

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera



**Estudio Teórico Experimental del Recubrimiento de
Cromado Duro a Nivel de Planta Piloto**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de :

INGENIERO QUIMICO

Presentado por:

YNES AURORA PARDO CUEVA

WARREN REATEGUI ROMERO

LIMA - PERU

1993

INDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION.

CAPITULO II : CONDUCCION ELECTROLITICA.

2.1 CONDUCTORES ELECTROLITICOS.

2.2 MOVIMIENTOS IONICOS BAJO LA INFLUENCIA
DE UN CAMPO ELECTRICO APLICADO.

2.3 EL FENOMENO DE LA ELECTROLISIS.

2.4 LEYES DE FARADAY DE LA ELECTROLISIS.

2.4.1 PRIMERA LEY.

2.4.2 SEGUNDA LEY.

2.5 EVALUACION TEORICA PARA LA ELECTRODEPOSICION DEL
CROMO.

2.6 TEORIA DE LA ELECTRODEPOSICION.

2.7 TEORIA DE LA DISOCIACION ELECTROLITICA.

2.8 CONDUCTIVIDAD DE LOS ELECTROLITICOS.

CAPITULO III : GALVANOTECNIA.

3.1 LA GALVANOTECNIA.

3.2 GALVANOSTEGIA.

3.3 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO EN LA NATU-
RALEZA DE LOS DEPOSITOS.

3.3.1 FACTORES ELECTROQUIMICOS.

3.3.2 FACTORES RELACIONADOS CON LA COMPOSICION
DEL BAÑO.

CAPITULO IV CRITERIOS DE SELECCION DEL RECU-

BRIMIENTO METALICO ADECUADO.

- 4.1. PROTECCION CON EFECTO DECORATIVO.
- 4.2. DECORACION SIN EFECTO DE PROTECCION.
- 4.3 PROTECCION SIN EFECTO DECORATIVO.
- 4.4 MODIFICACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y
MECANICAS DE LA SUPERFICIE.
- 4.5 DESGASTE DE LOS METALES.
- 4.6 SELECCION DE UN DEPOSITO.
 - 4.6.1 PROPIEDADES FISICAS DEL CROMO.
 - 4.6.2 PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE.
 - 4.6.3 PROPIEDADES FISICAS DEL NIQUEL.
 - 4.6.4 PROPIEDADES FISICAS DEL ZINC.
 - 4.6.5 PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO.
 - 4.6.6 PROPIEDADES FISICAS DEL ORO.
 - 4.6.7 PROPIEDADES FISICAS DE LA PLATA.
 - 4.6.8 PROPIEDADES DEL PLATINO.

CAPITULO V : **CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FUNDA- MENTALES DEL CROMADO DURO.**

- 5.1 GENERALIDADES.
- 5.2 CARACTERISTICAS DEL ELECTROLITO.
- 5.3 CUBA, ANODOS Y SISTEMA DE CALENTAMIENTO.
 - 5.3.1 CUBA.
 - 5.3.2 ANODOS.
 - 5.3.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

- 5.4 PRACTICA OPERATORIA.
 - 5.4.1 DIAGRAMA DE PROCESO.
 - 5.4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO.
 - 5.4.3 ALGUNAS FORMAS DE UBICAR PIEZAS EN EL BAÑO.
 - 5.4.4 RECTIFICADO DEL CROMADO.
- 5.5 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS REVESTI MIENTOS DE CROMADO DURO.
 - 5.5.1. FISONOMIA DEL REVESTIMIENTO BRUTO DEL DEPOSITO
 - 5.5.2 DUREZA.
 - 5.5.3 POROSIDAD.
 - 5.5.4. RESISTENCIA AL DESGASTE.
 - 5.5.5. RESISTENCIA A LA CORROSION.
 - 5.5.6. ADHERENCIA DEL LUBRICANTE.
- 5.6 ESPESORES QUE DEBEN CONFERIRSE AL REVESTIMIENTO.
- 5.7 DEFECTOS DEL CROMADO DURO.
- 5.8 EVALUACION ECONOMICA.

CAPITULO VI : PARTE EXPERIMENTAL.

- 6.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.
- 6.2 MATERIALES REQUERIDOS.
 - 6.2.1 PRODUCTOS QUIMICOS.
 - 6.2.2 ESPECIFICACION DE LOS EQUIPOS.
 - 6.2.3 ACCESORIOS.

CAPITULO VII : EVALUACION ECONOMICA.

CAPITULO VIII : CONCLUSIONES.

APENDICE :

- 1.- CALCULOS Y RESULTADOS DEL EXPERIMENTO.
- 2.- PRUEBAS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO.
- 3.- RESISTENCIA AL DESGASTE DEL CROMADO DURO.
- 4.- DUREZA PROPIA DEL CROMO.
- 5.- RENDIMIENTO CATODICO DE LOS BAÑOS DE CROMADO EN FUNCION DE LA RELACION $\text{g/l H}_2\text{SO}_4 / \text{g/l CrO}_3$.
- 6.- ADHERENCIA DEL LUBRICANTE.
- 7.- TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES GALVANICOS DE UNA PLANTA DE CROMADO.
- 8.- MEDIDA Y CONTROL DE LOS ESPESORES.
- 9.- ANALISIS DEL ELECTROLITO.
- 10.- REFERENCIA DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO.
- 11.- LEXICO DE GALVANOPLASTIA.

BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Generalidades

En nuestro medio existe un número considerable de empresas que desarrollan trabajos de recubrimiento metálico como zincado, níquelado, dorado, plateado y cromado decorativo, sin embargo sólo un número reducido de ellas han incursionado en el campo del cromado duro. El poco dominio de las técnicas de trabajo que se requieren para el cromado duro es el factor principal por lo que la industria nacional de recubrimientos aún no ha avanzado significativamente.

Por otro lado, a nivel industrial es sumamente importante la aplicación de este tipo de recubrimiento ya que su aplicación resulta óptima para piezas o elementos de máquinas expuestos a gran desgaste y también para recuperación de elementos de máquinas desgastadas por encima de la tolerancia máxima.

Las razones expuestas motivaron el desarrollo de este tema.

Antecedentes

El cromo es un elemento descubierto por Vauquelin en 1797 y desde 1848 se intentó su fijación galvánica lográndolo finalmente Bunsen por vía electrolítica en 1854. F. Wholer consiguió su reducción en 1859 y desde esa fecha hasta 1907 se otorgaron patentes para cromar mediante diversos electrólitos.

La primera aplicación industrial es posterior a la primera guerra mundial, produciéndose en 1924 películas cromadas de 2 a 4 diezmilésimas de milímetro.

Hendrich Van Der Horst fue el que inició la aplicación del cromado duro para motores, revistiendo internamente los cilindros para reducir su desgaste.

En el Perú existen plantas de cromado duro tales como Recolsa, Cromo Duro Industrial, etc.

Objetivos

Exponer los resultados obtenidos en el desarrollo experimental de la técnica del recubrimiento electrolítico del cromado duro a nivel de planta piloto

CAPITULO II

CONDUCCION ELECTROLITICA

CONDUCCION ELECTROLITICA.

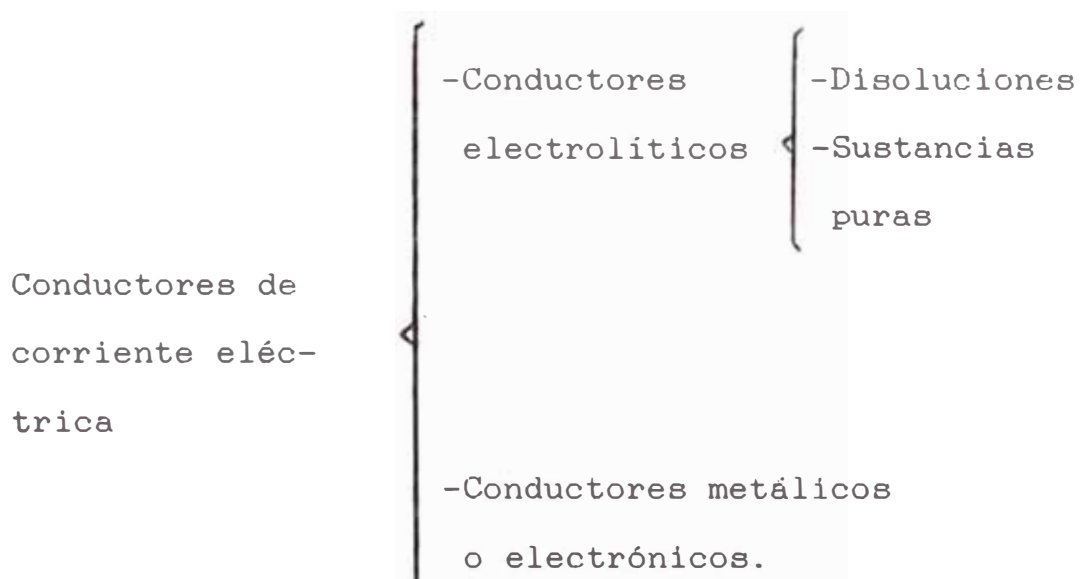
2.1 CONDUCTORES ELECTROLITICOS.

Desde un punto de vista físico-químico los conductores más importantes son los del tipo electrolíticos, es decir los electrólitos, estos se distinguen de los conductores electrónicos, como los metales, por el hecho de que el paso de una corriente eléctrica va acompañada por el transporte de materia.

Hay dos grandes grupos de conductores electrolíticos:

El primero está formado por sustancias puras, por ejemplo sales fundidas y el segundo por disoluciones.

Las disoluciones más estudiadas son de ácidos, bases y sales en agua. Algunos sólidos actúan como conductores mixtos, por ejemplo el sulfuro de plata B conduce 80% electrolíticamente y el resto electrónicamente. (2)



2.2 MOVIMIENTOS IONICOS BAJO LA INFLUENCIA DE UN CAMPO ELECTRICO APLICADO

Cuando los iones se encuentran situados en un campo eléctrico, sus movimientos quedan afectados por el hecho de estar cargados. Por ello, la aplicación de un campo eléctrico individualiza un sentido en el espacio (el sentido paralelo al campo) provocando un movimiento iónico preferencial.

Las partículas cargadas positivamente prefieren desplazarse hacia el electrodo negativo y las partículas negativas en el sentido opuesto; los desplazamientos ya no se producen al azar. El campo de fuerza eléctrico le imparte una aceleración de acuerdo con la segunda ley de Newton. En una disolución electrolítica, el ión choca pronto con algún otro ión o con una molécula de disolvente que atraviesa en su camino. Estas colisiones introducen discontinuidades en su velocidad y en el sentido de su desplazamiento. El movimiento del ión ya no es continuo, pero el campo eléctrico aplicado imparte un sentido al desplazamiento del ión (lo que le conduce hacia el electrodo cargado con signo opuesto).

2.3 EL FENOMENO DE LA ELECTROLISIS

Cuando pasa una corriente eléctrica a través de un conductor electrolítico, el transporte de materia se manifiesta en las discontinuidades del sistema; por

ejemplo, si a una disolución ácida diluída, se sumergen dos alambres, preferentemente de platino, unidos a los dos polos de una batería voltaica que actúa como fuente de corriente continua, se desprenden en los alambres burbujas de hidrógeno y oxígeno (o un halógeno).

Los electrodos o placas que conducen la corriente al interior del electrólito y fuera del mismo, se denominan ánodo (polo positivo) y cátodo (polo negativo).

En el proceso de electrólisis se libera en el cátodo un metal o hidrógeno y en el ánodo aparecen oxígeno o un halógeno, siempre que el material no resulte atacado (ver Fig. N^o 2-1).

Si el ánodo es de cobre, zinc, níquel u otro metal no noble tenderá a disolverse bajo la influencia de la corriente. En nuestro caso los ánodos son insolubles.

Como ejemplo indicamos la electrólisis del ácido sulfúrico (ver Fig. N^o 2-2).



Al cerrar el circuito los iones se orientan bajo la influencia del campo eléctrico, es decir el (H⁺) se dirige hacia el cátodo y el (SO₄)²⁻ se dirige

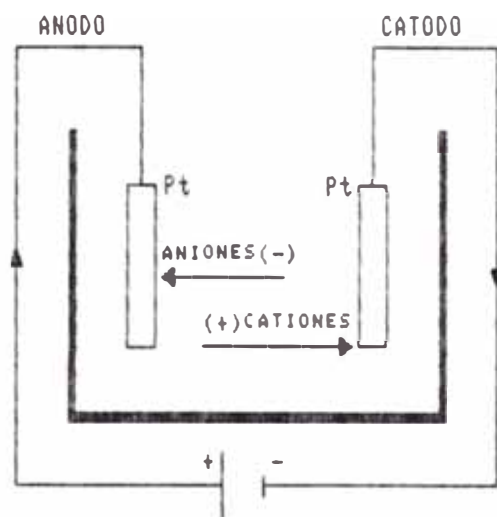


FIG. N° 2-1.- PASO DE LA CORRIENTE A TRAVES DE UN ELECTROLITO

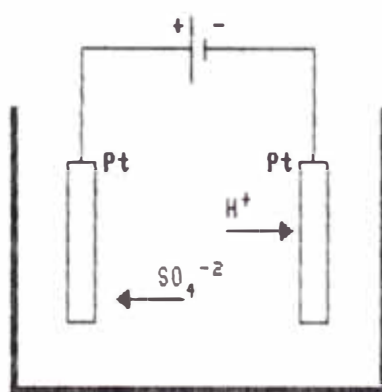


FIG. N° 2-2.- ELECTROLISIS DE LA SOLUCION DE ACIDO SULFURICO

hacia el ánodo.

