

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO DURO

APORTE AL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA NACIONAL

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR

FERNANDO AMADEO JARAMILLO SALDAÑA

LIMA-PERÚ

2002

Dedico esta obra; con todo respeto, admiración y amor especial a mi amiga y esposa: Molly Roxane, a mi adorada hija: María Fernanda y a mis entrañables padres.

Fernando Amadeo Jaramillo Saldaña

AGRADECIMIENTO

Aprovecho esta gran y excelente oportunidad para rendir un justo y merecido homenaje y poder expresar con orgullo ¡¡Gracias!! a todos mis profesores de mi querida alma mater: Universidad Nacional de Ingeniería.

Les manifiesto que con sus conocimientos impartidos ya sean científicos, técnicos y humanísticos no tendré pretexto alguno para defraudarlos.

Además, deseo agradecer de una manera muy especial a mi colega, socio y amigo, el Ingeniero Carlos Manuel Sánchez Inga por haberme apoyado con sus sabios conocimientos.

RESUMEN

El presente trabajo describe en forma concisa la tecnología del CROMO DURO ,partiendo desde sus fundamentos científicos (leyes de Michael Faraday, anfoterismo del cromo ,etc.)

Una breve historia de la tecnología como aplicación industrial y sus principales usos en la industria actual.

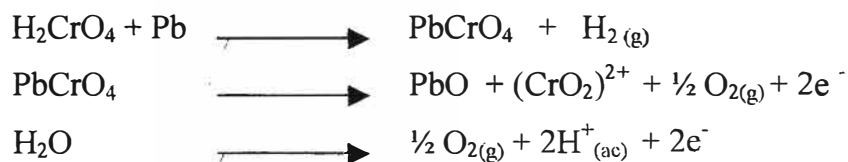
Uno de los criterios de Faraday expresa que al someter una solución química iónica, denominada electrolito; a un voltaje eléctrico continuo, transmitido al seno del electrolito por dos electrodos: el positivo llamado ÁNODO y el negativo llamado CÁTODO ;los iones positivos del electrolito llamados Cationes, se trasladan hacia el cátodo y los iones negativos del electrolito llamados Aniones, se trasladan hacia el ánodo.

En la tecnología electrolítica en general, se utilizan sales metálicas provenientes comúnmente de los siguientes ácidos: Sulfúrico, Clorhídrico, Cianhídrico, fosfórico etc.,para formar los electrolitos metálicos que se desee.

En el caso del cromo, tenemos una particularidad especial cual es el anfoterismo ,ya que se comporta como metal con las valencias 0, 2, 3 y como no metal con la valencia 6, estado en el cual es posible formar sales como cromatos, dicromatos y lógicamente el óxido crómico. Es por ello que el electrolito de cromo se puede formar directamente de su condición ácida utilizando el óxido crómico (CrO_3) en solución con el agua (H_2O)



En el ánodo, que generalmente es de plomo, se forma superficialmente el PbCrO_4 , esta capa es la que interviene en la reacción química anódica:



En el cátodo (pieza que se esta cromando)



Es así como el cromo se deposita en el cátodo en forma metálica (Cr^0), llamado también cromo electrolítico o Cromo Duro .

El cromo elemental encontrado en forma natural u obtenido por cualquier otro proceso que no sea el electroquímico, tiene una dureza bastante menor que aquel obtenido electrolíticamente.

En nuestro país los pequeños y grandes inversionistas generalmente importan tecnología y maquinaria de “segunda mano” para implementar su pequeño taller, microempresa o mediana empresa; este fenómeno y lógicamente otros factores da lugar que al anhelo de la creación de una tecnología propia, cada vez más caiga en desanimado e inclusive se torne algo utópico. Esta visión que a mi manera de ver, es totalmente falsa, es producto de nuestra ignorancia o desconocimiento sobre algunos temas técnicos e incluso el haber sido cautivados por la idea de “el producto importado, así sea de segunda, es mejor”

Estimados amigos, estoy convencido que la técnica del Cromo Duro significa un aporte valioso para la recuperación y fabricación de piezas metálicas, dándoles a estas mayor durabilidad (hasta 70 Rockwell), mayor resistencia al desgaste, a la corrosión, a la abrasión y a la capacidad de soportar temperaturas superiores a los 500 °C.

Creemos que nuestra creciente tecnología informal necesita el apoyo de todas las instituciones, empezando por el Gobierno, Universidades, Centros Tecnológicos, Sociedad Nacional de Industrias, Indecopi, etc. De tal forma que se canalicen todas las actividades y luego NORMALIZARLAS y poder así entrar al grado de la competitividad que el mundo actual exige.

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- 2.1. Electrolisis.
- 2.2. Baño electrolítico.
- 2.3. Clasificación de los electrolitos.
- 2.4. Teoría de la disociación electrolítica.
- 2.5. Leyes de Faraday.
- 2.6. Propiedades físicas y químicas del cromo depositado electrolíticamente.
- 2.7. Anfoterismo.
- 2.8. Reacciones principales y secundarias para el proceso electrolítico de cromado duro.
- 2.9. Descripción y tipos de polarización.

CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ELECTROLÍTICO DE CROMADO DURO

- 3.1. Proceso preliminar o preparación de superficie.
 - 3.1.1. Desbastado o esmerilado.
 - 3.1.2. Pulido, lustrado o bruñido.
 - 3.1.3. Decapado:
 - A) Decapado mecánico o arenado.
 - B) Decapado químico.
 - C) Decapado electroquímico.
 - 3.1.4. Desengrase.
 - A) Desengrase físico químico.
 - B) Desengrase electrolítico.
- 3.2. Proceso de acondicionamiento metalúrgico del Material.
 - 3.2.1. Horneado.
 - 3.2.2. Efecto vibratorio o martilleo.
- 3.3. Proceso electrolítico del cromado.
 - 3.3.1. Acondicionamiento térmico de la dupla.
 - 3.3.2. Etching electrolítico, reversa o ataque anódico
 - 3.3.3. Cromado duro.
 - 3.3.4. Enjuague con agua circulante.

CAPITULO IV. MEDICIONES FÍSICAS DE LA PELÍCULA DE CROMADO DURO, ANÁLISIS DEL ELECTROLITO, CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y ASPECTOS GENERALES DE RESIDUOS CONTAMINANTES.

- 4.1. Mediciones físicas de la película de cromado duro.

- 4.1.1. Espesor
- 4.1.2. Dureza
- 4.1.3. Adherencia
- 4.1.4. Resistencia al desgaste
- 4.1.5. Control de porosidad
- 4.2. Análisis del electrolito :
 - 4.2.1. Análisis del cromo hexavalente
 - 4.2.2. Análisis del cromo trivalente.
 - 4.2.3. Análisis del ácido sulfúrico
 - 4.2.4. Análisis del hierro.
- 4.3. Características del agua
 - 4.3.1. Destilación
 - 4.3.2. Ablandamiento y desmineralización por intercambio iónico.
- 4.4. Aspectos generales de residuos contaminantes.

CAPITULO V. EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA EL CROMADO DURO

- 5.1. Cubas, Tinas o Tanques de tratamiento.
- 5.2. Sistemas de calefacción.
- 5.3. Fuente de Energía.
- 5.4. Ánodos.
- 5.5. Bastidores, soportes o Ganchos.

