Control de calidad en la electrodeposición de metales, 191p.
11. MOHLER, J. Electroplating and Related processes, 98p.
12. MARCE, R. AMS Metal Handbook, 264p.

APPENDICES

APENDICE A

TOXICIDAD DEL CADMIO

Dos fuertes consecuencias se producen con el uso del cadmio con productos alimenticios:

- a. Agudo envenenamiento producido por la ingestión del cadmio disuelto en el recipiente.
- b. Envenenamiento por la inhalación de vapores de Oxido de cadmio si el recubrimiento de cadmio que se encuentra en el recipiente es calentado. El envenenamiento agudo es producido por la ingestión derivadas de las sales de cadmio desde los recipientes alimenticios recubiertos, en el cuál algunos ácidos alimenticios suelen estar almacenados por regulares periodos de tiempo. Por lo tanto el cadmio no se lo utiliza para recubrir recipientes que van a contener productos alimenticios. Un envenenamiento puede ser fatal cuando es producido por la inhalación de polvo o vapor de sales de cadmio u óxido de cadmio, estas son encontradas a niveles industriales al calentar los recubrimientos de cadmio. Los depósitos de cadmio en las paredes o asientos de los tanques usados para cadmiar no deben ser quemados porque los vapores de estas operaciones son altamente tóxicos, debido a que en el futuro puede producir cáncer en el individuo.

APENDICE B

ANALISIS DEL BAÑO DE CADMIO ALCALINO CIANURADO

a. Determinación del contenido de Cadmio.

Reagentes:

- Acido clorhídrico o sulfúrico concentrado
- Hidróxido de amonio concentrado
- Negro de Eriocromo "T" indicador (0.5% solución en alcohol).
- Formaldehyde (8% solución en agua)
- Disódico hidrogenado ácido etilendiaminotetracético (EDTA) 0.575 solución molar (21.4 g/l o 2.85 oz/gal).

Procedimiento:

Se introducen exactamente 2 ml de la solución en un erlenmeyer de 250 ml de capacidad y diluir en 100 ml de agua destilada, neutralizar esta disolución con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico hasta un color blanco tenue. Adicionar 10 ml de hidróxido de amonio concentrado y cerca de 0.75 ml de indicador eriocromo, posteriormente adicionar 8 ml de 8% solución formaldehyde.

Finalmente se trata con solución de EDTA, el color cambia de rojo a azul y es aguda cuando la solución es tratada lo mas rápidamente posible después de adicionar formaldehyde. Ocasionalmente la presencia de impurezas en el baño aparecerá un azul claro, pero el color cambia desde rojo a un azul purpúreo.

Cálculo:

Mililitros de EDTA usado * 0.432 = onzas por galón de metal cadmio.

b. Determinación del contenido de Cianuro Libre.

Reagentes:

- Hidróxido de Cianuro NH_4OH
- Yoduro de Potasio (10% solución en agua)
- Nitrato de plata (13g/l solución en agua)

Procedimiento:

Se introducen 5 ml de solución baño en un erlenmeyer de 300 ml de capacidad, se diluye con agua destilada hasta 100 ml, se añaden 6 ml de hidróxido de amonio y 0.1 a 0.2 g de IK. Se calienta ligeramente esta solución y se valora esta solución en Nitrato de

plata 0.1N contra fondo oscuro, hasta que se obtiene una turbidez permanente de color amarillento.

Cálculo:

1 ml de solución de nitrato de plata 0.1N equivale a 9.8 mg de CNNa o a 13 mg de CNk.

c. **Determinación del contenido de carbonato de sodio**

Reagentes:

- Cloruro de bario (10% solución en agua)
- Anaranjado de metilo indicador
- Acido hydroclórico estandar 0.7N

Procedimiento:

Tomar con una pipeta 10 ml del baño, introducir en un vaso de 250 ml de capacidad, adicionar cerca de 100 ml de agua y calentar hasta ebullición, excitar la ebullición añadiendo cerca de 20 ml de cloruro de bario, tapar la mezcla, dejar que se tranquilice la mezcla durante 25 a 30 minutos. Filtrar y limpiar el vaso dos o tres veces con agua destilada, colocar otro papel filtro y precipitar en el vaso original, adicionar cerca de 10 ml de agua destilada caliente y

3 a 4 gotas de indicador. Determinar el grado de solución con HCl hasta que el color cambie en forma permanente desde verde a púrpura.

Cálculo:

Mililitros de HCl usados * 0.5 = onzas por galón de Carbonato de sodio Na_2CO_3

d. Determinación del contenido de Hidróxido de sodio

Reagentes:

- Indicador tropeolina
- Acido sulfúrico estandar (0.94N)

Procedimiento:

Tomar con una pipeta 10 ml del baño e introducir en un vaso de 250 ml de capacidad, adicionar a la muestra cerca de 0.5 ml de indicador, determinar el grado de la solución con el acido sulfúrico hasta que cambie a rojo el color amarillo adquirido al inicio.