En el cátodo: El ión H^+ al llegar al cátodo se neutraliza ganando electrones.



En el ánodo: El ión $(SO_4)^{2-}$ al llegar al ánodo se neutraliza cediendo dos electrones, y se transforma en el radical neutro SO_4 . Este radical no se desprende en el ánodo lo único que aparece es oxígeno.

Este fenómeno se explica de la siguiente manera:



2.4 LEYES DE FARADAY DE LA ELECTROLISIS.

2.4.1 Primera ley : La magnitud de la descomposición química producida por una corriente, esto es la cantidad de cualquier sustancia depositada o disuelta, es proporcional a la cantidad de electricidad que ha pasado.

$$W = K \cdot Q \dots\dots (1)$$

Donde:

W : masa en gramos

Q : carga en coulomb.

K : constante.

Coulomb (cb): Es la intensidad de corriente (amp) transportada en la unidad de tiempo (ϵ), que deposita o libera un equivalente electroquímico de un elemento.

FARADAY (Fd): Es la carga eléctrica necesaria para depositar o liberar un equivalente gramo de un elemento y es igual a 96 500 cb (2).

$$1Fd = 96\ 500\ cb \quad \dots(2)$$

Equivalente electroquímico (Eq-q): Es el peso depositado o liberado en un electrodo de un elemento por el paso de la corriente de 1cb.

$$Eq-q(E) = Eq-g(E)/96\ 500 \quad \dots(3)$$

$$\text{para el cromo: } Eq-q(\text{Cr}) = 8.981002 \times 10^{-5} \text{ g/cb} \dots(4)$$

Equivalente gramo (Eq-g): Es el peso depositado o liberado en un electrodo de un elemento por el paso de la corriente de 1Fd.

$$Eq-g(E) = P.A(E)/V(E) \quad \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

P.A : peso atómico del elemento

V : valencia del elemento

Intensidad (I): Es la carga de un coulomb por unidad de tiempo (s) a través de un conductor.

$$I = Q/t \dots\dots\dots(6)$$

donde:

I : corriente en amperios

t : tiempo en segundos.

Número de Avogadro (N): Si por una solución atraviesa la carga de 1Fd deposita en el electrodo el equivalente gramo de un elemento y atraviezan N electrones.

carga	peso depositado	Nº electrones
1Fd	$K = E_{q-gr}$	6.023×10^{23}
1Cb	$K = E_{q-q}$	$6.023 \times 10^{23} / 96500$

$$W = E_{q-gr}(E) \times I.t / 96500 \dots\dots (7)$$

$$W = E_{q-q}(E) \times I.t \dots\dots\dots (8)$$

2.4.2 Segunda ley: Las cantidades de sustancias diferentes depositadas o disueltas por la misma cantidad de electricidad son proporcionales a sus pesos equivalentes químicos.

En cada recipiente se depositan igual número de E_{q-gr} de cada elemento (ver Fig. Nº 2-3).

$$W(a) / P.E_{q(a)} \quad W(b) / P.E_{q(b)} = W(c) / P.E_{q(c)} \dots\dots(9)$$

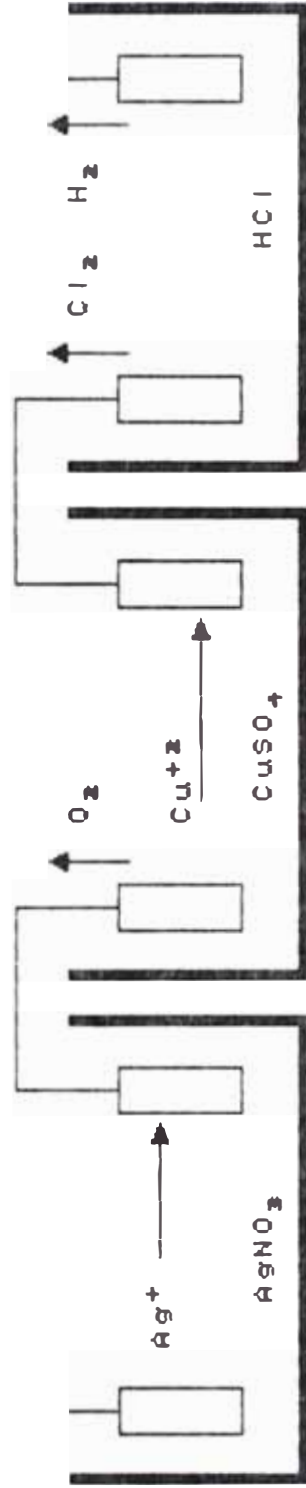


FIG. N° 2-3 . REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA SEGUNDA LEY DE FARADAY

2.5 EVALUACION TEORICA PARA LA ELECTRODEPOSICION DEL CROMO

a) Peso de cromo electrodepositado

$$P.A = 52$$

$$\text{valencia} = 6$$

$$E_{q-gr} = 8.666667 \text{ g/mol} \quad (\text{de ec. 5})$$

$$E_{q-q} = 8.981002 \times 10^{-5} \text{ g/Cb} \quad (\text{de ec. 3})$$

$$W = 8.981002 \times 10^{-5} \times I.t \quad (\text{de ec. 9}) \dots(10)$$

b) Espesor de cromo electrodepositado.

$$E = 8.981002 \times 10^{-5} \times I.t / d.A \quad (\text{de ec. 10}) \dots(11)$$

donde:

$$A(\text{cm}^2) = \text{área del cátodo}$$

$$d(\text{g/cm}^3) = 7.19$$

$$E(\text{cm}) = \text{espesor}$$

El espesor en micras se calcula por la siguiente expresión:

$$E = 0.124910 \times I.t / A = 1390.82 W(\text{Cr}) / A \dots (12)$$

2.6. TEORIA DE LA ELECTRODEPOSICION

La descarga catódica de un ión metálico para formar parte de la superficie de un depósito que crece puede examinarse como una serie de pasos en los cuales el ión se mueve hacia la superficie del electrodo y se descarga:

- a) Migración del ión hacia el cátodo, de donde a través de la doble capa eléctrica, van a la superficie, en la cual se pierden las moléculas de hidratación.
- b) Adsorción del ión sobre la superficie metálica como un (ad-ión)* o incorporación en un film superficial.
- c) Difusión del (ad-ión) a través de la superficie a un punto de descarga de mínima energía superficial.
- d) Descarga de los iones implicando transferencia de electrones.

* se llama así a aquellos lugares preferidos sobre la superficie en que se localiza el ión.

El mecanismo del depósito de cromo a partir de soluciones de ácido crómico ha recibido más atención probablemente que la de cualquier otro metal.

La electrodeposición no es posible a partir de soluciones sólo de ácido crómico, la presencia de un anión catalizador (por ejemplo sulfato) es necesario en pequeñas cantidades.



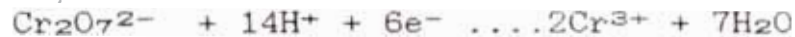
Se supone que el ión cromato es el más importante, el ácido crómico pasiva la superficie catódica por formación de una película de óxido hidratado

coloidal que está parcialmente reducida, debido a un aumento local del Ph en la superficie del electrodo (1).

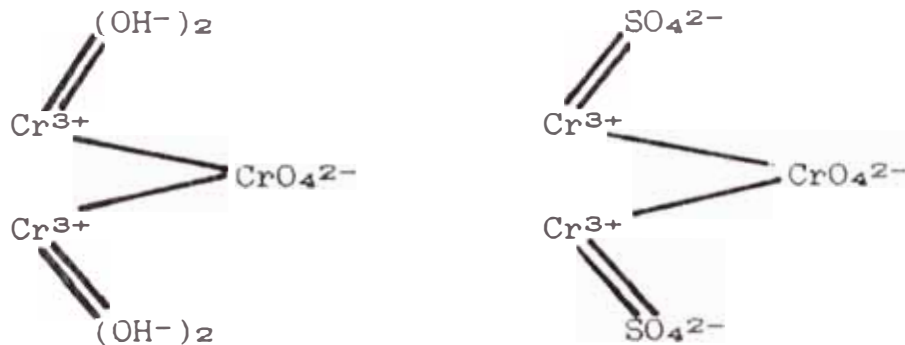
cromato de Cromo



El cambio en el Ph está originado por la reducción parcial de cromatos a iones crómicos, los cuales es sabido se acumulan en la solución.

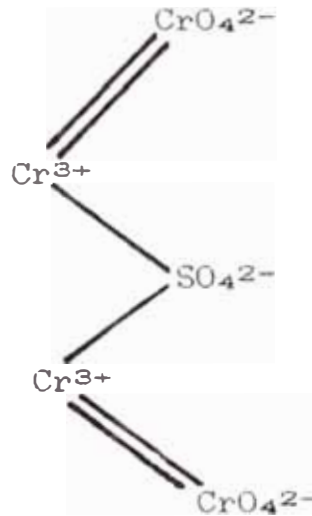


La presencia de iones sulfato como catalizadores produce la formación de iones complejos acuosulfato cromato del tipo $(\text{Cr}_m (\text{SO}_4)_n \text{H}_2\text{O})^{3m-2n}$ los cuales toman parte en el proceso de formación del film inestable.



Cromato de cromo básico pasivado.

también :



Sulfato-cromato intermedio

La reducción final se cree que ocurre dentro del propio film.



2.7 TEORIA DE LA DISOCIACION ELECTROLITICA.

Se admite la hipótesis de que cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción considerable de la misma se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos, esto es:



Estos iones se pueden mover independientemente, y son sencillamente guiados a los electrodos de signo opuesto por el campo eléctrico aplicado.

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de moléculas (MA)} &= n \\ \text{N}^\circ \text{ de iones por molécula} &= V \\ \text{Grado de disociación} &= \alpha \\ \text{factor de Van't Hoff} &= i \end{aligned}$$

$$i = ((n-n.\alpha) + Vn.\alpha)/n \quad \dots (13)$$

$$\alpha = (i-1)/(V-1) \quad \dots (14)$$

El factor (i) da la relación entre la presión osmótica observada y la calculada, abarca todos los tipos de desviaciones del comportamiento ideal.

2.8 CONDUCTIVIDAD DE LOS ELECTROLITOS

Las disoluciones al igual que los conductores metálicos, obedecen la ley de Ohm, excepto en condiciones tan anormales como voltajes elevados o corrientes de frecuencia muy alta.

$$I = V/R \quad \dots (15)$$

Donde:

$$I = \text{Amp.}$$

$$V = \text{Voltios}$$

$$R = \text{Ohmio}$$

La corriente que pasa a través de un conductor bajo la influencia de una F.E.M., es inversamente proporcional a la resistencia, la cantidad $1/R$ es una medida del poder conductor, y se denomina conduc-

tividad (C), se expresa en Ohm^{-1} (Mhmos).

La resistencia de un conductor varía directamente con su longitud L (cm) e inversamente con su superficie a (cm^2):

$$R = k L/a \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

$$k = \text{Resistencia especifica (Ohm.cm)}$$

La conductividad específica (x), se define como $(1/k)$ en $\text{Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

$$k = 1/x \dots\dots\dots(17)$$

$$C = 1/R = a \cdot x/L \dots\dots\dots(18)$$

TABLA Nº 2-1

CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE
 CrO_3 (g/l) Y TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)

CrO_3 (g/l)	0 $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	45 $^{\circ}\text{C}$
	(Ohm.cm) ⁻¹		
75	0.20	0.20	0.20
100	0.23	0.27	0.41
200	0.31	0.44	0.56
300	0.39	0.56	0.70
400	0.41	0.66	0.77
500	0.41	0.64	0.81
600	0.40	0.61	0.80
700	0.36	0.57	0.73