CAPITULO VI. APLICACIONES INDUSTRIALES MÁS IMPORTANTES: CROMADO DE:

- 6.1 Herramientas de corte.
- 6.2 Cilindros y camisas de motores de explosión.
- 6.3 Aluminio y sus aleaciones ligeras.
- 6.4 Piezas de forma cilíndrica.
- 6.5 Cigüeñales.
- 6.6 Matrices.
- 6.7 Moldes para compresión de plásticos.
- 6.8 Fabricación de armamento.

CAPITULO VII. ASPECTOS ECONÓMICOS DEL CROMADO DURO

- 7.1 Costos de insumos, accesorios, y mano de obra.
- 7.2 Inversión en una planta de cromado duro.

CAPITULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO IX. BIBLIOGRAFÍA

CAPITULO X. APÉNDICE

- 10.1** Diagrama de flujo del proceso electrolítico del cromado duro.
- 10.2** distribución de planta para el proceso electrolítico del cromado duro.
- 10.3** cuadro de identificación, origen probable y corrección de defectos en el proceso de cromado duro.
- 10.4** Tabla de relación entre grados Baumé, peso específico y grados Twadell.
- 10.5** Tabla de relación entre densidad y concentración de una solución acuosa de anhídrido Crómico (CrO_3)
- 10.6** Tabla de relación entre las escalas de dureza: Rockwell C., Brinell y Vickers.
- 10.7** Foto de una pieza metálica recién cromada y un envase con óxido crómico recién destapada.
- 10.8** Foto de óxido crómico en solución acuosa y de la medición de temperatura en pleno proceso de cromado.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

El cromado duro es un proceso electrolítico, mediante el cual se logra la deposición superficial de una capa de cromo metálico de un espesor que llega a las veinticinco milésimas de pulgada (aprox. 0,635 mm o 635 micras) en los casos más extremos. Sin embargo la aplicabilidad del espesor de cromo depende del tipo de pieza que se está trabajando. Por Ej. En la industria automotriz y en la industria de maquinaria pesada, las tolerancias son bastantes holgadas, siendo el promedio de capa de cromo duro de 15 a 20 milésimas de pulgada o 381 a 508 micras y en casos extremos llega hasta 25 milésimas de pulgada (635 micras).

En la industria aeronáutica, lo normal es de 5 milésimas de pulgada (127 micras), cabe decir en las zonas críticas tales como son el árbol de turbina y asientos de rodajes del motor, mientras que en las piezas pertenecientes al fuselaje, por Ej. pines, bisagras de flaps y alerones, pernos de empotramiento de ala, etc. Las tolerancias pueden ser mayores a 5 milésimas de pulgada (127 micras), e inclusive en las partes del sistema de actuadores hidráulicos, trenes de aterrizaje, es posible aplicar hasta 12 milésimas de pulgada (305 micras) como máximo; sin embargo en todo tipo de industria y para cualquier tipo de pieza es necesario estar acorde con el manual técnico de reparación respectivo.

El cromo metálico proporciona al material propiedades muy convenientes desde el punto de vista metalúrgico y superficial, pues proporciona mayor resistencia al desgaste, mayor dureza, bajo coeficiente de fricción y por la naturaleza metálica del cromo la pieza se encuentra virtualmente protegida contra la corrosión. Además, la deposición electrolítica del cromo sobre la superficie del material es de forma perpendicular a esta, presentando en la superficie cromada la existencia de micro fisuras las cuales hacen posible una libre y natural dilatación del metal base sin que se perjudique la adherencia del cromo en la superficie, permitiendo también el que se alojen en estas micro fisuras algunas sustancias lubricantes la cual da lugar mejor deslizamiento de las superficies en contacto.

BREVE HISTORIA DEL CROMADO DURO

En el año 1923 el Ingeniero Doctor E. Mahle empezaba los estudios y ensayos del Cromado Duro aplicado a los cilindros de motores para motocicletas.

En el año 1925 en Bureau of Engraving and Printing, de los Estados Unidos de Norteamérica demostraba que las planchas cromadas, duraban el doble que las del mejor acero templado y que además, los detalles de la impresión, incluso las tramas y los trazos más finos de los billetes de banco y documentos de valor, se conservaban perfectamente durante toda la tirada.

En 1927 Eaton describía un aparato que había estudiado para cromar las planchas de acero utilizadas en la impresión y en 1929 se aplicó en los Estados Unidos el cromado de troqueles utilizados para acuñar moneda, observándose que su duración era mucho mayor que la de los hechos con acero de la mejor clase pero sin cromar.

Más adelante en 1935 P. Romanoff publicó los resultados de ensayos de comparación entre los aceros duros corrientes en aquella época y los aceros normales cromados, según los cuales, se obtenía con estos un rendimiento superior al 30%. Poco después, en 1938, empezaron a divulgarse las primeras patentes para el cromado duro, como procedimiento de aplicación industrial.

En 1941 se aplicó por primera vez la técnica del cromo duro en Barcelona-España.

CAPITULO II.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ELECTROLISIS

Consiste en la producción de cambios o reacciones químicas, debido a la acción de la corriente o energía eléctrica, en otras palabras, consiste en la transformación de la energía eléctrica en energía química.

Para que una sustancia se descomponga electrolíticamente son indispensables dos condiciones: Que sea buena conductora de la electricidad y que se halle en estado líquido. Comúnmente la sustancia se disuelve en agua, o se somete a la acción del calor si es insoluble. En este ultimo caso la corriente eléctrica debe hacerse pasar por la sustancia mientras esté en fusión. Las especies químicas que se descomponen por electrolisis se llaman ELECTROLITOS.

2.2. CELDA ELECTROLÍTICA

La descomposición electrolítica se obtiene generalmente por medio de los siguientes aparatos: en un recipiente llamado *tina* se vierte el líquido conductor o electrolito; dos o más láminas o barras conductoras de metal o carbón, constituyen los *electrodos* que llevan la corriente al electrolito. Esta disposición constituye la *celda electrolítica*.

La barra conductora por la cual entra la corriente al electrolito se llama *ánodo* y la que le da salida es el *cátodo*. Según esto el ánodo es el electrodo que se conecta al polo positivo de la *fuentes* de corriente continua y el cátodo al polo negativo del mismo. En otras palabras, el ánodo es el electrodo positivo (+) y el cátodo el electrodo negativo (-) de la celda electrolítica.

Los electrolitos se hallan disociados en forma de iones. Los que se dirigen al ánodo se designan con el nombre de *aniones* y los que se dirigen al cátodo con el

de *cationes*. Por ejemplo, cuando se electroliza una solución de cloruro de zinc, el zinc aparece en el cátodo y el cloro en el ánodo. En este caso particular el zinc (Zn^{2+}) es el catión y el cloruro (Cl^{1-}) es el anión.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTROLITOS

Michael Faraday dividió los cuerpos conductores en dos grupos:

- Los metales y unos pocos metaloides que no se descomponen por el paso de la corriente eléctrica, a estos los llamó *conductores de primera clase*, y
- Las sustancias que además de ser conductoras se descomponen al paso de la corriente, a las cuales los llamó *conductores de segunda clase*.

En este último grupo entran las soluciones, los compuestos sólidos que son conductores a baja temperatura y pueden descomponerse electrolíticamente cuando se hallan en estado de fusión, y los compuestos que no son conductores a baja temperatura pero sí en estado de fusión.