Cálculo:

Mililitros de ácido sulfúrico utilizados * 0.5 = onzas por galón de hidróxido de sodio.

APENDICE C

RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE CADMIO SOBRE ACERO.

REQUISITOS

Norma Ecuatoriana INEN 953-1986-09

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los recubrimientos de cadmio aplicados sobre base de acero por vía electrolítica, para protección contra la corrosión.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a todos los productos de acero, de alto o bajo contenido de carbono, excepto en los caso siguientes:

- a. recubrimientos de cadmio aplicados a roscas.
- b. recubrimientos de cadmio aplicados a laminas, fleje, alambre en sus formas no elaboradas, así como tampoco a resortes espirales.

2.2 Esta norma no especifica la condición superficial del metal base previo al electrodeposición, la rugosidad aceptable deberá fijarse por mutuo acuerdo de las partes interesadas.

2.3 Esta norma se aplica a recubrimientos de cadmio aplicados según especificaciones en normas de productos.

3. TERMINOLOGIA

3.1 Superficie significativa.- Es la parte de la superficie de la pieza que es esencial para la apariencia o utilidad de la misma que debe ser recubierta, o sobre la que ya se ha aplicado el recubrimiento. En caso de necesidad la superficie significativa debe determinarse por acuerdo entre las partes interesadas y debe indicarse en dibujos o planos, o mediante provisión de muestras debidamente marcadas.

4. SIMBOLOGIA

En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:

s	Espesor del recubrimiento (um)
s	Espesor promedio de recubrimiento (um)
Re	Resistencia a la tracción (N/mm ²)

m1	masa inicial (g)
m2	masa final (g)
	peso específico (g/cm ³)
A	Area (mm ²)

5. CLASIFICACION

De acuerdo con el índice de servicio, los recubrimientos de cadmio pueden ser de los tipos 1,2 o 3 (ver numeral 6.2)

6. REQUISITOS

6.1 Apariencia.

6.1.1 El área correspondiente a la superficie significativa del artículo recubierto debe estar libre de defectos visibles tales como ampolladuras, picaduras, rugosidades, rajaduras o discontinuidad en el recubrimiento. La magnitud de las ampolladuras fuera del área significativa, que se considere todavía como aceptable, debe establecerse por mutuo acuerdo entre las partes interesadas. En las piezas en las cuales es inevitable la presencia de una marca de contacto, la posición de la

misma debe también ser de acuerdo entre las partes. La pieza debe estar limpia y sin daños. En caso de necesidad, se proveerá al fabricante de una muestra que tenga el terminado requerido.

6.2 Espesor

6.2.1 Los espesores del recubrimiento se establecen en la tabla 1 columna 2. En la tabla 1 se indican, además, la abreviatura correspondiente según el numeral 6.3 y el índice de servicio respectivo (ver norma INEN 951) que se aplica a cada espesor de recubrimiento. Los valores entre paréntesis deberá evitarse en lo posible.

Tabla 1

1 Recubrimiento (abreviatura)	1 Espesor mínimo	3 Índice de Servicio
(Fe/cl Cd 3)	(3)	1
(Fe/el Cd 5)	5	
(Fe/el Cd 8)	(8)	2
(Fe/el Cd 12)	12	
(Fe/el Cd 25)	25*	3

Recubrimiento de cadmio con $s > 15 \mu\text{m}$ son por lo general antieconómicos.

6.3. **Abreviatura**

6.3.1 La abreviatura para designar los recubrimientos de cadmio, consta, en conformidad con la norma INEN 951 de los siguientes símbolos:

a. Fe para significar acero del metal base (o por el símbolo normalizado del tipo de acero).

b. la abreviación (el) por electrolítico.

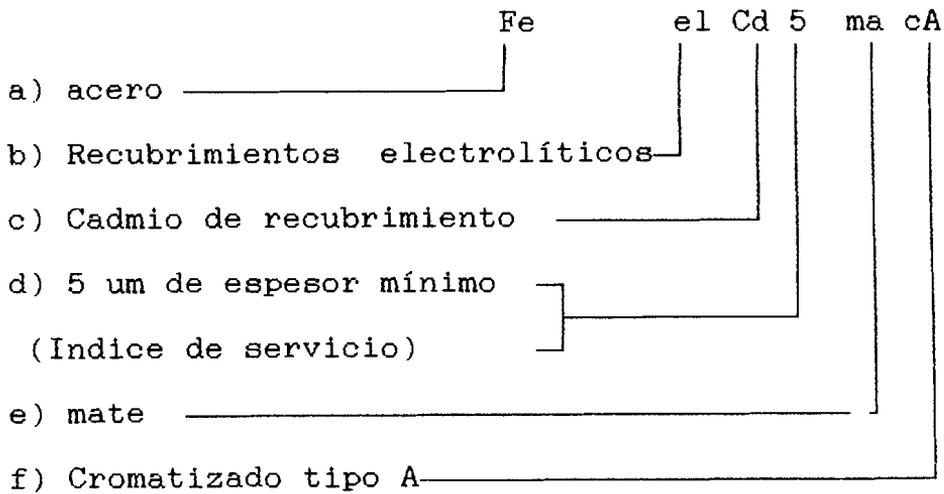
c. Cd cadmio

d. el valor del espesor de recubrimiento mínimo para cada índice de servicio según la tabla 1, en micrómetros (μm).