Referencia -10

CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA VS CONCENTRACION CrO_3

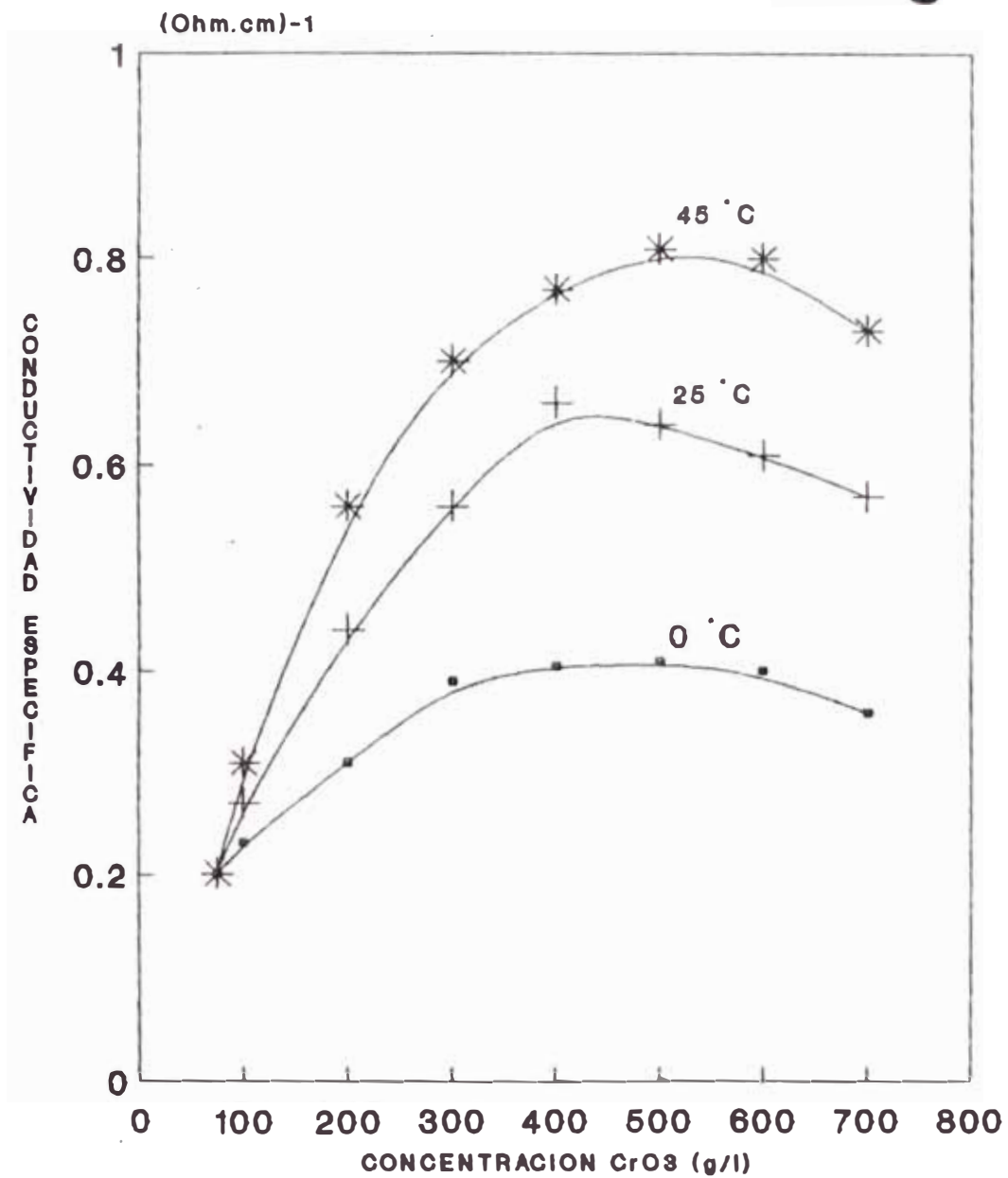


GRAFICO N° 2-1

CAPITULO III

GALVANOTECNIA

GALVANOTECNIA

3.1 LA GALVANOTECNIA.

Comprende las aplicaciones de la electroquímica concerniente a la producción de capas metálicas finas, depositadas electrolíticamente sobre objetos metálicos y no metálicos.



La galvanostegia se ocupa de la formación de capas metálicas delgadas sobre objetos metálicos, realizado unas veces con fines decorativos, otras persigue dar al metal base mayor resistencia a la corrosión, y frecuentemente se consigue ambos a la vez.

La galvanoplastia es un procedimiento de metalización de superficies no conductoras de electricidad.

3.2 GALVANOSTEGIA.

Generalidades.- En la práctica, no solamente se desea recubrir de un modo uniforme los objetos, sino que además, es preciso obtener depósitos lisos, brillantes, duros o dúctiles, que satisfagan ciertas necesidades técnicas. Los depósitos electrolíticos de los metales son de naturaleza cristalina, cada uno de los granos cristalinos, están a su vez formados por un gran número

de células elementales que poseen todas las características del cristal macroscópico.

Las propiedades de los depósitos metálicos dependen grandemente del tamaño y disposición de los cristales; la estructura depende primero del número de núcleos de cristalización y, segundo del sentido del crecimiento.

3.3 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO EN LA NATURALEZA DE LOS DEPOSITOS.

Los dos métodos mediante los cuales se puede cambiar la estructura de los depósitos son: cambiando las condiciones de operación (factores electroquímicos) y alterando la composición del baño (factores relacionados con la composición del baño).

3.3.1 FACTORES ELECTROQUIMICOS:

a) Densidad de corriente

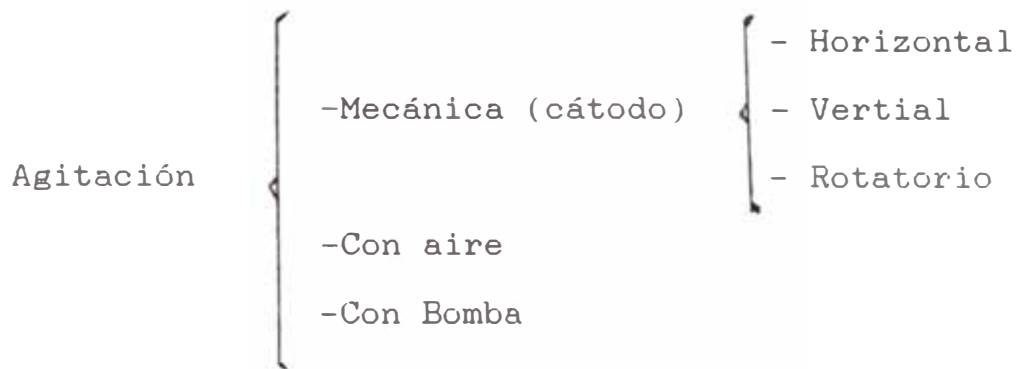
Para incrementar el rendimiento es deseable operar con una densidad de corriente elevada hasta cierto límite, logrando una electrodeposición de cristales finos.

La densidad de corriente límite depende de la naturaleza del baño y de la temperatura, pasado este límite se producen depósitos mates o quemados.

Al incrementar la densidad de corriente, disminuye la concentración iónica de película del líquido junto al cátodo y la polarización incrementa.

b) Agitación

- 1.- La agitación de los baños hace más uniforme al electrolito.
- 2.- Permite suministrar al cátodo la sal que se va agotando al paso de la corriente.
- 3.- Reducir el espesor de la película del líquido adherida al cátodo.
- 4.- Permite incrementar la densidad de corriente.
- 5.- Disminuye la polarización.



c) Temperatura.

- 1.- La temperatura incrementa la conductividad de las soluciones.
- 2.- Permite emplear una densidad de corriente superior a la ordinaria, obteniéndose depósitos de granos finos.
- 3.- Aumenta la disociación de las sales.
- 4.- Disminuye la viscosidad de las soluciones.
- 5.- Aumenta la conductividad de la película líquida junto al cátodo.

6.- Permite eliminar con más facilidad los gases que se producen en el ánodo y cátodo.

3.3.2 FACTORES RELACIONADOS CON LA COMPOSICION DEL BAÑO.

a) Naturaleza del electrólito

En la mayoría de los baños el catión se introduce mediante algunas de sus sales, excepto en los baños para cromado donde se utiliza exclusivamente el ácido crómico (CrO_3).

b) pH

El pH tiene un efecto muy señalado sobre la naturaleza del depósito, así como el rendimiento de la corriente.

El pH de una disolución debe considerarse de acuerdo con el lugar que ocupa el ión metálico, que se ha de reducir catódicamente, en la serie electromotriz, si el ión se encuentra situado muy abajo en la serie es más noble que el hidrógeno, entonces podremos separarlo con buen rendimiento de corriente aún de disoluciones ácidas (cobre, plata, oro, etc.). Si se encuentra situado encima del ión H^+ (es menos noble) será el hidrógeno el que se descargue preferentemente.

c) Concentración iónica.

Para obtener depósitos finamente cristalinos es preciso trabajar con soluciones de baja concentración iónica, dando lugar a muchos núcleos de cristalización

de grano fino.

La concentración real de un ión depende de varios factores:

- 1.- Concentración molar.
- 2.- Grado de ionización.
- 3.- Temperatura.
- 4.- presencia de sales con un ión común.
- 5.- Formación de complejos químicos.

Métodos para disminuir la concentración iónica.

- 1.- Por la adición de iones comunes.
- 2.- Por la formación de sales complejas
- 3.- Por la dilución del baño.

d) poder de penetración

El poder de penetración se refiere a la propiedad de un baño por la que se consigue una distribución regular del depósito sobre la superficie del cátodo.

e) Agentes de adición.-Este término se utiliza para hacer mención a productos químicos patentados que al añadir al electrólito en pequeñas cantidades cumplen una función determinada.

CUADRO N^o 3-1
AGENTES DE ADICION

ABRILLANTADOR	HUMECTANTE	DESPOLARIZANTE
<p>Permite mejorar el aspecto del recubrimiento metálico generando brillo.</p>	<p>Son agentes tensoactivos cuya función es reducir la tensión superficial del electrolito permitiendo mayor fluidéz de corriente eléctrica.</p>	<p>Permite reducir la polarización debido al paso de la corriente eléctrica, aumentando la eficiencia de la misma; en nuestro caso, el aditivo-EG.</p>

CAPITULO IV

CRITERIOS DE SELECCION DEL RECUBRIMIENTO METALICO ADECUADO

CRITERIOS DE SELECCION DEL RECUBRIMIENTO METALICO ADECUADO.

Generalidades.- Los tratamientos de superficies metálicas por vía galvánica pueden lograrse mediante una amplia gama de procedimientos, o bien por modificación superficial del metal base. Estos acabados son aplicados para la decoración, para la protección o para la modificación física de la superficie. Podemos, por ello, dividir los acabados en cuatro clases.

4.1. PROTECCION CON EFECTO DECORATIVO.

Se realiza con la finalidad de dar a la superficie un aspecto agradable a la vista con una protección frente a los agentes corrosivos. Estos acabados son frecuentes, y se pueden citar, como ejemplo, los recubrimientos de níquel-cromo en la industria del automóvil y de muebles.

4.2. DECORACION SIN EFECTO DE PROTECCION.

Dentro de esta gama entra la decoración de piezas sea por recubrimiento con una débil capa metálica como el dorado y el plateado o la formación de una sal coloreada (coloración, pátina, etc) .Estos acabados se emplean en bisutería.

4.3 PROTECCION SIN EFECTO DECORATIVO.

Se busca en este caso la protección del metal contra la corrosión. El zincado y el estañado se utilizan para este fin. Dependiendo de los agentes físicos y químicos se utilizan recubrimientos de cromo duro ó níquel.

4.4 MODIFICACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA SUPERFICIE.

Se busca por este depósito o tratamiento de conversión, obtener propiedades distintas del substrato.

- a) Recubrimiento metálico en cromo duro.
- b) Endurecimiento por tratamiento térmico.
- c) Auto-lubricación de la superficie por cromado poroso.
- d) Lubricación sobre las superficies sometidas a rozamiento. Para evitar los grietados en los engranajes se les recubre con cobre o latón y los cojinetes con plomo o estaño-plomo.
- e) Para la adherencia de hierro-caucho. Si sobre el acero se da una capa de latón o de fosfato, se logra esta adherencia.

4.5 DESGASTE DE LOS METALES.

La calidad de la mayoría de los productos de metal depende de la condición de sus superficies y del deterioro de la superficie debido al uso; suele ser el

factor principal que limita la vida y el desempeño de los componentes de una máquina.

El desplazamiento y la separación de las partículas mecánicas de una superficie pueden producirse por contacto con:

- a) Otro metal (desgaste adhesivo metálico).
- b) Un abrasivo metálico o uno no metálico (abrasión).
- c) Líquidos o gases en movimiento (erosión).

La resistencia al desgaste de una pieza de metal puede mejorarse por electrodeposición de un metal más duro sobre su superficie. Los metales que mas a menudo se electrodepositan sobre materiales base son el cromo y níquel.

4.6 SELECCION DE UN DEPOSITO.

Reseñamos a continuación una síntesis del comportamiento de los recubrimientos en distintos medios con el fin de poder dar los criterios necesarios para efectuar correctamente la elección del recubrimiento.

Factores a considerar:

- a) Metal base: Aluminio, cobre, hierro, etc.
- b) Calidad del material base: con poros, grietas, oquedades, etc.
- c) Dimensiones de las piezas a recubrir: pequeñas piezas metálicas, piezas de automóvil o mueble de tu-

- bos, pequeñas piezas de precisión, tornillería, etc.
- d) Forma de las piezas: dificultad de tratamiento (ánodos auxiliares), dificultad de lavado (forma de las piezas).
 - e) Tolerancias de fabricación: piezas rectificadas, tornillería (protección y tolerancias), etc.
 - f) Atmósfera de utilización: clima rural, industrial marino, tropical o productos químicos.
 - g) Temperatura de utilización.
 - h) Espesor mínimo.
 - i) Calidad del recubrimiento: Adherencia, porosidad, continuidad, etc
 - j) Precio.

4.6.1 PROPIEDADES DEL CROMO.

TABLA N^o 4-1

PROPIEDADES FISICAS DEL CROMO

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (Vickers)	TEMP.LIMITE (°C)
7.1	1800	800	800

Generalidades.

Depósito blanco con reflejos azulados y de gran dureza.

Es necesario diferenciar los depósitos decorativos, inferiores a una micra, y los depósitos a espesor llamados cromo duro.

Los depósitos de cromo duro se caracterizan por tener espesores que pueden ir de algunas micras a varias décimas de milímetro.

Los depósitos de cromo microfisurado mejoran la resistencia a la corrosión.

Resistencia a la corrosión.

El cromo posee buena resistencia a la corrosión a alta temperatura. Se le puede emplear en medio oxigenado, vapor de agua, en presencia de gas carbónico, de gas sulfuroso hasta 1 000 °C.