Muchos ácidos, varias bases y sales forman electrolitos cuando se les disuelve en agua. Por ejemplo el ácido sulfúrico puro posee escasa conductancia, pero diluido en agua es un buen conductor y sirve como electrolito. El cloruro de zinc (ZnCl_2), el cloruro de sodio (NaCl), y la sosa cáustica (NaOH), forman electrolitos tanto en fusión como en solución; el sulfuro de plata (Ag_2S) y el sulfuro de cobre (Cu_2S) no se descomponen electrolíticamente sino hallándose en estado de fusión; el óxido de aluminio (Al_2O_3) no es conductor a baja temperatura.

La resistencia eléctrica de los conductores del primer grupo de Faraday aumenta con la temperatura; lo contrario sucede con las sustancias del segundo grupo, cuya resistencia eléctrica disminuye a medida que aumenta la temperatura.

2.4. TEORÍA DE LA DISOCIACIÓN ELECTROLÍTICA

Cuando en agua u otro disolvente se mezclan sustancias compuestas para formar líquidos conductores, puede suponerse que las especies químicas (iones) están bastante separadas y que por lo tanto se mueven libremente. Como cada especie

está formada de átomos o grupos de átomos y estos se encuentran cargados positiva o negativamente, la atracción de estas cargas opuestas constituye la cohesión que en circunstancias ordinarias dan origen a las moléculas. La corriente eléctrica que pasa por un electrolito ocasiona la disociación del líquido, las moléculas se subdividen y los iones quedan en libertad en el ánodo y el cátodo, de allí, que la carga positiva que se mueve en la dirección de la corriente, debe ser transportada por los cationes, llamados por esto iones positivos, y la carga negativa, por los aniones o iones negativos.

Cuando hay iones metálicos en un proceso electrolítico, son ellos los que conducen las cargas positivas. Por consiguiente, las especies iónicas que contienen hidrógeno, son casi siempre cationes, y las especies iónicas que contienen oxígeno, son los aniones. Pero ésta no es una regla invariable, ya que un mismo elemento puede obrar como anión en ciertas circunstancias y como catión en otras. Lo que determina su acción en uno u otro sentido es el hecho de que esté en combinación con elementos que con respecto a él sean electronegativos o electropositivos. Vale mencionar como ejemplo, la obtención del fósforo en el cátodo, empleando una fuerte solución de ácido fosfórico y una corriente de bastante intensidad, pues en estas condiciones el fósforo es un catión, pero si se toma el compuesto gaseoso PH_3 (hidrógeno fosforado) el fósforo es electronegativo con respecto al hidrógeno, y por lo tanto actúa como anión.

2.5. LEYES DE FARADAY

Estas leyes se enuncian de distintas maneras, y pueden darse en los siguientes términos:

PRIMERA LEY

La masa en gramos de un elemento puesto en libertad en un tiempo dado, es igual al equivalente electroquímico del elemento, multiplicado por la intensidad de la corriente, en amperios, y por el tiempo, en segundos, durante el cual ha pasado.

Es por ello que podemos enunciar la siguiente formula:

$$m = K I t$$

Donde: **m:** masa que se deposita en el cátodo o se libera en el ánodo con un rendimiento del 100%.
I: Intensidad de corriente eléctrica (A)
t: Tiempo (s)

Además: **Q = It**
Q: Carga eléctrica (coulomb)

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$m = K Q$$

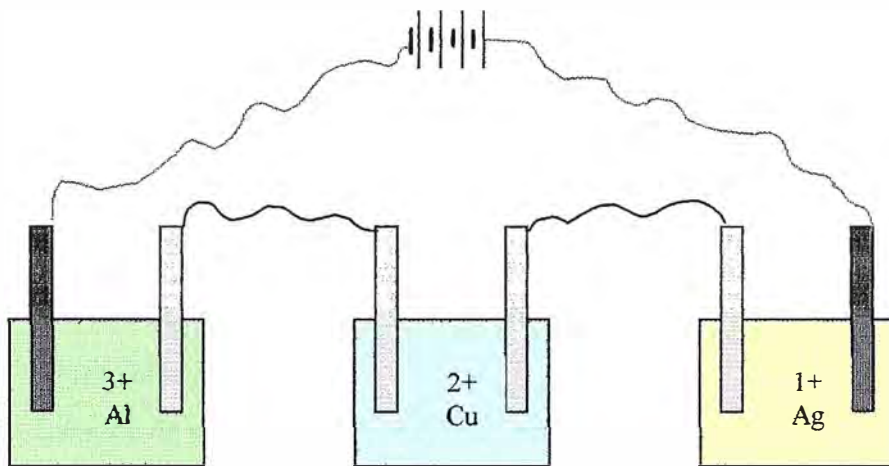
$$K = \frac{P - eq}{96500} \quad P - eq = \text{peso equivalente}$$

CASOS DE PESOS EQUIVALENTES

▪ Elemento:	$P - eq_{(E)} = \frac{\text{Peso Atómico}}{\text{Valencia}}$
▪ Base o hidróxido:	$P - eq_{(Base)} = \frac{M}{\# \text{ "OH"}}$
▪ Sal:	$P - eq_{(sal)} = \frac{M}{\text{Carga Iónica Total}}$
▪ Oxidante o reductor:	$P - eq_{(oxid. \text{ o reductor})} = \frac{M}{\# e^- \text{ ganados o perdidos}}$

SEGUNDA LEY

En virtud de esta ley se tiene que si una misma corriente atraviesa dos o más baños electrolíticos conectados en serie, la masa de las especies químicas puestos en libertad será idéntico en todos los baños, si los electrolitos lo son, o será químicamente equivalente, si los electrolitos son diferentes.



Se cumple:

$$\frac{m_{(Al)}}{P\text{-eq}(Al^{3+})} = \frac{m_{(Cu)}}{P\text{-eq}(Cu^{2+})} = \frac{m_{(Ag)}}{P\text{-eq}(Ag^{1+})}$$

- Donde:
- $m_{(Al)}$ = Masa de Aluminio que se deposita en el cátodo
 - $m_{(Cu)}$ = Masa de cobre que se deposita en el cátodo
 - $m_{(Ag)}$ = Masa de plata que se deposita en el cátodo
 - $P\text{-eq}(Al^{3+})$ = Peso equivalente del aluminio trivalente
 - $P\text{-eq}(Cu^{2+})$ = Peso equivalente del cobre divalente
 - $P\text{-eq}(Ag^{1+})$ = Peso equivalente de la plata monovalente

2.6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CROMO DEPOSITADO ELECTROLÍTICAMENTE

- Pertenece al grupo VI B de la tabla periódica (metales de transición) y al cuarto periodo
 - Tiene como elementos vecinos al Vanadio (V), Niobio (Nb), que pertenecen al grupo V B; al Molibdeno (Mo), del grupo VI B y a los elementos Manganeso (Mn) y Tecnecio (Tc) que pertenecen al grupo VII B .
 - El estado físico a temperatura ambiente: Sólido, de color blanquecino, con tinte azulado
 - Número Atómico (Z): 24 (número de protones en el núcleo atómico)
 - Densidad: 7,0 g / cm³
 - Estructura electrónica: [Ar] 3d⁵ 4s¹
 - Masa atómica: 52,01
- Estados de oxidación: 0, +2, +3, +6 .
- Estado de oxidación: 0 { Cr⁰ : cromo metálico.
- Estado de oxidación: +2 { Cr²⁺ : ión cromoso.
- Estado de oxidación: +3 { Cr₂O₃ : óxido crómico.
- Cr³⁺ : ión crómico.
- Estado de oxidación : +6 { CrO₃ : Trióxido de cromo.
- CrO₄²⁻ : Ión cromato.
 - Cr₂O₇²⁻ : Ión dicromato.
-
- Electronegatividad (Pauling): 1,6 eV
 - Calor de fusión: 20,5 Kj / mol
 - Calor de vaporización: 339,5 Kj / mol
 - Punto de fusión: 1900 °C
 - Punto de Ebullición : 2200 °C
 - Radio atómico : 1,25 Å