e. indicación del brillo (ver norma INEN 951).

f. las abreviaciones correspondientes al tratamiento posterior al pasivado. (ver normas INEN 951 y 673).

Ejemplo:



6.4. Adherencia.-

El recubrimiento de cadmio deberá estar firmemente adherido al metal base, y no deberá desprenderse al ensayarse según la norma INEN 950, numeral 4.3

DETERMINACION DEL ESPESOR PROMEDIO

Principio.

El método consiste en sumergir la probeta de área conocida en una solución de desplaque. Se determina la masa antes y después del desplaque y se calcula el espesor de recubrimiento promedio (s) a base de estos datos:

Instrumental.

- Balanza. Capáz de pesar con exactitud de una parte en 10000.
- Recipiente. Adecuado para contener la solución y la probeta.
- Instrumento para medir o calcular el área con precisión de 0.01 mm².

Reactivos:

Solución de desplaque. Resultante de la disolución de 20 g de trióxido de antimonio (Sb₂O₃) en 100 ml de ácido clorhídrico frío (HCl) de densidad entre 1.16 y 1.18.

Solvente Orgánico. Tricloroetileno. Acetona.

Procedimiento.

Determinar cuidadosamente el area "A" de la pieza, con exactitud. Si la forma de la pieza es muy compleja, el área deberá determinarse muy cuidadosamente y su valor debe de someterse a un acuerdo entre las partes.

Desengrasar con el solvente orgánico, secar y pesar con exactitud de 1/10000 de la masa

prevista (m_1).

Sumergir luego la probeta totalmente en la solución de desplaque y remover la pieza en el interior, de modo que todas sus partes tengan contacto con la solución. Cuando haya cesado la efervescencia, sacar la probeta inmediatamente, lavarla, limpiar la capa suelta de antimonio y sumergir en acetona para eliminar cualquier traza de agua retenida. Secar la probeta por el mismo procedimiento utilizado anteriormente y volver a pesar para determinar la masa (m_2).

Resultados

El espesor promedio del recubrimiento de cadmio está dado por:

$$s = \frac{(m_1 - m_2)}{A \times 141}$$

Siendo:

m_1 = masa original en gramos (g)

m_2 = masa final en gramos (g)

A = área del recubrimiento (mm^2)

El cálculo supone una densidad de 8,6 g/cm^3 para el cadmio.

141 constante al multiplicar densidad x 2.54³.

APENDICE D

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA.

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

3. TERMINOLOGIA

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

4. METODO DE ENSAYO

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

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 de calentamiento se dan para los casos más usuales, en la siguiente tabla.

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

APENDICE E

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA POROSIDAD

Norma Ecuatoriana INEN 1184-1984-05

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los métodos de ensayo para determinación de la porosidad de los recubrimientos de zinc y de cadmio sobre aceros.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a los recubrimientos de zinc y cadmio aplicados por vía electrolítica, por inmersión en caliente o mecánicamente, pero, en especial a los obtenidos electrolíticamente.

3. TERMINOLOGIA

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

4. METODOS DE ENSAYO

4.1 Ensayo de ácido clorhídrico para recubrimiento de Cadmio.

4.1.1 Principio.

4.1.1.1 El método de ensayo consiste en someter la probeta en sumersión en una solución de ácido clorhídrico bajo agitación. Las burbujas desprendidas denotan la presencia de poros en el recubrimiento.

4.1.2 Instrumental

4.1.2.1 Recipiente con suficiente cantidad de solución de ensayo para sumergir enteramente la probeta, hecho de material resistente al ácido clorhídrico.