El cromo resiste a alta temperatura a los compuestos de azufre, al gas de escape del motor de explosión y el gas de hulla.

Resiste a los ácidos nítrico, acético, cítrico y fosfórico.

Presenta un buen aguante en petróleo y sus derivados, así como a numerosas sales en ausencia de fluoruros y cloruros.

No resiste al ácido clorhídrico ni al ácido sulfúrico caliente.

Utilización.

Se recomienda como revestimiento por:

- a) Su dureza.
- b) Su resistencia al desgaste.
- c) Su resistencia a diversos agentes químicos.
- d) Como superficie de frotamiento.

4.6.2 PROPIEDADES DEL COBRE.

TABLA N^o 4-2

PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (Vickers)	TEMP.LIMITE (°C)
8.9	1084	40	300

Generalidades.

Es un buen conductor del calor y de la electricidad; es maleable y dúctil.

Resistencia a la corrosión.

En el aire se recubre de una capa protectora de carbonato básico. Se comporta igualmente bien en una atmósfera marina. Resiste al vapor de agua hasta 200 °C.

Los gases clorhídrico y fluorhídrico no lo atacan a temperatura ambiente. Los ácidos diluidos y en

ausencia de un agente oxidante lo atacan poco.

Resiste a los hidróxidos, salvo al amoníaco. Presenta, en cambio, un buen comportamiento en agua de mar y es uno de los pocos metales que no se altera por la salinidad marina.

La ligera corrosión que pueda sufrir libera suficientes iones cobre para envenenar a los microorganismos

No resiste al ácido sulfhídrico.

Utilización.

El cobreado se usa en decoración como subcapa de los recubrimientos de níquel. se emplea para:

- a) Lubricación de superficies rozantes.
- b) Evitar la corrosión de contacto.

4.6.3 PROPIEDADES DEL NIQUEL.

TABLA Nº 4-3

PROPIEDADES FISICAS DEL NIQUEL

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (Vickers)	TEMP.LIMITE (°C)
8.8	1455	425	350

Resistencia a la corrosión.

El níquel presenta un buen comportamiento frente a la corrosión atmosférica hasta los 900 °C y resiste bien la atmósfera marina.

Resiste al vapor de agua hasta 425 °C, al hidrógeno y al nitrógeno. Resiste a la acción de los ácidos clorhídrico, sulfúrico y fluorhídrico en ausencia de agentes oxidantes y a los ácidos orgánicos.

El níquel posee muy buena resistencia a la acción de la potasa y soda cáustica hasta 700°C, al agua de mar en movimiento y a los productos alimenticios a los que no contamina.

No resiste a las sales oxidantes ácidas y alcalinas y al amoníaco.

Utilización.

- a) Tiene buen comportamiento frente a diferentes ataques corrosivos (para protección y decoración).
- b) Tiene buena resistencia a los ataques químicos.
- c) Tiene resistencia al desgaste (depósitos gruesos).

4.6.4 PROPIEDADES DEL ZINC.

TABLA N^o 4-4
PROPIEDADES FISICAS DEL ZINC

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (Brinell)	TEMP.LIMITE (°C)
7.1	419	335	350

Resistencia a la corrosión.

El zinc presenta un buen comportamiento contra la corrosión en atmósfera rural y marina, su resistencia es menor en las atmósferas industriales. Buena resistencia en contacto con agua de mar.

El zinc resiste a las sales minerales y orgánicas neutras. Su resistencia al agua natural es débil.

No resiste a los ácidos y bases así como a las sales ácidas y básicas.

El zinc no puede estar en contacto con productos alimenticios.

Utilización.

- a) Para la protección contra la corrosión atmosférica.
- b) Como tratamiento antes de un recubrimiento de pintura.

4.6.5 PROPIEDADES DEL ESTAÑO.

TABLA Nº 4-5

PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	TEMP.LIMITE (°C)
7.2	232	150

Generalidades

Metal blanco, muy maleable y dúctil, pero poco resistente a la tracción.

Resistencia a la corrosión.

El estaño presenta un buen comportamiento a las distintas atmósferas, incluso la marina.

Su no toxicidad y su buen comportamiento frente a la corrosión, permiten su utilización dentro de la industria de la alimentación (leche, cremas, zumos de frutas, cerveza, etc), pero resiste poco a los vinos.

Resiste a los ácidos orgánicos (lácticos, maléico, succínico, cítrico), no resiste al oxálico.

Resiste a las bases y a los ácidos diluidos pero no resiste al cloro, ácidos y bases fuertes.

Utilización.

El estaño se utiliza:

- a) Para mejorar el contacto eléctrico.
- b) Para facilitar la soldadura con estaño.
- c) En la industria alimenticia.

4.6.6 PROPIEDADES DEL ORO.

TABLA N^o 4-6

PROPIEDADES FISICAS DEL ORO

DENSIDAD (g/cm ³)	P.F (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (Vickers)	TEMP.LIMITE (°C)
19.5	1064	140	450

Generalidades.

Su bello color y su inalterabilidad lo sitúan como elemento decorativo de gran valor. Es el más maleable de todos los metales, pues se le puede laminar hasta 1/10000 mm.

Resistencia a la corrosión.

El oro es inalterable al aire, aún a altas temperaturas. No es atacado por los sulfuros y el flúor a temperatura ambiente.

No resiste al cloro y al yodo, y tampoco a ciertas mezclas de ácidos ($\text{HCl} + \text{HNO}_3$), al ácido cianhídrico, al cianuro sódico y potásico conteniendo oxidantes.

Es atacado por el mercurio y los metales fundidos.

Utilización.

- a) Muy empleado en recubrimientos decorativos.
- b) Utilizado en electrónica por su conductibilidad, su resistencia a la oxidación y su soldabilidad.

4.6.7 PROPIEDADES DE LA PLATA.

TABLA Nº 4-7

PROPIEDADES FISICAS DE LA PLATA

DENSIDAD (g/cm ³)	PUNTO DE FUSION (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (VICKERS)		TEMP. LIMITE (°C)
		PLATA	PLATA DURA	
10.5	960	70	140	500

Generalidades.

Metal muy blanco y muy dúctil. Pulida su superficie posee una reflectividad muy elevada, por esto se emplea en la fabricación de espejos ópticos. Ocupa el primer lugar por su conductividad eléctrica y térmica.

Resistencia a la corrosión.

Es inoxidable por el oxígeno aún a elevadas temperaturas. Ennegrese rápidamente al aire por presencia de ácido sulfhídrico (H_2S).

Es atacado por el ácido sulfúrico concentrado y caliente. Resiste al ácido fluorhídrico y a los ácidos orgánicos.

No resiste en absoluto al ácido nítrico ni aún diluido.

Utilización.

Se utiliza en orfebrería, pero igualmente se emplea por otras propiedades tales como:

- a) Buena resistencia al frotamiento.
- b) Gran conductividad (mejora la conductividad superficial y la de los contactos).

4.6.8. PROPIEDADES DEL PLATINO.

TABLA Nº 4-8

PROPIEDADES DEL PLATINO

DENSIDAD (g/cm ³)	PUNTO DE FUSION (°C)	DUREZA DEL DEPOSITO (BRINELL)
21.5	1750	40-35

Resistencia a la corrosión.

Es inalterable al aire a altas temperaturas, no se altera por ácidos solos. No resiste al cloro, al azufre, al fósforo, al silicio ni al arsénico en caliente.

Utilización.

- a) Decoración en bisutería y joyería.
- b) Industrias eléctricas.
- c) Aplicación para las mediciones de temperatura.

CAPITULO V

**CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES
FUNDAMENTALES DEL CROMADO DURO**

CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL CROMADO DURO.

5.1 Generalidades.

Se designa con el nombre de cromado, al recubrimiento de piezas mediante una película de cromo de tonalidad azulada.

El cromado se realiza en baños de ácido crómico con ácido sulfúrico y ánodos insolubles, en cuyo electrólito el cromo se encuentra en estado hexavalente.

Mediante un electrólito de solución de ácido crómico puro no se logran depósitos galvánicos, debiendo contener iones sulfúricos para obtener un cromado.

El cromo es un elemento descubierto por Vauquelin en 1797. Desde 1848 se intentó su fijación galvánica logrando finalmente Bunsen por vía electrolítica en 1854.

Existen dos tipos de recubrimiento de cromo empleados industrialmente que se conocen como cromo duro y cromo poroso.

Una propiedad útil de los revestimientos de cromo es que no se suelda con el calor creado por la fricción.

La alta resistencia a la corrosión de los recubrimientos metálicos con cromo es útil para

reducir el desgaste bajo condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión del cromo duro es muy elevada hasta unos 800°C, temperatura a la cual comienza a oxidarse. El espesor de película que proporciona una mínima garantía contra la corrosión es 0.05 mm.

Cromado duro.

Consiste en la aplicación de un recubrimiento de gran dureza sobre superficies expuestas a intenso desgaste. Con ello se consigue un coeficiente de rozamiento mínimo (el coeficiente de deslizamiento entre acero y acero es 0.2, cromo sobre acero 0.16 y cromo sobre cromo 0.12) y se mantienen inalterables las dimensiones de piezas cromadas durante un período mayor de trabajo, prolongando la vida útil de un mecanismo.

El cromado duro se diferencia del cromado decorativo por ser el recubrimiento de un espesor notablemente mayor (0.7 micras/minuto, 0.12 micras/minuto)

Presenta la ventaja de poder ser aplicado directamente sobre el metal sin necesidad de película intermedia de cobre y níquel como lo exige el cromado decorativo.

La dureza del recubrimiento varía con la composición del electrólito, la densidad de corriente, tem-

peratura y el contenido de ácido sulfúrico (un exceso de ácido sulfúrico genera un delgado film).

5.2 CARACTERISTICAS DEL ELECTROLITO.

Los datos más importantes del baño para cromado duro se muestra en la tabla N^o 5-1. Los valores entre paréntesis son valores normales a usarse.

TABLA N^o 5-1

CARACTERISTICAS DEL ELECTROLITO Y CONDICIONES DE TRABAJO.

RANGOS DE CONCENTRACION Y DE TRABAJO.	
Acido crómico (g/l) 200-250(220)
Acido sulfúrico (g/l) 1.0-1.75(1.38)
Aditivo - EO (ml/l) 15-25 (20)
Densidad (°Bé) 18-21(19)
Temperatura (°C) 48-52 (50)
Densidad de corriente (amp/dm ²) 40-60 (50)
Velocidad de electrode- posición a 50 amp/dm ² y 50°C (micras/min.).....	0.7

FUENTE: Empresa TRAELSA COMERCIAL representante de la firma Alemana SCHLOTTER

TABLA Nº 5-2

ESPESORES OBTENIDOS A DIFERENTES TIEMPOS Y DENSIDADES DE CORRIENTES. EN EL RANGO DE 48-52°C					
DENSIDAD DE CORRIENTE (I/A)		ESPESOR (E) OBTENIDO EN UNA HORA EN MICRAS (μ)	TIEMPO (t) REQUERIDO PARA OBTENER UN ESPESOR DE 10μ (min)	EFICIEN- CIA RC (%)	DENSIDAD DE CORRIEN- TE CATO- DICA RC(I/A)
(amp/cm ²)	(amp/dm ²)				
0.3	30	22	27.22	16.3	4.89
0.4	40	30	19.19	16.7	6.68
0.5	50	40	14.99	17.8	8.90
0.6	60	50	12.02	18.5	11.10
0.7	70	67	8.95	21.3	14.91

FUENTE: Datos técnicos de la Empresa TRAEISA representante en el Perú de la firma SCHLOTTER