- Conductividad eléctrica 62 (en comparación con un valor arbitrario de 100 para la plata)
- Potencial de reducción: $M^{2+} + 2 e^{-} \longrightarrow M_{(s)} : -0,91 \text{ v}$
- Energías de ionización :
 - Primera : 652 Kj / mol
 - Segunda : 1396 Kj / mol
 - Tercera : 2980 Kj / mol.
- Durezas:
 - Cromo duro brillante normal: 75 a 95 Rockwell C o 800 a 1000 Brinell
 - Cromado mate lechoso debido al empleo de baja densidad de corriente: 67 Rockwell C o 700 Brinell
 - Cromado mate o blanco por trabajar con bajas temperaturas: 58 Rockwell C o 575 Brinell
 - Dureza según la escala de mohs: 8,9
- El elemento cromo se descubrió en 1798 por VAUQUELIN, en el cromato de plomo : $PbCrO_4$;que se presenta en la naturaleza formando el mineral Crocoita,
- El mineral más importante del cromo es la cromita : $FeCr_2O_4$,que es un óxido de Hierro bivalente y cromo trivalente; también se puede representar por las fórmulas : $FeO.Cr_2O_3$ o $Fe (CrO_2)_2$
- El cromo puede obtenerse, reduciendo el óxido de cromo con Aluminio metálico, los dos reaccionantes bajo la forma de un polvo fino, se mezclan y se prende fuego a la mezcla (proceso aluminio térmico):



- El cromo adquiere fácilmente un estado (no activo) por recubrirse de una delgada película invisible de óxido que la protege de un posterior ataque químico.
- Las aleaciones de cromo son muy importantes, especialmente las aleaciones ferrosas (aceros aleados). Los aceros al cromo son muy duros tenaces y resistentes se emplean para planchas de blindaje, proyectiles, cajas fuertes, etc. El acero inoxidable ordinario contiene del 14 al 18% de cromo.
- La eficiencia del cromado esta limitada por el hecho de que la reducción del Cr^{6+} a Cr^0 , sólo produce 1/6 mol de cromo por faraday (96500 coulomb).
- Calor específico : 0,11 cal / g.grado ($^{\circ}\text{C}$ o K)
- Equivalente electroquímico a 100% de rendimiento (g / A.h) = 0,323 (Valencia:6)
- Resistividad eléctrica en microhmios / $\text{cm}^3 = 2,6$

2.7. ANFOTERISMO

Variabilidad de los estados de oxidación y el comportamiento de los óxidos e hidroxí-compuestos.

Estado de oxidación	Oxido	Hidroxí-compuesto	Comportamiento	Ión	Nombre	Color
II	CrO	Cr(OH)_2	Básico	Cr^{2+}	Cromoso	Azul claro
III	Cr_2O_3	Cr(OH)_3	Anfótero	Cr^{3+}	Crómico	Violeta o verde
				CrO_2^{1-}	Cromito	Verde
VI	CrO_3	H_2CrO_4 $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Ácido	CrO_4^{2-}	Cromato	Amarillo
				$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Dicromato	Naranja

Una de las características que se destaca, es la variedad de colores que presentan los compuestos del cromo, sobre todo del Cr(III) (anfótero). En honor a esto, es preciso mencionar que el nombre de cromo deriva de la palabra griega “chroma” que significa color.

En calidad de ejemplo, mencionaremos la variación de colores que se presenta para el Cr(III) en solución:

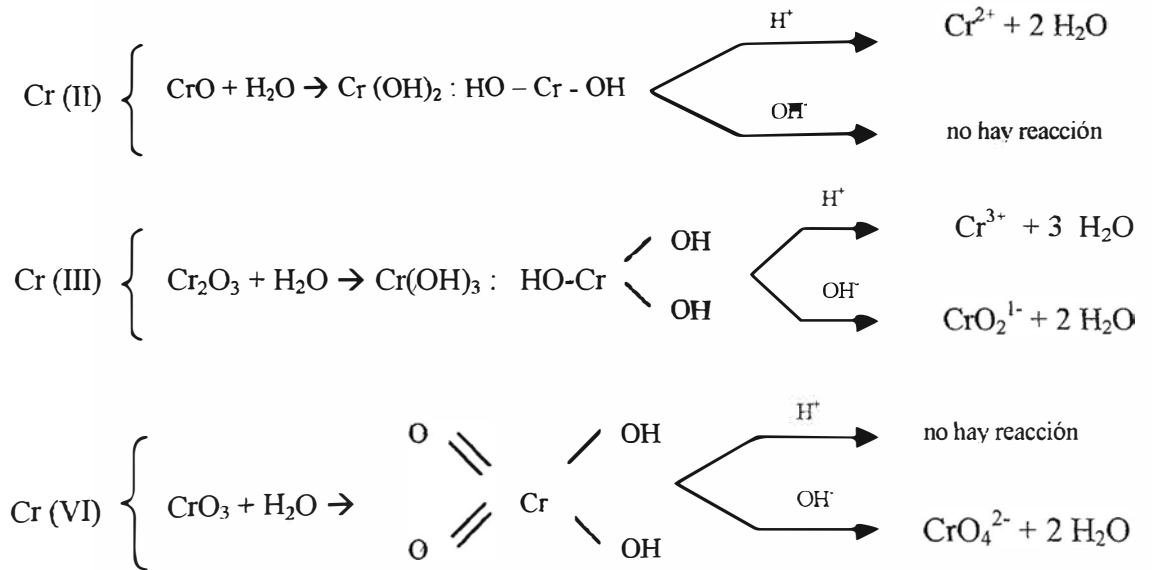
El compuesto anhidro CrCl_3 tiene un color rojo-violeta; pero cuando esta en solución es de color verde, y de éste a su vez se pueden aislar tres sólidos cristalinos distintos bajo condiciones adecuadas. Dos de estos sólidos son verdes y uno es violeta. Los verdes dan soluciones verdes también, mientras que el violeta da una solución del mismo color, pero que se torna verde al ser hervida. Estos fenómenos son el resultado de la isomería de hidratación, que se indica a continuación:

ISOMERO	COLOR
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$	Violeta
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$	Verde azulado
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$	Verde

PROPIEDADES ACIDO – BASE

No olvidemos que un hidroxido-compuesto es el resultado de la acción del agua sobre el óxido de un elemento. Si el hidroxido-derivado tiene carácter ácido reaccionará en solución básica, generando un anión. En cambio, si reacciona en medio ácido con generación de un catión, posee propiedades básicas; mientras, si reacciona en ambos medios el compuesto es anfótero.

A continuación se indican las reacciones:



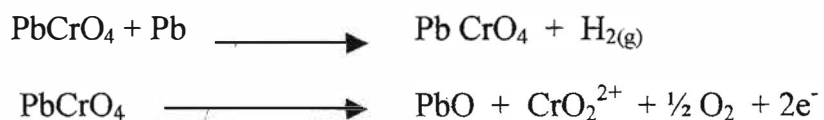
2.8. REACCIONES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS PARA EL PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO DURO.