4.1.2.2 Varilla de vidrio para agitar el ácido en el recipiente.

4.1.3 Reactivos y materiales.

4.1.3.1 Solución de ácido clorhídrico al 1%, preparada a partir de ácido de densidad 1.16 g/ml.

4.1.3.2 Paño suave

4.1.4 Procedimiento

4.1.4.1 Limpiar la probeta que debe ensayarse con un solvente orgánico que no ataque al cadmio. Secar con un paño limpio y sumergir la probeta de inmediato en el recipiente que contiene la solución de ensayo, agitándola continuamente con la varilla de vidrio, para que circule por sobre la superficie de ensayo. Mantener la probeta en la solución agitada mínimo diez minutos, dentro de los cuales, en caso de existir porosidad del recubrimiento, se harán evidentes burbujas de hidrógeno procedentes de los poros. Para diferenciar las burbujas de aire provenientes de la agitación de la solución, frotar la probeta con un paño limpio suave, para retirar las burbujas de aire adheridas a la superficie. En los poros continúan apareciendo las burbujas nuevas de hidrógeno. La probeta prácticamente no es atacada.

4.1.5 Resultados

4.1.5.1 Observar los puntos donde se presenta emanación continua de burbujas, contarlos para un area determinada y evaluar de acuerdo a la norma INEN 1176.

APENDICE F

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA CORROSION. EVALUACION DE RESULTADOS

Norma Ecuatoriana INEN 1176-1984-05

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada, de artículos con recubrimiento metálico.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a recubrimientos no anódicos sobre base metálica el método solamente toma en cuenta la corrosión en el metal base.

2.2 Esta norma no se aplica a artículos que tienen una superficie significativa menor a 25 mm².

3. TERMINOLOGIA

3.1 **Superficie significativa.** Es la parte de la superficie que es esencial para la utilidad o apariencia del artículo y que debe ser o ha sido

recubierta. En caso necesario, la superficie significativa debe ser de acuerdo entre las partes interesadas, y debe indicarse en dibujos o en muestras marcadas.

3.2 Mancha de Corrosión. Defecto superficial consecuencia de la corrosión, en la cuál el recubrimiento esta penetrado, indicado por la apariencia de corrosión del metal base o por levantamiento del recubrimiento.

La decoloración u otros defectos superficiales que no penetren el recubrimiento, no cuentan como manchas de corrosión. El tamaño de una mancha de corrosión es el área de penetración a través del recubrimiento y no el área de la decoloración asociada.

3.3 Índice de corrosión. Es un número que indica el grado en que una probeta ha sido atacada al someterse a un ensayo de corrosión.

4. METODO DE ENSAYO

4.1 Principio

4.1.1 El método consiste en el conteo de las

manchas de corrosión (n) por cada una de las cuadrículas (N) de área significativa y la aplicación de una fórmula para determinar el índice de corrosión correspondiente.

4.2 Instrumental y materiales.

4.2.1 Equipo para lavado con agua.

4.2.2 Lámina de plástico con cuadrícula marcada (cuadros de 5 mm de lado).

4.2.3 Lupas, si fueren necesarias.

4.3 Toma de muestras.

4.3.1 Las muestras se ensayarán de acuerdo a la norma respectiva de muestreo aplicable al producto. El área total significativa de la muestras debe ser mayor a 5000 mm^2 . Si los artículos individuales tienen un área significativa menor a 5000 mm^2 , la muestra debe ser compuesta por los suficientes especímenes para obtener un área significativa igual o mayor a 5000 mm^2 . Si el índice requerido es mayor o igual a 8, el área significativa total de la muestra debe ser mayor a 10000 mm^2 .

4.4 Procedimiento

4.4.1 Una vez realizado el ensayo de corrosión específica para cada recubrimiento y cada metal base la probeta se deberá lavar en agua corriente para remover el medio de ensayo previo.

Los productos residuales deben removerse seguidamente, para asegurar la identificación individual de las manchas de corrosión.

4.4.2 Dividir el área de esta superficie significativa en cuadros hipotéticos de 5 mm de lado. Esta operación se lleva a cabo fácilmente mediante la aplicación de una lámina transparente plástica con cuadrículas premarcadas.

4.4.3 Contar el número N (cuadros de 5mm de lado) en el área significativa y el número n (cuadrados conteniendo manchas, una o varias). Al evaluar el área total de la muestra, los cuadrados de la cuadrícula en más del 50%, deben tomarse como completos; los que estén ocupados en menos del 50%

deben ignorarse.

Si una mancha aparece en situación de intersecciones, debe contarse solo una vez y asignarse a un solo cuadrado; pero las rajaduras que van de un cuadrado a otro deben contarse cada vez por cada cuadrado que penetre.

4.5 Resultados.

4.5.1 Determinar la frecuencia de aparición de manchas, de la expresión.

$$\text{Frecuencia} = 100 \frac{n}{N}$$

Adjudicar un índice de corrosión de acuerdo a la tabla siguiente en la que se da los valores de la frecuencia en porcentaje adjudicados sus respectivos índices:

INDICES DE POROSIDAD

FRECUENCIA (%)	INDICE
0	10
0 - 0.25	9
0.25 - 0.5	8
0.5 - 1	7
1 - 2	6
2 - 4	5
4 - 8	4
8 - 16	3
16 - 32	2
32 - 64	1
sobre - 64	0