ESPESOR VS DENSIDAD DE CORRIENTE

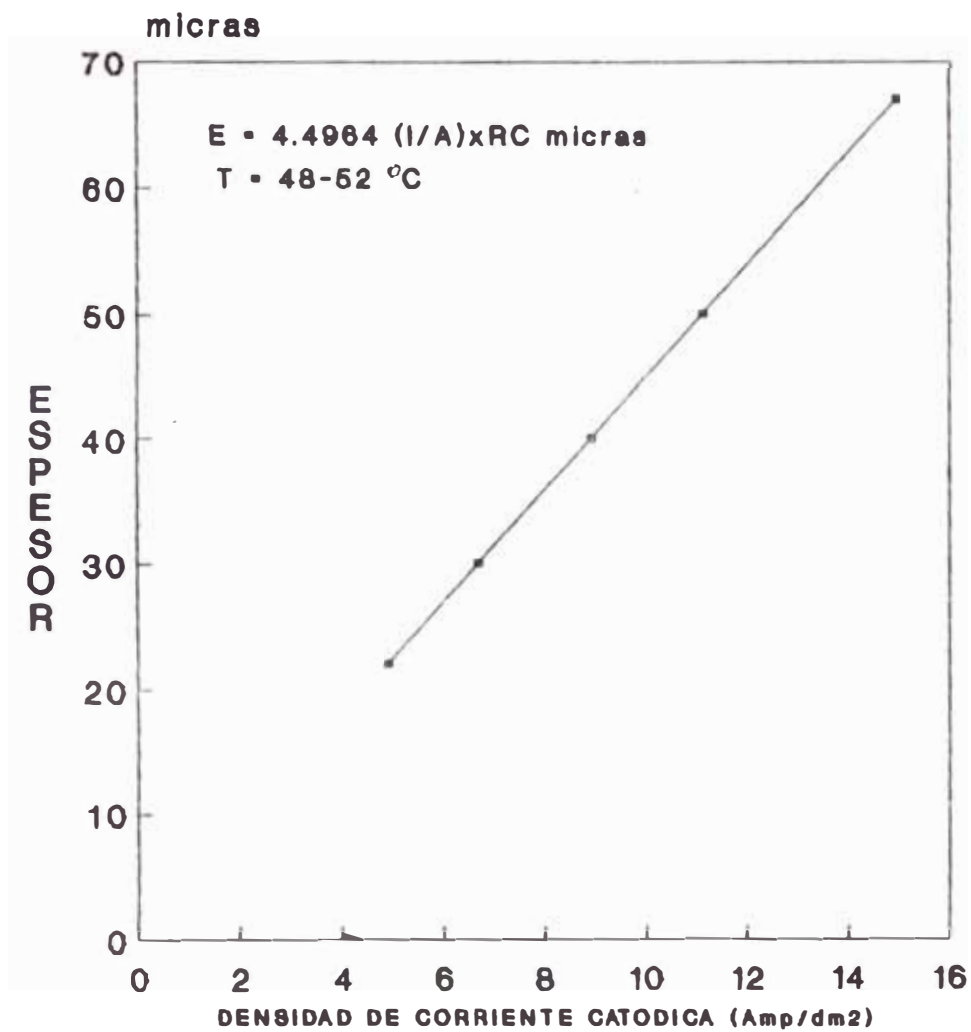
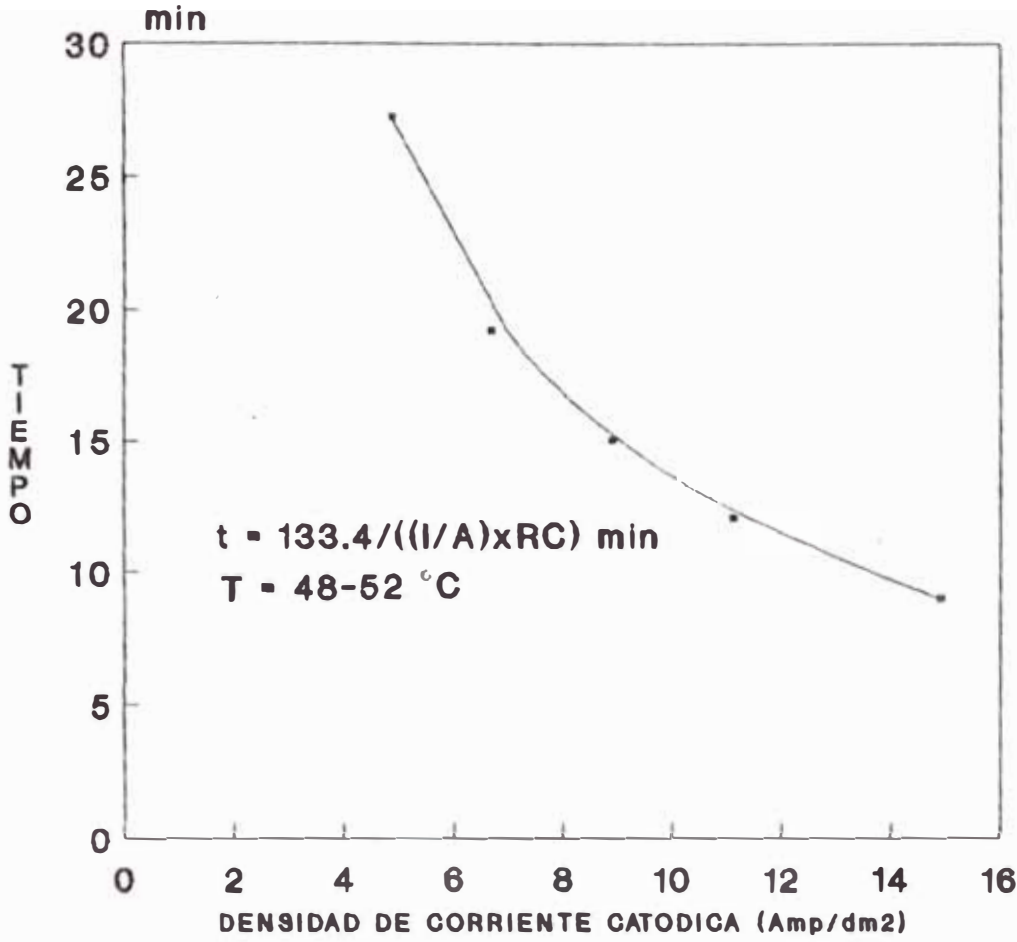


GRAFICO N° 5-1

TIEMPO vs DENSIDAD DE CORRIENTE



curva para
—•— 10 micras de espesor

GRAFICO N° 5-2

5.3 CUBA, ANODOS Y SISTEMA DE CALENTAMIENTO

5.3.1 CUBA.

La elección del material a utilizar para las cubas se basa en su resistencia a la acción corrosiva del ácido crómico. Se han usado cubas de fierro con revestimiento de plomo, pero actualmente se usan cubas de fierro con revestimiento interno de PVC.

El sistema de extracción de vapores nocivos de ácido crómico se diseña en forma tal que no afecte la operación del cromador, esto es al borde de la cuba.

5.3.2 ANODOS.

Se usan ánodos de plomo con un contenido de estaño de 4 a 7 %, también es posible utilizar plomo con 6 a 12 % de antimonio, lográndose mejores resultados con el primero. No se recomienda ánodos de plomo puro por ser rápidamente atacados por el electrolito precipitándose cromato de plomo. Este ánodo tiene la propiedad de convertir el cromo trivalente a hexavalente formado durante la electrólisis.

La superficie anódica debe ser igual a la catódica, pudiendo llegar a ser el doble.

Los ánodos de plomo se recubren rápidamente de una película de dióxido de plomo (PbO_2) que favorece la reoxidación del cromo trivalente.

Los ánodos tienen un espesor variable de 6 a 12 mm y su longitud dependerá de las circunstancias.

El reducido poder penetrante del baño de cromado obliga el uso de ánodos auxiliares.

5.3.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El calentamiento de la solución se realiza con calentadores de acero revestidos con plomo.

Como el electrólito tiende a calentarse durante el trabajo por el bajo rendimiento catódico, es necesario utilizar un sistema de enfriamiento para mantener la temperatura del baño en el rango recomendado (48-52°C).

5.4 PRACTICA OPERATORIA.

Resultaría inútil poner en servicio una pieza cromada cuyo estado superficial no respondiese a las condiciones de trabajo a los que debe hacer frente, cuyas dimensiones no satisficieran las medidas que les han sido asignadas, a las tolerancias aproximadas que les han sido impuestas y, finalmente que el revestimiento tuviera un espesor más o menos caprichoso en lugar de ajustarse estrictamente en todos sus puntos al que se estimó adecuado conferirle. Las piezas a cromar frecuentemente, se presentan con escorias, residuos de aceites y grasas; y por ello es necesario

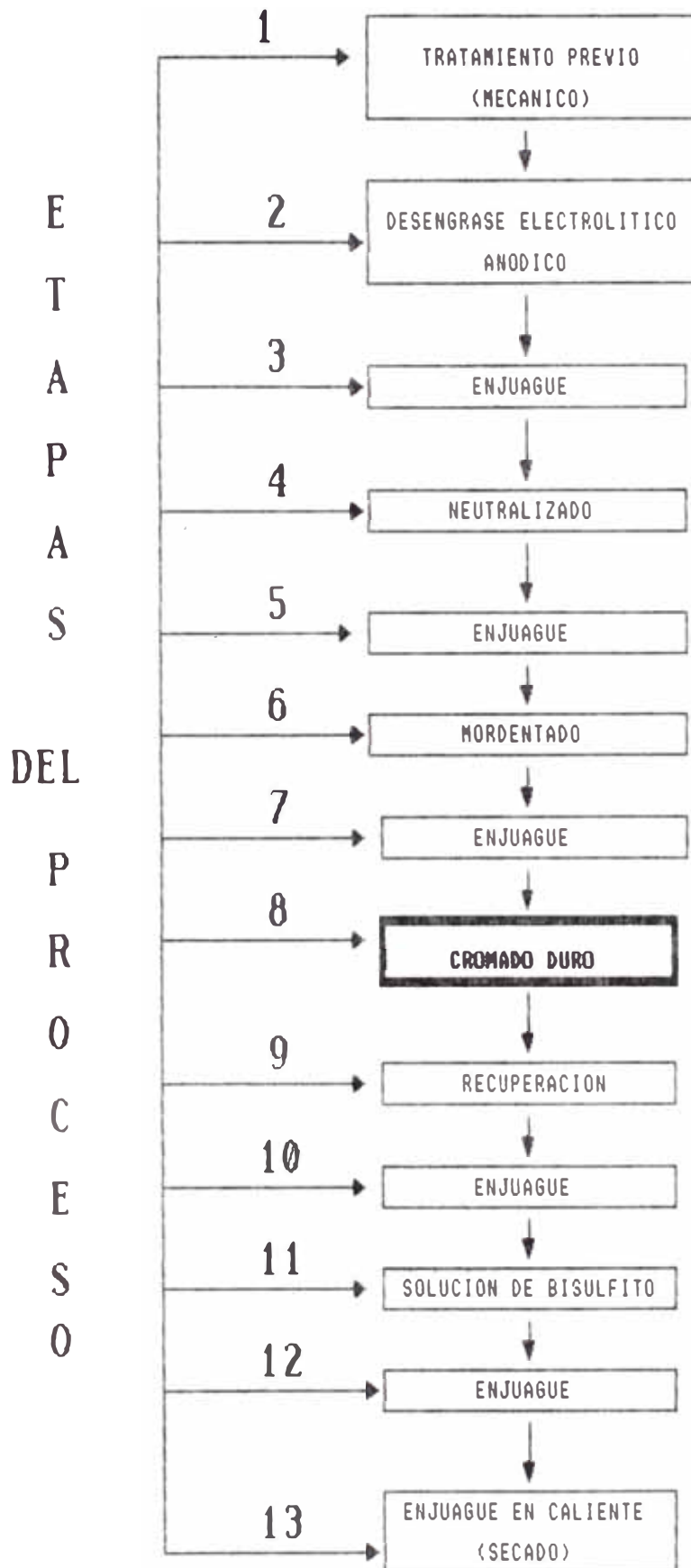
realizar algunas operaciones mecánicas previas. Uno de los inconvenientes que el baño de cromado tiene para todo operario es su reducido poder penetrante y eso obliga a prestar particular atención a la ubicación de las piezas dentro del baño, de modo que la deposición del cromo tenga lugar uniformemente para lo cuál se podrá hacer uso de ánodos auxiliares. Por la alta densidad ampérica requerida debe cuidarse que existan grandes superficies de contacto.

A la salida del cromado, generalmente, la pieza deberá contar con un revestimiento cuyo espesor sobrepase al que haya de tener después de acabada en una cantidad a la vez necesaria y suficiente para que puedan obtenerse las cotas asignadas sin inconvenientes de ningún tipo.

Para efectos de reparación de mecanismos desgastados por encima de la tolerancia máxima, mediante laboreo mecánico se rectifica el desgaste anormal y el recubrimiento galvánico restituye la medida de la pieza a su valor original dejándole un ligero exceso para que el rectificado final lo deje a la medida conveniente.

5.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO

(PARA ACEROS)



5.4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO.

ETAPA - 1 : Los inconvenientes que con más frecuencia se presentan, son los residuos de escorias, óxidos, aceites y grasas adheridas a las piezas; y por ello es necesario realizar algunas operaciones mecánicas como pulido, desbastado o lavado con gasolina, según sea el caso.

ETAPA - 2 : Desengrase electrolítico anódico.

Objetivo.- Eliminar residuos de grasa.

TABLA Nº 5-3

DESENGRASE ELECTROLITICO ANODICO

COMPOSICION DEL ELECTROLITO	RANGOS DE TRABAJO	CUBA Y ANODOS
- Sal DCN (g/l) : 50 - Sosa caustica (g/l) :100	- Amp/dm ² : 8-12 - Temp (°C) : 16-25 - Tiempo (min) : 2-3	-Cuba: de acero -Como anodos planchas de acero.

ETAPA - 3: ENJUAGUE.

Objetivo: Eliminar restos de la solución de desengrase

CUADRO N^o 5-4**ENJUAGUE DEL DESENGRASE**

SOLUCION	RANGOS DE TRABAJO	CUBA
- Agua potable.	- Por inmersión. - Temp.(°C):18-25. - tiempo(s): 5-10	-Cuba de acero.

ETAPA - 4 : Neutralizado.

Objetivo: Neutralizar los restos de la solución de desengrase.

CUADRO N^o 5-5**NEUTRALIZADO**

SOLUCION	RANGOS DE TRABAJO	CUBA
- H2504 (g/l) : 100-200	-Por inmersión -Temp.(°C) :18-25 -tiempo (s) :5-10	-Cuba de acero con revestimiento de FVC.

ETAPA -5 :ENJUAGUE.

Objetivo: Eliminar los restos de ácido.

CUADRO Nº 5-6.

ENJUAGUE

SOLUCION	RANGOS DE TRABAJO	CUBA
- Agua potable.	-Por inmersión -Temp.(°C) : 18-25 -tiempo(s) : 5-10	Cuba de acero con revestimiento de PVC.

ETAPA -6 :Mordentado.