Reacciones Principales

En el caso del cromado duro, el electrolito de cromo se puede formar directamente de su condición ácida utilizando el óxido crómico (CrO_3) en solución con el agua.



En el ánodo que generalmente es de plomo, se forma superficialmente el H_2CrO_4 , esta capa es la que interviene en la reacción química anódica.



En el cátodo (pieza que se esta cromando)



Es así como el cromo se deposita en el cátodo en forma metálica (Cr^0), llamado también cromo electrolítico o cromo duro.

Reacciones Secundarias



2.9. DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE POLARIZACIÓN

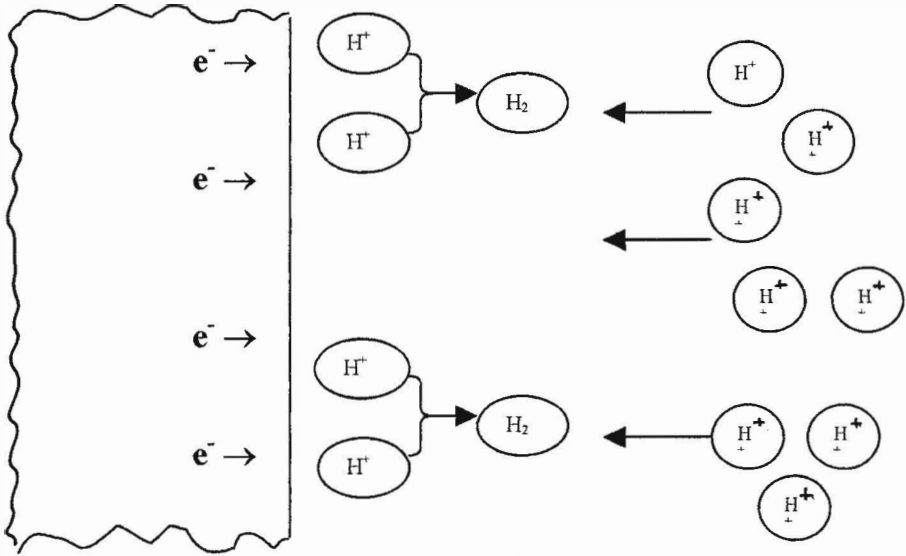
Al pasar la corriente eléctrica por un metal que está en contacto con una solución electrolítica; da lugar a procesos heterogéneos que ocurren en la interfase metal-solución; dando lugar así a la modificación o retardo de la distribución de las cargas eléctricas en dicha interfase y con reacciones electroquímicas de óxido-reducción, a este fenómeno se le conoce como polarización.

Tipos de polarización o causas por las que se retardan las reacciones electroquímicas:

- a) Polarización por concentración
- b) Polarización por activación
- c) Polarización por resistencia

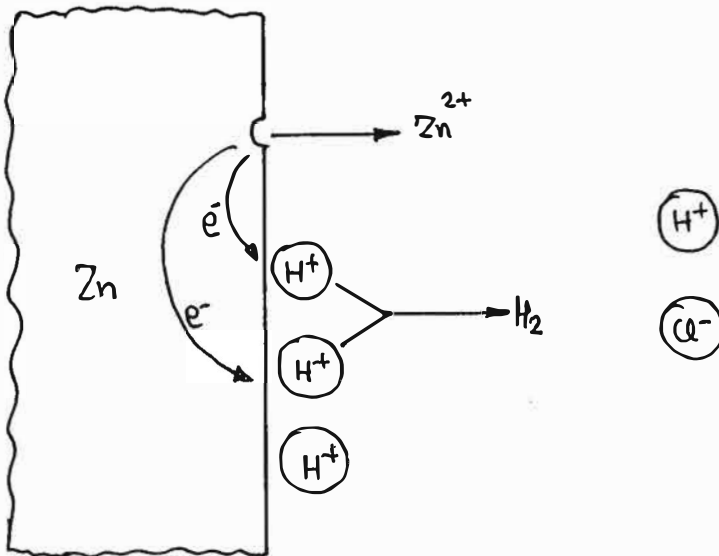
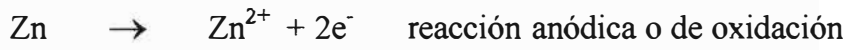
a) POLARIZACIÓN POR CONCENTRACIÓN:

Predomina cuando la concentración de las especies activas es baja, Ejm.: ácidos diluidos, soluciones salinas, etc.; esta polarización se refiere al retardo de una reacción electroquímica como resultado de diferencias de concentración, entre el seno de la solución y la solución adyacente a la superficie del metal.

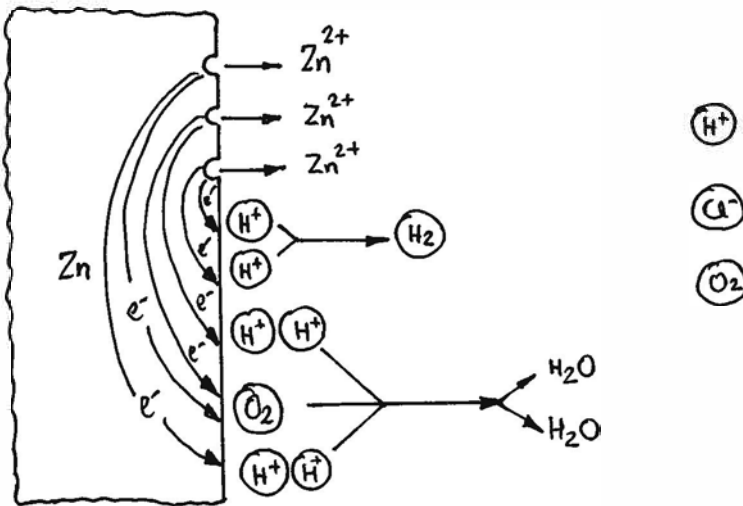
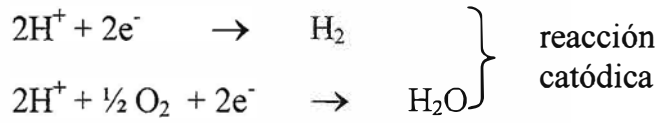


b) POLARIZACIÓN POR ACTIVACIÓN:

Se manifiesta al tener como electrolito un ácido fuerte. Ejm.:
Solución de HCl desaireada.