Objetivo: Atacar anódicamente a la pieza con la finalidad de originar porosidades en la superficie que permitan una mejor adherencia del recubrimiento.

CUADRO Nº 5-7

MORDENTADO

ELECTROLITO	RANGOS DE TRABAJO	CUBA y CATODOS
Hc. cromoico (g/l) : 100-150 Ác. sulfúrico(ml/l) : 0.8	-Amp/dm ² : 40-70 -Temp.(°C) : 18-25 -Tiempo (min) : 1-2	-Cuba de acero con revestimiento de PVC. -Cátodo de plomo con 6-7% Sn.

ETAPA - 7 : ENJUAGUE.

Objetivo: Eliminar parte de la solución de mordentado.

(ver cuadro N^o 5-4)

ETAPA -8 :Cromado duro.

Objetivo : Cubrir a la pieza de una capa de cromo de alta dureza.

CUADRO N^o 5-8**CROMADO DURO**

ELECTROLITO	RANGOS DE TRABAJO	CUBA Y ANODOS
CrO ₃ (g/l) : 220	-Amp/dm ² . : 40-60	- Cuba de acero con revestimiento de PVC.
H ₂ SO ₄ (g/l) : 1.38	-Temp.(°C) : 48-52	- Anodos de plomo 6-7 % Sn.
aditivo E0(mi/l) : 20	-Tiempo (μ/min): 0.7	

Sistema de calentamiento : Calentadores de acero revestidos con plomo.

Accesorios : Sistema de extracción de vapores de ácido crómico.

ETAPA -9 : RECUPERACION.

Objetivo : Eliminar parte de la solución de cromado duro.

CUADRO N^o 5-9**RECUPERACION**

SOLUCION	RANGOS DE TRABAJO	CUBA
- Agua potable (para recupera- cion de cromo)	- Por inmersión - Temp. (°C) : 18-25 - tiempo (s) : 5-10	Cuba de acero con revestimiento de PVC.

ETAPA - 10 : ENJUAGUE.

Objetivo : Eliminar restos de solución de cromado duro.

(Ver CUADRO N^o 5-4)

ETAPA -11 : SOLUCION DE BISULFITO DE SODIO.

Objetivo : Neutralizar restos de ácido crómico que los enjuagues no hayan podido retirar.

CUADRO N^o 5-10
SOLUCION DE BISULFITO DE SODIO

SOLUCION	RANGOS DE TRABAJO	CUBA
Bisulfito de sodio (g/l) :50-100	- Por inmersión - Temp.(°C) : 18-25 - tiempo (s) : 5-10	-Cuba de acero con re- vestimiento de PVC.

ETAPA - 12 : ENJUAGUE.

Objetivo : Eliminar restos de solución de bisulfito de sodio.

(Ver CUADRO N^o 5-4)

ETAPA - 13 : SECADO.

Objetivo : Eliminar restos de solución del baño anterior.

5.4.3 ALGUNAS FORMAS DE UBICAR PIEZAS EN EL BAÑO

En general se fija la pieza a un soporte catódico mediante ganchos o gancheras que dependen de la forma y tamaño de las piezas.

Las piezas huecas se deben ubicar en forma tal que no permita la acumulación de gases. (Fig. N°5-3).

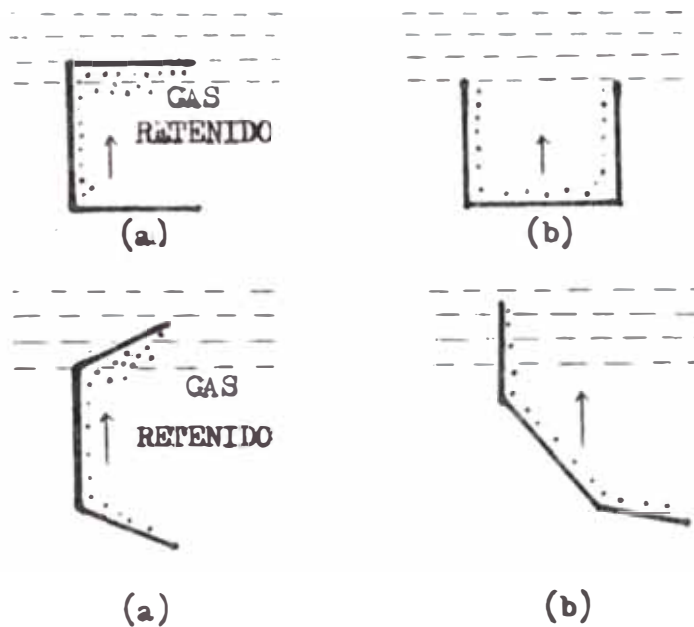


Fig. N° 5-3 Ubicación de piezas en el baño

a) posición incorrecta

b) posición correcta

Cuando se recubren piezas que tienen superficies irregulares, es frecuente comprobar que en determinados sitios no se logra el espesor deseado y en otros no se produce la electrodeposición. Estos inconvenientes se logran superar utilizando ánodos auxiliares donde la electrodeposición es pobre.

En algunos casos es necesario utilizar cátodos auxiliares para evitar quemaduras en los bordes de la piezas (Fig. N° 5-4).

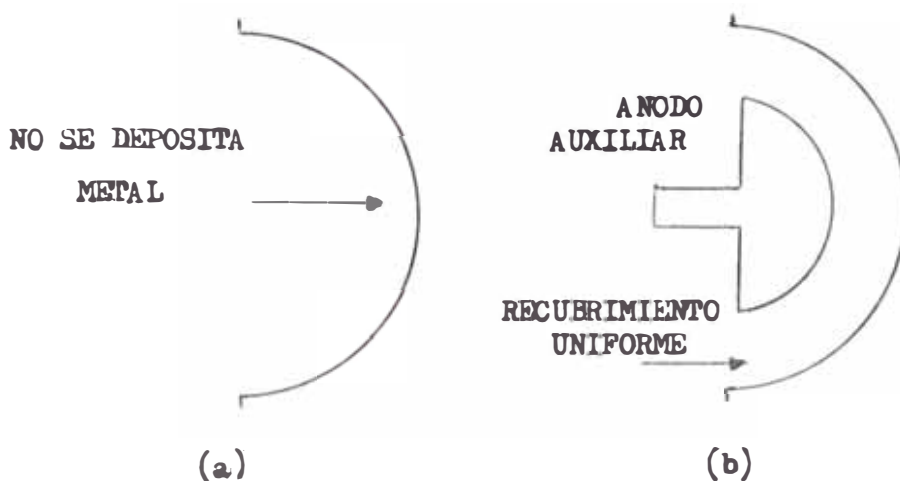


Fig. N° 5-4 a) Recubrimiento defectuoso
b) Recubrimiento correcto

5.4.4 RECTIFICADO DEL CROMADO.

A la salida del cromado, la pieza deberá contar con un revestimiento cuyo espesor sobrepase al que haya de tener después de acabada en una cantidad a la vez necesaria y suficiente para que puedan tener las cotas asignadas sin inconvenientes de ningún tipo.

La suavidad de rozamiento del cromo y por tanto la resistencia que ofrecerá al desgaste, el retraso al desgaste de la pieza en cuestión y la duración del mecanismo interesado, dependen ante todo del estado superficial obtenido.

EL pulido final de la pieza sometida a cromado

duro es efectuado con piedras esmeriles de grano 60,80 y 120 y con una velocidad periférica de 15-20 m/s.

5.5 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS REVESTI MIENTOS DE CROMADO DURO.

5.5.1. FISONOMIA DEL REVESTIMIENTO BRUTO DEL DEPOSITO.

Generalidades.- Es preciso indicar que los revestimientos no se amoldan con perfecta regularidad al perfil que recubren, es decir, que el espesor del recubrimiento metálico no es uniforme a través de toda la superficie del metal base (ver cap. 6.6.1).

Las desviaciones resultan débiles cuando lo es el espesor del revestimiento, haciéndose importantes cuando aumenta dicho espesor. Es posible contrarrestarlas por medio de elementos auxiliares (ánodos); sin embargo; jamás se anulan.

Función general de la curvatura.- En las zonas convexas existe un acrecentamiento del espesor del revestimiento y disminuye en las zonas cóncavas (Fig. N^o 5-5).

Aristas muy obtusas.- En este caso, si el radio de curvatura es nulo y la superficie casi plana, sólo se produce un ligero incremento del espesor.

Cuanto menos obtuso sea el diedro formado por las dos caras adyacentes, más se acentúa el espesor del revestimiento (Fig. N^o 5-6).

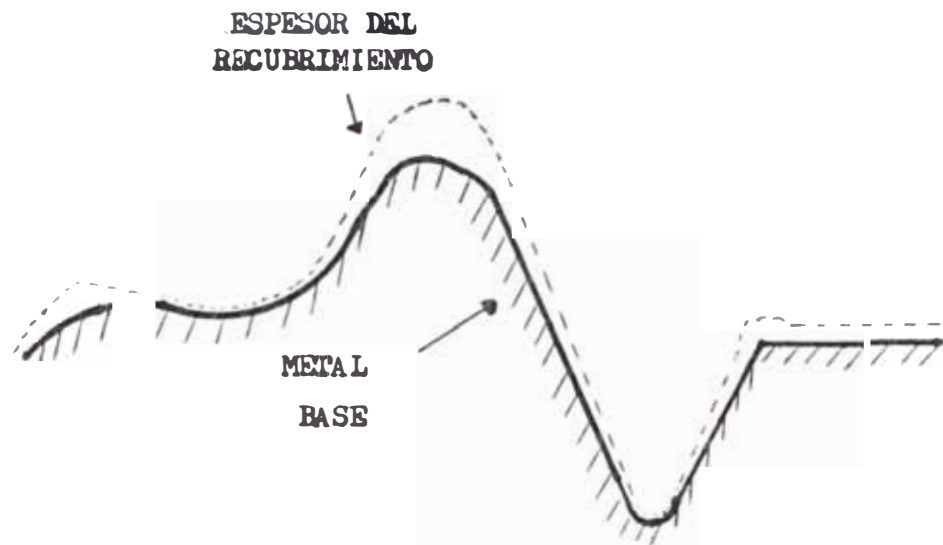


Fig. N° 5-5 Representa el perfil de una superficie afectada por diversas convexidades y concavidades y la variedad de espesores.

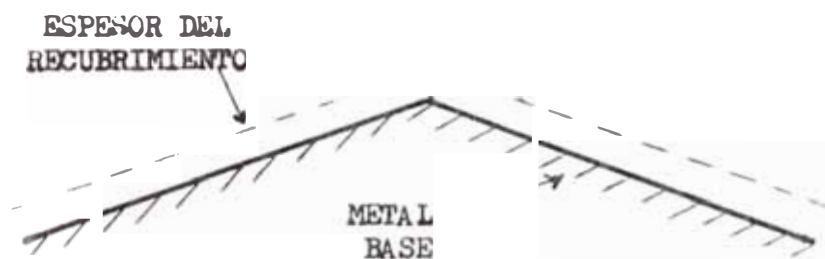


Fig. N° 5-6 Representa el perfil de un diedro sin radio de curvatura y el aumento del espesor en la zona del ángulo.

Angulos entrantes.- En el caso de un ángulo recto, el espesor se acerca a cero o incluso llega a anularse (Fig. N° 5-7).

En el caso de un ángulo muy agudo el revestimiento no llega al fondo (Fig. N° 5-8).

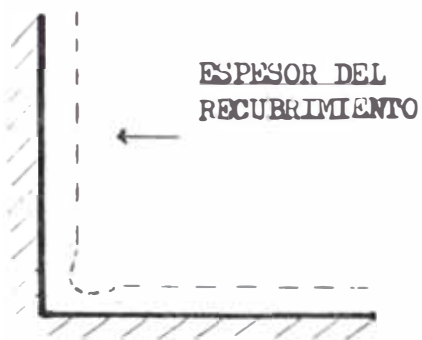


Fig. N 5-7

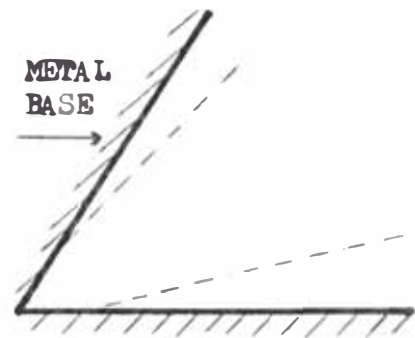


Fig. N° 5-8

Superficies planas.- El espesor del revestimiento se distribuye de manera regular sobre la mayor parte de la superficie y se abomba sobre los bordes con curvatura (Fig. N° 5-9).

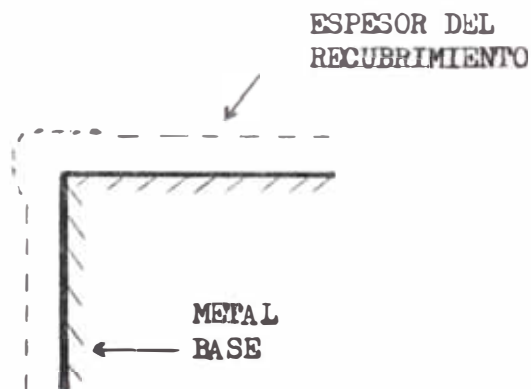


Fig. N° 5-9

5.5.2 DUREZA.

En la escala que se le atribuye típicamente, se sitúa, en la manera lógica, por encima del cuarzo. Su dureza, es pues, considerable. Se estima en las escalas más corrientes, en unas 68 unidades Rockwell o 900 a 1000 unidades Vickers, o finalmente a título de equivalencia, entre 750 y 760 unidades Brinell (Ver Apéndice 4).

5.5.3 POROSIDAD.

Porosidad es el conjunto de estriás, huecos y depresiones que presenta un recubrimiento metálico.

La medida de la porosidad de una superficie cromada significa conocer que relación existe entre las superficies planas y los poros, depresiones, grietas, etc.. Con iluminación vertical las depresiones no reflejan la luz, en tanto que las planas (mesetas microscópicas) lo hacen en forma intensa por poseer elevado poder reflexivo.

5.5.4. RESISTENCIA AL DESGASTE.

El cromo presenta una gran resistencia al desgaste. Esta resistencia representa, en servicio corriente, de 10 a 12 veces la de los aceros de herramientas al cromo níquel, e incluso más de 4 a 5 veces al del acero nitrurado.

El cromo se opone igualmente a los efectos de

erosión o cavitación provocados por los fluidos líquidos o gaseosos animados de gran velocidad. Es frecuente la tendencia a preocuparse únicamente de la dureza, en la persuasión de que mejor se previene el desgaste cuanto más se aumente aquella, lo cual es erróneo. La prueba está en que si se hace que el cromo adquiera una dureza en exceso de determinado valor, su resistencia al desgaste, lejos de mejorar, comienza a decrecer. La dureza que es clásico conferirle, es justo aquella en la que la citada resistencia al desgaste alcanza su máximo (ver apéndice 3).

5.5.5. RESISTENCIA A LA CORROSION.

El cromo permanece insensible ante un elevado número de elementos agresivos, tales por ejemplo, los ácidos contenidos en ciertos lubricantes o elementos que puedan existir en los carburantes o aparecen debido a su combustión.

5.5.6. ADHERENCIA DEL LUBRICANTE.

El cromo retiene perfectamente el lubricante e incluso mejor que el acero o la fundición. La tensión de adherencia de uno sobre otro, expresada en dinas, es por lo menos tan elevada, sino más, para un lubricante dado cuando está en contacto con el cromo, que cuando lo está con el acero o la fundición (ver apéndice 6).

5.6 ESPESORES QUE DEBEN CONFERIRSE AL REVESTIMIENTO

Los valores dados a continuación no deben tomarse sino como simple orientación del orden de magnitud recomendable en diversos casos y que, de hecho se admite en general.

CUADRO N^o 5-11

ESPESORES RECOMENDADOS

PIEZA	ESPESOR (mm)
Cilindros para laminación de metales	0.10 a 0.25
Cilindros para la fabricación de papel	0.05 a 0.10
Cilindros para la estampación de tejidos	0.03 a 0.08
Moldes para el prensado de plásticos	0.005 a 0.05
Cigüeñales para motores Diesel	0.20 a 0.40
Cilindros de motores de explosión rectificado	0.10 a 0.13
Cromado contra corrosión	0.05 a 0.10
Tornillos sin fin	0.03 a 0.10
Matrices y punzones de cortar	0.005 a 0.01
Matrices y punzones de estampar	0.01 a 0.08

5.7 DEFECTOS DEL CROMADO DURO

CUADRO Nº 5-12

DEFECTOS DEL CROMADO DURO

DEFECTO	CAUSA	CORRECCION
Depósitos con manchas marrones e iridiscentes.	Defecto en el contenido de ácido sulfúrico.	Adicionar ácido sulfúrico aprox. 0.2 ml/l.
Adherencia imperfecta.	Presencia de grasa y/o restos de óxido en el material.	Verificar el desengrase y decapado.
Recubrimiento irregular desnudo en partes.	Exceso en el contenido de ácido sulfúrico.	Adicionar sal de corrección.
Recubrimiento débil y opaco.	Defecto en el contenido del aditivo.	Adicionar aditivo aprox. 2-10 ml/l.

CAPITULO VI

PARTE EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

6.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Desarrollar experimentalmente la técnica del recubrimiento electrolítico del cromado duro a nivel de planta piloto.

6.2 MATERIALES REQUERIDOS.

6.2.1 PRODUCTOS QUIMICOS.

- Anhidrido crómico
- Acido sulfúrico
- Aditivo EO
- Bisulfito de sodio
- Desengrasante DCM
- Soda caústica

6.2.2 ESPECIFICACION DE LOS EQUIPOS.

CUADRO Nº 6-1

EQUIPOS USADOS

EQUIPO	ESPECIFICACIONES TECNICAS
Rectificador de corriente	60 Amp., 15 Volt marca: Pro-craft, Americano
Balanza analítica	Máx. 160 g (con apróx. 0.0001 g) Marca : Sartorius
Compresora de aire	Potencia: 200 Watt

6.2.3 ACCESORIOS

CUADRO N^o 6-2

ACCESORIOS.	DESCRIPCION
Micrómetro	Medidor de capa AUTO CHECK Rango de medida: 0 -2000µ Error: 3%
Fistola de soldar plástico	Marca ZINSER T(°C) = 0 -600 Potencia : 630 W
Calentador	De acero inoxidable Potencia : 0.8 kw.
Anodos	De plomo con 6% Sn 6 barras de 200x50x5 mm
Termómetro	De vidrio , T(°C) = 0-100
Multitester	Marca: SANWA Tipo : YX-360 TRS
Guías de corriente	Barras exagonales de bronce Longitud : 3.5 m, Diámetro:10 mm
Gancheras	De bronce con pasadores de acero
Cubas de PVC	02 cubas de 320x200x200 mm 02 cubas de 580x250x180 mm 01 cuba de 580x290x140 mm 01 cuba de 580x150x160 mm 01 cuba de 580x250x180 mm 03 cubas de 340x340x150 mm

6.3 DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO.

Las pruebas a efectuarse se desarrollarán utilizándose como cátodos planchas de fierro de 70x71 mm, lo cual hace un área expuesta de $99.4 \text{ cm}^2 \approx 1 \text{ dm}^2$

I.- Para determinar las características del electrolito:

a) Se estudiará el efecto del contenido de ácido crómico con tres pruebas (cuadro N^o 6-3).

En la primera se trabajará con un electrolito que contenga 158 g/l de ácido crómico, en la segunda 220 g/l y en la tercera 350 g/l.

(a) Se mantendrá constante el contenido de ácido sulfúrico (0.7 ml/l) y del aditivo EO (20 ml/l).

b) El efecto del contenido de ácido sulfúrico se evaluará con tres pruebas (cuadro N^o 6-4).
Con 0, 0.7 y 2.7 ml/l de ácido sulfúrico.

(β) Se mantendrá constante el contenido de ácido crómico (220 g/l) y del aditivo EO (20 ml/l).

c) Para determinar el contenido adecuado del aditivo se desarrollarán las pruebas siguientes:

Con 0, 10, 20, 30 y 40 ml/l del aditivo EO (cuadro N^o 6-5).

(σ) Se mantendrá constante el contenido de ácido crómico (220 g/l) y del ácido sulfúrico (0.7 ml/l).

11.- Para determinar la densidad de corriente de trabajo :

Se efectuará el cromado a densidades de corriente de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 Amp/dm² y a tiempos de 30, 60, 90 y 120 min. (cuadros N^o 6-6 al 6-11)

(8) Características del electrólito:

- 220 g/l ácido crómico
- 0.7 ml/l ácido sulfúrico
- 20 ml/l aditivo EO.

* Todas las pruebas a efectuarse serán desarrolladas a temperatura constante de 48-52 °C.

6.4 DATOS EXPERIMENTALES

PARAMETROS FIJADOS

T = 48-52°C

A = 99.4 cm² (área a recu-
brir)

CUADRO N° 6-3

DATOS EXPERIMENTALES N° 1				
EFECTO DEL CONTENIDO DEL ACIDO CROMICO				
PARAMETROS FIJADOS				
I= 50 Amp t= 30 min				
PRUEBA n	VOLTAJE OBTENIDO (volt)	ACIDO CROMICO (g/l)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (W ₀)	final (W _f)
1	9.0	158	12.7600	13.9210
2	6.5	220	12.8269	13.6390
3	6.0	350	12.6015	13.2500

(a)

CUADRO N° 6-4

DATOS EXPERIMENTALES N° 2			
EFECTO DEL CONTENIDO DE ACIDO SULFURICO			
PARAMETROS FIJADOS			
I= 50 Amp. t= 30 min			
PRUEBA	ACIDO SULFURICO (m/l)	PESO DE LA PROBETA (g)	
		inicial (W ₀)	final (W _f)
1	0.0	12.6580	13.1870
	0.7	12.8269	13.6390
3	2.7	12.7200	13.2931

(B)

CUADRO N° 6-5

DATOS EXPERIMENTALES N° 3				
EFECTO DEL ADITIVO EO				
PARAMETROS FIJADOS				
I= 50 Amp. t= 30 min				
PRUEBA n	VOLTAJE OBTENIDO (volt)	ADITIVO EO (ml/l)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (Wo)	final (Wf)
1	8.5	0.	12.6570	13.3145
2	8.0	10.	12.6606	13.3885
3	6.5	20	12.8269	13.6390
4	8.0	30	12.3245	13.1038
5	8.5	40	12.2390	12.9854

(σ)

CUADRO N^o 6-6

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 4				
PARAMETRO FIJADO I = 10 amp				
PRUEBA n	TIEMPO t(min)	VOLTAJE (Volt)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (Wo)	final (Wf)
1	30	4	12.7904	12.9460
2	60	4	12.7084	13.0668
3	90	4	12.7627	13.3513
4	120	4	12.7386	13.5107

(8)

CUADRO N^o 6-7

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 5				
PARAMETRO FIJADO I = 20 Amp.				
PRUEBA n	TIEMPO t(min)	VOLTAJE (Volt)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (Wo)	final (Wf)
1	30	4.5	12.4305	12.7618
2	60	4.5	12.5691	13.2596
3	90	4.5	12.8260	13.8990
4	120	4.5	12.7155	14.2239

(8)

CUADRO N^o 6-8

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 6				
PARAMETRO FIJADO				
I = 30 Amp.				
PRUEBA	TIEMPO t(min)	VOLTAJE (Volt)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (Wo)	final (Wf)
1	30	5	12.4029	12.9375
2	60	5	12.6108	13.5665
3	90	5	12.6156	14.0654
4	120	5	12.6572	14.5430

(8)

CUADRO N^o 6-9

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 7				
PARAMETRO FIJADO				
I = 40 Amp.				
PRUEBA n	TIEMPO t(min)	VOLTAJE (Volt)	PESO DE LA PROBETA (g)	
			inicial (Wo)	final (Wf)
1	30	6	12.0292	12.6310
2	60	6	12.4439	13.6231
3	90	6	12.6834	14.5696
4	120	6	12.7481	15.2253

(8)

CUADRO N^o 6-10

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 8					
PARAMETRO FIJADO					
I = 50 Amp.					
PRUEBA	TIEMPO	VOLTAJE	PESO DE LA PROBETA (g)		
			n	t(min)	(Volt)
1	30	6.5		12.8269	13.6390
	60	6.5		12.7240	14.2873
2	90	6.5		12.7651	14.9586
4	120	6.5		12.0702	15.0154

(8)

CUADRO N^o 6-11

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 9					
PARAMETRO FIJADO					
I = 60 Amp.					
PRUEBA	TIEMPO	VOLTAJE	PESO DE LA PROBETA (g)		
			n	t(min)	(Volt)
1	30	7		12.7723	13.6514
2		7		12.6640	14.3513
3	90			12.1771	14.5370
4	120	7		12.7831	15.9302

(9)

CUADRO N^o 6-12

DATOS EXPERIMENTALES N ^o 10					
RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES DIVERSAS					
PARAMETRO FIJADO I= 50 Amp.					
PRUEBA	TIEMPO	SUPERFICIE	INTENSIDAD	PESO DE LA PIEZA (g)	
n	t(min)	CROMADA	DE	inicial	final
		(dm ²)	CORRIENTE	W _o	W _f
			(Amp)		
1	60	0.54	27	44.3300	45.3751
2	90	0.68	34	9.0178	17.6635
3	120	0.34	17	59.2612	61.0795

(8)

CAPITULO VII

EVALUACION ECONOMICA

EVALUACION ECONOMICA

7.1 ESCALAMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO DE 17.5 A 200 LITROS.

Consideraciones :

- 1.- Capacidad de los tanques : 200 lt. efectivos
- 2.- Sistema de producción : Por lotes
- 3.- Area a recubrir por lote : 15 dm²
- 4.- Espesor del recubrimiento : 25 micras (Apéndice 4)
- 5.- Rendimiento de corriente catódica : RC = 10 %
- 6.- Horas de trabajo y área a recubrir por día :
 - a) 9 horas/día
 - b) 20 días/mes
 - c) Lotes/día = 7
 - d) Area a recubrir/día = 105 dm²

CUADRO N^o 7-1
EQUIPOS REQUERIDOS

EQUIPOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	PRECIO (\$)
Rectificador de corriente	- capacidad : 1000Amp - Voltaje : 0-15 Volt.	5000.00
Compresora de Aire	- Presión: 25 lb - Conexión trifásica	400 .00
Sistema de pulido	- Potencia de motor : 5 CV. - Con chumacera para 2 discos	350.00
Calentador	- Potencia : 2kw - De acero inoxidable forrado con plomo.	200.00
Guías de corriente	- Platinas de cobre. - Long : 18 m-60kg.	400.00
Cubas	- 2 Cubas de acero sin revestimiento - 9 Cubas de acero con revestimiento de PVC.	4500.00
Ánodos	-16 Barras de Pb-6% de Sn de 650x70x5 mm, 106 Kg. -2 Planchas de acero inoxidable.	1300.00
Otros	- Medidor de capa, densímetro. - Multímetro, Termómetro etc.	850.00
		13000.00

CUADRO N^o 7-2
INVENTARIO DE MATERIA PRIMA.