Ejm.: Solución de HCl que contiene O₂ disuelto



c) POLARIZACIÓN POR RESISTENCIA (ÓHMICA):

Está relacionada con la resistencia eléctrica interna de la celda electrolítica. Esta resistencia se debe a la alta dilución del electrolito en las proximidades del electrodo, o de una película poco conductora producto de la reacción con el metal y formada sobre la superficie del electrodo o a la propia resistencia entre el ánodo y el cátodo.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO DURO

El proceso de cromado duro consta de tres etapas básicas las cuales se describen a continuación:

3.1. PROCESO PRELIMINAR O DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

Esta comprendida por todas aquellas técnicas que permiten obtener una superficie libre de corrosión, de recubrimientos viejos, de picaduras y deformaciones superficiales y toda aquella condición que haga inviable no sólo el procesamiento electrolítico sino también la estética del material. Esta etapa se encuentra integrada generalmente por las siguientes operaciones fundamentales:

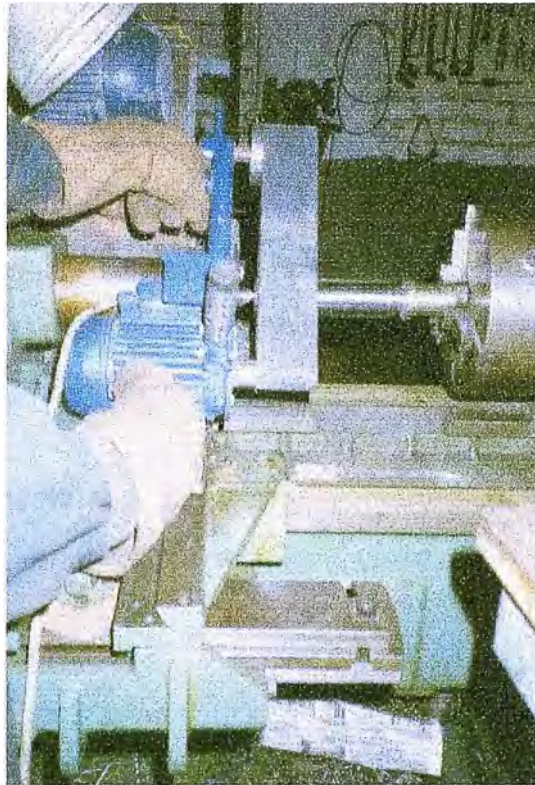
- 3.1.1. Desbastado o esmerilado
- 3.1.2. Pulido, lustrado o bruñido
- 3.1.3. Decapado
- 3.1.4. Desengrase

Estas operaciones no son necesariamente realizadas en su totalidad por lo que dependiendo del estado del material, se pueden omitir algunas de ellas:

3.1.1. DESBASTADO O ESMERILADO

Su objetivo es alisar o uniformizar la superficie de las piezas para eliminar las rebabas, escorias, poros u otras imperfecciones.

El equipo que se usa en las operaciones de desbastado debe ser escogido según el estado del material, la capacidad de producción, el grado de maniobrabilidad, etc. para ello se puede utilizar una esmeriladora o desbastadora.



Desbastadora de banda sin fin



Esmeriladora – Pulidora

3.1.2. PULIDO, LUSTRADO O BRUÑIDO

Consiste en el alisado fino o el grado de lustre de la superficie, hasta lograr el acabado deseado.

Las operaciones de pulido generalmente se realizan con discos de tela que contienen una costra periférica con polvo abrasivo; para la diversidad o facilidad del trabajo se puede contar con varios discos pulidores y con abrasivos de diferentes granulometría.

Los abrasivos son materiales muy duros que generalmente se encuentran en estado de polvo; como por ejemplo, los de grano grueso pueden estar constituidos de óxidos de hierro o de aluminio y los de grano fino pueden ser de óxido de cromo.

Con respecto a los discos pulidores, se fabrican de diversos materiales tales como tela, lona, cuero, etc.



Discos pulidores de tela gruesa-compacta

Cuando las piezas que se desea pulir presentan superficies muy irregulares de superficie amorfa a donde no puede llegar con facilidad la costra de pulimento de los discos de pulir, se utilizan entonces, gratas o cepillos circulares confeccionados con hilos de metal o de fibras animales o artificiales:



Gratas y discos con hilos de metal.

Para el pulido de piezas pequeñas, resulta difícil usar las técnicas indicadas, motivo por el cual recurrimos a ciertos equipos o máquinas que realizan el pulido mediante la FRICCIÓN de pieza entre sí o con otros abrasivos. Entre las máquinas que se usan tenemos:

- **Máquinas con tambores rotatorios**

Son aquellas donde las piezas se introducen con sustancias abrasivas y rotan a baja velocidad. Las sustancias abrasivas pueden ser líquidas (solución a base de cianuros), sólidas en suspensión o simplemente sólidas (povos de dolomita).

- **Máquinas vibradoras**

Las piezas son colocadas generalmente con gran cantidad de trozos de cerámica, cuero, etc., con las que producto del movimiento vibratorio producen el alisamiento de las superficies de las piezas.

3.1.3. DECAPADO

Consiste en la eliminación de óxidos o escorias, mediante la aplicación de las siguientes técnicas:

- A. Decapado mecánico o arenado
- B. Decapado químico
- C. Decapado electroquímico

A. DECAPADO MECÁNICO O ARENADO

Consiste en la eliminación de óxidos, mediante la aplicación de sustancias abrasivas a gran velocidad sobre la superficie metálica. El abrasivo que mayormente se ha empleado desde los inicios es la arena, preferentemente gruesa y dura. Sin embargo en la actualidad se utilizan otros abrasivos, tales como granallas de acero, de cuarzo, billas de vidrio, de corindón, granallas de óxido de aluminio (alúmina) etc.

B. DECAPADO QUÍMICO

Consiste en la eliminación de los óxidos por ataque de productos químicos sin aplicación de la corriente eléctrica. Este proceso se basa en la solubilidad que presentan los metales y aleaciones metálicas sometidas a la acción de ácidos o mezclas de ácidos diluidos o concentrados.

SOLUBILIDAD DE METALES Y ALEACIONES

CORRIENTES EN CIERTOS ÁCIDOS

	Ácido sulfúrico			Ácido nítrico			Ácido clorhídrico		
	Frio		Caliente	Frio		Caliente	Frio		Caliente
	Diluido	Concent.		Diluido	Concent.		Diluido	Concent.	
Hierro y Acero	L	O	A	A	L	A	F	A	F
Cobre y Aleación	L	N	L	F	L	A	A	N	A
Cinc puro	L	L	L	L	L	A	F	F	F
Plomo puro	N	N	L	L	A	A	N	L	L
Aleación de Pb.	N	N	N	N	L	A	N	L	L
Níquel	N	N	L	F	A	A	A	F	A
Aluminio	L	F	F	L	L	L	A	F	F
Magnesio	L	F	F	L	A	A	F	F	F

N = No atacado

A = Atacado

L = Ligeramente atacado

F = Fuertemente atacado

Los aceros inoxidables austeníticos que contienen 18% de cromo y 8% de níquel normalmente se decapan con mezclas de ácido nítrico (5-10%) y ácido fluorhídrico al 50% (1-5%), que trabajan a 40-60°C o también la mezcla de 50% de ácido clorhídrico y 50% de ácido nítrico a 50-60°C.

C. DECAPADO ELECTROLÍTICO

Es el decapado en el cual, además de la acción corrosiva de la solución decapadora se aplica también corriente eléctrica. La pieza puede actuar como ánodo o como cátodo, siendo preferible el tratamiento anódico porque de esta manera se evita que las piezas absorban hidrógeno, reduciendo así, la tendencia a la fragilidad.

En la práctica se usa mayormente para aleaciones ferrosas, una solución de ácido sulfúrico de 30 al 60% en masa y a temperatura ambiente, aplicando una densidad de corriente de 0,3 a 0.6 A/plg² ó 4,65A/dm² a 9,3 A/dm². Las instalaciones para este proceso son

similares al de los procesos galvánicos. Cuando la capa de cromo viejo es de espesor considerable (± 20 milésimas de pulgada o 508 micras) no se ejecuta el decapado electrolítico, pero si se aplica el rectificado mecánico.