MATERIA PRIMA	Kg	PRECIO (\$)
- Discos y pasta para pulir	---	139.02
- Gasolina (6l).	20	32.40
- Agua potable (m ³).	61	27.00
- Acido sulfurico.	21	34.24
- Desengrasante DCM.	10	107.00
- Soda Caústica.	20	50.20
- Acido Crómico.	74	468.42
- Aditivo EO.	4	221.72
- Bisulfito de sodio.	20	20.00
		1100.00

CUADRO N^o 7-3
MATERIA PRIMA.

MATERIA PRIMA	Kg	PRECIO (\$)
- Discos y pasta para pulir	---	139.02
- Gasolina (6l).	20	32.40
- Acido sulfurico.	6	10.12
- Desengrasante DCM.	2	21.40
- Soda caustica.	4	10.04
- Acido Crómico.	10	63.30
- Aditivo EO.	4	221.72
- Bisulfito de sodio.	2	2.00
		500.00

CUADRO N° 7-4

CONSUMO DE ENERGIA ANUAL.

BAÑO	CORRIENTE UTILIZADA	ENERGIA REQUERIDA	PRECIO (\$)
	Amp/año	Kwh/año	
- Desengrase.	36,000	100	6.00
- Mordentado	144,000	233	14.00
- Cromado.	216,000	12000	720.00
- Otros (*)	-----	2500	150.00
			890.00

(*) Pulidora y compresora

CUADRO N^o 7-5

ESTIMACION DE LA INVERSION DE CAPITAL FIJO

COSTOS DIRECTOS	COSTO (\$)
- Equipos	13000.00
- Instalación de los equipos, instrumentación e instalaciones eléctricas	3000.00
COSTO DIRECTO TOTAL	16000.00

COSTOS INDIRECTOS	COSTO (\$)
- Ingeniería y supervisión	230.00
- Eventuales	50.00
COSTO INDIRECTO TOTAL	280.00

INVERSION DE CAPITAL FIJO	16280.00
----------------------------------	-----------------

CAPITAL DE TRABAJO	COSTO (\$)
- inventario de materia prima	1100.00
CAPITAL DE TRABAJO TOTAL	1100.00

INVERSION TOTAL DE CAPITAL	17380.00
-----------------------------------	-----------------

CUADRO Nº 7-6

COSTO DE PRODUCCION
(\$/AÑO)

COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION	COSTOS (\$)
- Materia prima	6000.00
- Mano de obra	1440.00
- Servicios (electricidad y agua)	1214.00
- Mantenimiento y reparación	240.00
- Gastos de laboratorio	800.00
COSTO DIRECTO TOTAL DE PRODUCCION	9694.00

GASTOS FIJOS	COSTO (\$)
- Depreciación (30 % C.F.)	4884.00
- Impuestos (propiedad inmueble)	240.00
- Seguros	168.00
GASTO FIJO TOTAL	5292.00

GASTOS GENERALES	COSTO (\$)
- Gasto general (50 % M.O.)	720.00
GASTO GENERAL TOTAL	720.00

COSTO DE FABRICACION	15706.00
-----------------------------	-----------------

GASTOS DE ADMINISTRACION	COSTO (\$)
- Salario del personal administrativo	1440.00
- Comunicaciones	360.00
GASTO DE ADMINISTRACION TOTAL	1800.00

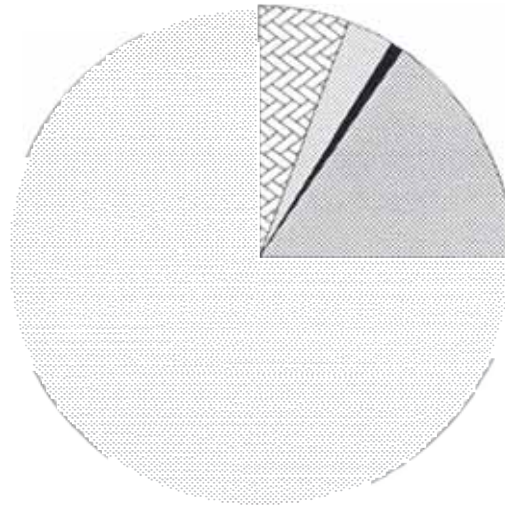
COSTO TOTAL DEL PRODUCTO 17506.00

COSTO TOTAL DEL PRODUCTO = 17506.00 \$/año

PRODUCCION = 25200 dm²/año

COSTO DIRECTO DE PRODUCCION = 0.69 \$/dm²

ESTIMACION DE LA INVERSION DE CAPITAL FIJO



75% Equipos



17% Instalación de los Equipos



6% Inventario de Materia Prima

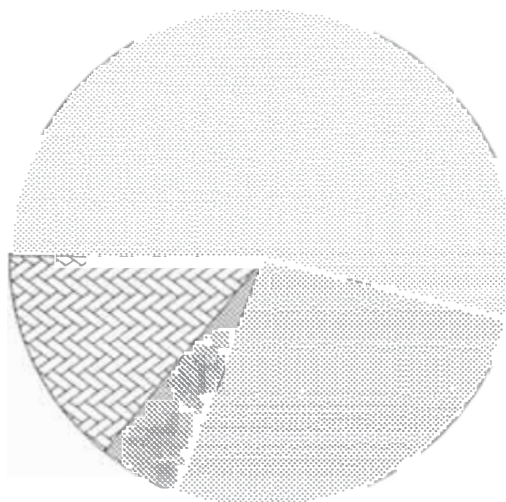


1.3% Ingeniería y Supervisión



0.3% Eventuales

COSTO DE PRODUCCION



55% Costo directo total de producción



30% Gasto fijo total



10% Gasto de administración total



4% Gasto general total

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 GENERALES

1.- Un aumento en el contenido de ácido crómico sobre valores de 158 g/l, provoca una disminución del rendimiento de corriente y si bien es cierto que con ésta concentración se obtiene una alta eficiencia (RC = 14.36 %), industrialmente éste valor no sería recomendable porque el electrólito sufriría un rápido empobrecimiento de cromo. Por lo tanto, concluimos que, un rango de trabajo recomendable es de 200-250 g/l de ácido crómico (ver apéndice N°1 - cuadro N° AP1-1).

2.- Al variar los contenidos de ácido sulfúrico en el electrólito, se observa que el mayor rendimiento catódico (RC=10.05 %) se obtiene con 0.7 ml/l. Esto es, la relación óptima entre el ácido sulfúrico y el ácido crómico es de 0.006 (ver apéndice N°1 - cuadro N° AP1-2).

3.- Valores inferiores y superiores a 20 ml/l en el contenido del aditivo EÜ, provocan una disminución en el rendimiento e corriente. Por lo tanto, se concluye que el porcentaje adecuado de aditivo EÜ respecto del ácido crómico es aproximadamente 10% (ver apéndice N°1 - cuadro N° AP1-3).

4.- De los resultados de los experimentos N^o 1,2 y 3 se determina que la composición más adecuada del electrolito es :

- 220 g/l de ácido crómico.
- 0.7 ml/l de ácido sulfúrico y
- 20 ml/l de aditivo EO.

5.- Efectuando el cromado a diferentes densidades de corriente, se obtuvo el mayor espesor de capa a 60 Amp/dm², pero el rendimiento de corriente descendió respecto del que se obtuvo a 50 Amp/dm² resultando además un recubrimiento grosero en los bordes de la probeta, lo cual indicaba que la densidad de corriente aplicada era elevada para éste tipo de artículo; mientras que con 50 Amp/dm² el recubrimiento resultaba más uniforme. Por lo tanto, se recomienda como valor promedio de trabajo 50 Amp/dm² (ver apéndice N^o1 - cuadros N^o AP1-4 al AP1-9).

6.- En las zonas concavas y ángulos muy agudos el revestimiento es muy pobre debido al bajo rendimiento de baño, por eso el uso de ánodos auxiliares (ver Fig. N^o AP1-2).

8.2 PARTICULARES

1.- El bajo voltaje obtenido (6.5 Vol) con 20 ml/l de

aditivo, nos muestra el poder despolarizante que proporciona al electrolito (ver Graf. N^o AP1-3b).

2.- El voltaje se incrementa a medida que se incrementa la densidad de corriente (ver cuadros del 6-6 al 6-11).

3.- En el recubrimiento de superficies diversas, se evidencia la función de la curvatura pues, existe un acrecentamiento del espesor del recubrimiento en las zonas cóncavas y en los bordes con curvatura (ver Fig. N^o AP1-2).

4.- A medida que se incrementa la densidad de corriente, para un mismo tiempo de electrodeposición, hay un aumento de la dureza del recubrimiento (ver apéndice N^o 2)

5.- Los rendimientos catódicos obtenidos con referencia a las medidas experimentales de los espesores (Tabla N^o AP1-1) son bastante aproximados a los valores obtenidos en las Tablas N^o AP1-4 al AP1-9 deducidas a partir de la Ley de Faraday.

6.- Según la Ley de Faraday en el diagrama Tiempo vs. Espesor la curva debe pasar por el eje de coordenadas; pero en nuestro caso hemos obtenido ligeras desviaciones que pueden deberse a :

- Falta de un movimiento catódico

- Deficiencias en el sistema de agitación del electrolito control de temperatura.

8.3 RECOMENDACIONES

- 1.- En el proceso de recubrimiento de cromado duro se requieren dos tipos de movimiento, tanto del electrolito como del objeto a recubrir, para lograr una electrodeposición más uniforme.
- 2.- Es importante que se efectúe un control permanente de los electrolitos.
- 3.- Debe existir un buen sistema de extracción de vapores nocivos.

BIBLIOGRAFIA

1. D.R. Gabe "Fundamentos del Tratamiento y Protección de Superficies Metálicas". Editorial Alhambra, Cap. 1 y 2 (1975).
2. Samuel Glasstone "Tratado de Química y Física" Editorial Aguilar, Cap. 12 (1979).
3. B.B. Damaskin, O.A. Petri "Fundamentos de la Electroquímica Teórica" Editorial MIR, Cap. 1 (1981).
4. "Praktische Galvanotechnik", Editorial G. Leuze Verlag, pags. 186 a 217, (1979).
5. Dario Rubner "Métodos Modernos y Prácticos de Dorado, Plateado, Níquelado Cromado y Metalizaciones Diversas" Tomo I, Editorial Sintesis (1964).
6. Juan Rubio de la Torre "Metalurgia General y de los Metales no Férricos" Editorial Hijos de J. Garcia, Cap. 12.
7. H. Silman "Acabado Químico y Galvanoplástico de los Metales" Editorial José Monteso, Cap. 9 (1955).
8. Sydney H. Avner "Introducción a la Metalurgia Física" Editorial Mc Graw-Hill, Cap. 14 (1980).
9. C. Chaussin G. Hilly "Metalurgia, Aleaciones Metálicas" Tomo I Editorial Urmo, Cap. 9 y 10 (1975).
10. Arbellot.L "Manual Práctico de Recubrimiento Electrolítico" Editorial Hispano Europea, pags. 104 a 107 (1965).
11. E. Gillet "Manuel Les. Usagers des Revêtements en Chome Dur". Editorial Dunod (1965)
12. Reinaldo Candell "Galvanostégia Guía Práctica del Galvanotécnico" Editorial Sintesis S.A. (1981).
13. William Blum "Galvanotécnia y Galvanoplastia" Editorial Continental Cap. 4 y 6 (1985).

14. Dionosio Posadas "Introducción a la Electroquímica" Editorial Esnau Chesnear (1980).
15. Dr. Lamberto A. Rubio Felipe "Electroquímica Aplicaciones" Editorial Técnos S.A. (1953).
16. M. Tourner "La Selección del Recubrimiento Adecuado" Ediciones Cedel, (1972).
17. Hector Bos "Galvanización Teoría y Práctica" Editorial Alsina, (1955).
18. V. Mossuet Grau "Construcción de Bastidores en Galvanotécnia" Ediciones Cedel, (1966).
19. José .M. Lasheras Esteban "Tecnología de los Materiales Industriales" Ediciones Cedel, Cap 23.
20. Universidad Pontificia Bolivariana "Contaminación Ambiental" año 10, nº 18, Enero-Junio 1987 Medellín. Editado por Proyecto de Contaminación Ambiental-Universidad Pontificia Bolivariana, pags. 87 a 97.
21. E. R. Plunkett "Manual de Toxicología Industrial" Editorial Urmo S.A. pag. 191 (1978).
22. American Society for Testing and Materials "Manual de Aguas para Usos Industriales" Editorial Limusa, pag. 258 (1982).
23. Gordan Maskew Fair, Jhon Charles Geyer "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales" Editorial Limusa-Wiley S.A. pag. 33 (1971).
24. J. Glayman, G. Farkas "Galvanotécnia Teoría y Procedimientos" Ediciones Cedel, pag. 227 a 228 (1980).