3.1.4. DESENGRASE

Proceso en el cual se elimina toda la grasa remanente que pudiera existir sobre la superficie de las piezas en tratamiento.

El desengrase de las piezas se puede efectuar, bajo las siguientes formas:

A. DESENGRASE FÍSICO-QUÍMICO

Puede subdividirse en dos grandes grupos:

- **Desengrase con solventes:** Para este proceso se pueden utilizar los siguientes compuestos: gasolina, tolueno, benceno, etc; la eficiencia de éstos solventes es interesante, pero con él inconveniente de ser inflamables por lo que requieren especial cuidado para su manipulación y almacenamiento.
- **Desengrase con soluciones alcalinas:** Se emplea sustancias alcalinas disueltas en agua; que tienen la particularidad de saponificar las grasas, para formar con ellas jabones solubles en agua y separarlas de esta manera de las piezas en tratamiento. Entre los álcalis que se emplean, se tiene en primer lugar la soda cáustica (NaOH) por su gran propiedad saponificadora y elevado pH que permite preparar soluciones fuertemente alcalinas. También se utiliza la potasa cáustica (KOH) que además de sus propiedades desengrasantes presenta elevada conductividad eléctrica. Es preciso mencionar otros desengrasantes, tales como: carbonato de sodio anhidro (solvay), silicato de sodio, bórax, jabones, detergentes sintéticos, etc.

FORMULACIONES CLÁSICAS DE DESENGRASE

ALCALINO

Baño Metal a tratar	COMPOSICIÓN DEL BAÑO EN g/l					
	SODA CÁUSTICA	CARBONATO DE SODIO	FOSFATO TRISÓDICO	SILICATO SÓDICO	AGENTE TENSOACTIVO	T (°C)
Aleaciones ferrosas	30-40	20-30	5-8	--	1,2-1,8	80-95
Aleaciones Ferrosas y Aleaciones de cobre	10-15	20-30	10-15	10-15	0,5-1,0	70-90
Aleaciones de cobre y Aleaciones de zinc	--	--	20-28	20-28	0,5-1,0	70-90

B. DESENGRASE ELECTROLÍTICO

Es aquel en el cual, además de la acción de los productos químicos, interviene la acción de la corriente eléctrica que se aplica durante el proceso para ayudar a obtener mejor y más rápido desengrase.

El desengrase electrolítico consiste en suspender los artículos, en una solución alcalina y hacerlas actuar como electrodos en el circuito eléctrico de corriente continua. Los objetos que se tratan generalmente actúan como cátodos. El proceso electrolítico, propicia la formación abundante de gases en los electrodos, que ayudan al arrastre mecánico de la grasa adherida a la superficie de las piezas.

La mayor parte de los baños de desengrase electrolítico se emplean en caliente, y cuando se tratan piezas muy grasosas, es conveniente que la tina tenga un rebosadero apropiado para permitir fácilmente la separación de la grasa sobrenadante.

FÓRMULAS CLÁSICAS PARA BAÑOS DE DESENGRASE ELECTROLÍTICO

APLICACIÓN DEL DESENGRASE	COMPOSICIÓN DEL BAÑO EN g/l					
	NaCN	NaOH	Na ₂ CO ₃	Na ₃ PO ₄ 12H ₂ O	Agente humectante	EDTA
Aleac. ferrosas	40	50	22	–	1	1
Aleac. de cobre	42	42	–	50	1	1
Aleac. de cinc	40	22	55	–	Eventual	1-2

- Los baños de desengrase para las aleaciones ferrosas trabajan a temperatura ambiente, con un voltaje mínimo de 7v y aproximadamente 0,774 A/plg²(12 A/dm²) de densidad de corriente en el cátodo.
- Las aleaciones de cobre trabajan con un voltaje máximo de 9V y 0,774 A/plg² (12 A/dm²)
- Los baños de desengrase para las aleaciones de cinc, operan a temperatura ambiente de 6 a 9v y 0,774 A/plg² (12 A/dm²) aproximadamente.

3.2. PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO METALÚRGICO DEL MATERIAL

En general, todos los aceros de construcción así como aleaciones especiales acumulan tensiones intermoleculares en mayor o menor proporción, dependiendo del tipo de función que cumplan los componentes o partes industriales; También la mayor dureza de los materiales depende de que éstos acumulen más tensiones intermoleculares.

Las tensiones intermoleculares son fuerzas internas producto de la situación física del material. Cuando una pieza esta en funcionamiento, por ejemplo: un eje de transmisión de fuerza (eje de transmisión de un auto),

está sujeto a la acción de dos fuerzas en sentido opuesto y localizadas una a cada extremo del eje; esto origina sobre el material, una tensión de torque que va a originar una reacción intermolecular en dirección opuesta al torque; al dejar de actuar el torque, las fuerzas intermoleculares persisten, siendo origen de muchos trastornos de los materiales, tales como: corrosión intergranular, fatiga, fisuras internas, etc.

En todos los casos en que los materiales presenten tensiones intermoleculares, hay una gran tendencia a que estos rechacen todo tipo de proceso galvánico superficial, motivo por el cual todo material se debe **DISTENSIONAR** antes del proceso galvánico de cromado. Para este efecto hay dos métodos fundamentales:

3.2.1. HORNEADO

Es el proceso mediante el cual el material se somete a una temperatura entre 200 °C y 300 °C por espacio de dos a tres horas. Es aconsejable que las piezas de alta precisión y las de alta dureza (mayor de 40 Rockwell) sean procesadas solamente por este método térmico.

Se requiere de 01 Horno convectivo (es aquel que se mantiene a una temperatura homogénea) capaz de llegar a 400°C y que tenga una buena capacidad.



*Pieza en el
horno
tipo: mufla*

3.2.2. EFECTO VIBRATORIO O MARTILLO

Se realiza con una máquina que se adhiere a la superficie del material, haciéndola vibrar a diferentes frecuencias por un espacio de 30 minutos; las vibraciones sobre el material hace que las tensiones internas se disipen. Este método se aplica generalmente a materiales de gran superficie y cuya dureza no sea mayor de 35 Rockwell. Este proceso es poco aplicable en la tecnología del cromo duro, pero como ejemplo podemos mencionar a los cigueñales.

3.3. PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO

3.3.1. ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO

DE LA DUPLA: PIEZA -SOLUCIÓN

Una vez que la pieza este perfectamente limpia, la introducimos a la solución y la dejamos que tome la temperatura de equilibrio de la solución (40-55°C), por un tiempo de 5 a 20 minutos; posteriormente la pieza se somete al Etching galvánico reversa o ataque anódico.

3.3.2. ETCHING ELECTROLÍTICO, REVERSA,

ATAQUE ANÓDICO O MORDENTADO

Es el proceso por el cual se somete a la pieza a un efecto de contracorriente o a un ataque anódico, con la finalidad de originar porosidades en la superficie y que permitan una mejor adherencia del cromo; esto quiere decir que el polo + de la fuente de corriente continua este conectada a la pieza y el polo - al banco de ánodos, durante un tiempo muy relativo, dependiendo lógicamente del tipo de material que se esta procesando; como por ejemplo, los aceros comunes de 2 minutos mientras que los aceros inoxidable pueden ser de 3 a 4 minutos.

PARÁMETROS PARA EL PROCESO DE REVERSA

A) *En solución crómica:*

Electrolito:

- Óxido crómico (nombre comercial: ácido crómico): 250 g/l
- Acido Sulfúrico 2,5 g/l
- Humectante: 0,04 g/l

- Densidad de

Corriente: Aprox. $2 \text{ A/plg}^2 = 31 \text{ A/dm}^2$

- Temperatura: 45-55°C

- Tiempo: Oscila entre 30 segundos y 4 minutos.

- Voltaje: 5-10 voltios

- Tinas o cubas de acero con revestimiento de PVC

- Como cátodo se usa una aleación de plomo con 7% de estaño o 10% de antimonio.

Nota: La solución puede ser el mismo baño de cromado duro.

B) *En solución de ácido sulfúrico:*

- Electrolito: Ácido sulfúrico 50% (masa)

- Densidad de

Corriente: Aprox. $2 \text{ A/plg}^2 = 31 \text{ A/dm}^2$

- Temperatura: Ambiente.

- Tiempo: Oscila entre 30 segundos y 4 minutos

- Voltaje: 8-10 voltios

- Tinas o cubas de acero con revestimiento de PVC.

- Como cátodo se usa una aleación de plomo con 7% de estaño o 10% de antimonio.

3.3.3. CROMADO DURO

Consiste en la deposición electrolítica, de una capa de cromo de gran dureza sobre superficies metálicas, para lo cual se utiliza una solución de cromo hexavalente y otros aditivos.

PARÁMETROS PARA EL CROMADO DURO

- Electrolito:
 - Óxido crómico (nombre comercial: Ácido crómico):250 g/l
 - Ácido Sulfúrico: 2,5 g/l
 - Humectante: 0,04 g/l
- Densidad de corriente: $2 \text{ A/plg}^2 = 31 \text{ A/dm}^2$
- Temperatura: 45-55°C
- Densidad : Aprox. 21,6 °Be = 1,175 g/ml
- El voltaje no debe exceder de 8 voltios, con separaciones entre electrodos de unos 15 cm.
- Velocidad de electrodeposición a 2 A/plg^2 y 50°C = 1 milésima plg/hora = 25,4 micras/hora
- Tinas o cubas de acero con revestimiento de PVC
- Ánodos : Aleación de plomo y 6-7% de estaño o 10% de antimonio.

3.3.4. ENJUAGUE CON AGUA CIRCULANTE

Es el proceso mediante el cual se elimina los restos de la solución de cromado duro.

Normalmente se hace con agua potable circulante en unas tinas revestidas con fibra de vidrio o PVC.

Finalmente es aconsejable tener una tina de agua caliente (+/- 80° C) para un enjuague final de las piezas y removido total de los restos de cromo, así como un secado con aire a presión.

CAPITULO IV

MEDICIONES FÍSICAS DE LA PELÍCULA DE CROMO DURO, ANÁLISIS DEL ELECTROLITO, CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y ASPECTOS GENERALES DE RESIDUOS CONTAMINANTES.

4.1. MEDICIONES FÍSICAS DE LA PELÍCULA DE CROMADO DURO:

4.1.1. ESPESOR: Si la forma de la pieza lo permite, se usan los MICRÓMETROS, que constituyen hasta hoy el sistema de medición indirecta más práctico y rápido.

Además se pueden usar los métodos magnéticos como por ejemplo el aparato "KROUSE TESTING", cuyo funcionamiento se basa en la medición, del esfuerzo de atracción necesaria para separar la punta de un imán de la superficie cromada sobre una base magnética, este esfuerzo es función del espesor de la película.

Además tenemos los aparatos "ELCOMETER" (inglesa), el "TORZUAT" (francesa), etc.

Existen otros sistemas, tales como:

- a) **Por inmersión:** Se basa en la comprobación del tiempo necesario para que una solución que ha sido normalizada penetre o perfore una película del cromo.
- b) **Ataque por proyección de chorro:** Consiste en proyectar mediante un pequeño chorro un reactivo normalizado, se establece el tiempo necesario, la altura de caída, el grado de inclinación y el volumen del pequeño chorro.

c) **Electromagnéticos:** Se basan en el hecho de que estableciendo un circuito magnético entre la base y un imán, la película, actuando de entre hierro, producirá una oscilación del flujo cuya medición sirve para determinar el espesor.

4.1.2. DUREZA: Existen diversos aparatos entre los cuales destacan los tipos “Bierbaum”, “Knoop”, “Dirtest”, “Girsching” y “Brivisor”. Siendo uno de los más modernos el “Brivisor” que ha sido construido especialmente para la medición de durezas superficiales (cromado duro, cementación, nitruración), esta equipado con un microscopio de 250 aumentos con iluminación en campo oscuro.

4.1.3. ADHERENCIA: Para la estimación de la adherencia se puede emplear los siguientes métodos:

- Erichsen.
- Rawdon
- Burguess: Este método tiene como inconveniente el calentamiento necesario de la soldadura que puede modificar la adherencia favorable o desfavorablemente.
- Schlotter y Schellenmeyer
- Ollard
- Knapp
- T. Vogramyan y Tsareva
- J.W. Beams
- Otros ensayos indirectos son el limado y el tratamiento catódico de 6-8 v en un baño de desengrase electrolítico. Si la pieza resiste este tratamiento durante más de 10 minutos, se puede decir que tiene buena adherencia.

4.1.4. RESISTENCIA AL DESGASTE: Siendo la más interesante cualidad de una película de cromo duro, su valoración exacta es aún más difícil que el de su dureza.

Como métodos de laboratorio debemos citar:

- Método Piersol: Determina la resistencia al desgaste por el tiempo necesario para desgastar una película de cromo, que debe tener como mínimo un espesor de 0,025 mm.
- Método de la máquina "Skoda-Sawin": Se basa en la medición micrométrica de la huella producida por un disco de acero de 30 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor, aplicado con presiones del orden de 500 a 2000 g y girando a velocidades del orden de 0,2 a 2m/s bajo un chorro de líquido refrigerador.

4.1.5. CONTROL DE LA POROSIDAD: Los porosímetros permiten comparar las superficies cromadas y porosificadas por mediación, con célula fotoeléctrica de la luz emitida por una fuente constante y reflejada después sobre la superficie porosa.

Otro sistema práctico y bastante seguro consiste en reproducir la porosidad sobre una película de material plástico reblandecido por el calor o por disolventes y aplicado sobre la superficie cromada hasta su endurecimiento.

4.2. ANÁLISIS DEL ELECTROLITO:

4.2.1. ANÁLISIS DEL CROMO HEXAVALENTE:

Una muestra de 10 cc del baño se diluye a 500 cc y de esta solución se toman 10 cc. Se añaden a esta última solución 2 g de bifluoruro de amonio, 15 cc ácido clorhídrico concentrado y 1 g de yoduro de potasio.

Se titula con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que el color café haya casi completamente desaparecido. Se añade unos cuantos cc de una solución de almidón al 1% y la titulación se continúa hasta que el color azul desaparezca.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Sea } V_1 &= \text{ ml. Tiosulfato de sodio 0,1 N consumidos} \\ \text{g/l CrO}_3 &= 16,667 \times V_1 \end{aligned}$$

4.2.2. ANÁLISIS DEL CROMO TRIVALENTE:

El método más sencillo para determinar el contenido del cromo trivalente implica:

1. Titulación del cromo hexavalente y
2. Titulación del cromo total una vez que el cromo trivalente ha sido oxidado a hexavalente.

La diferencia entre las dos titulaciones representa el contenido de cromo trivalente presente originalmente.

De la muestra diluida (10 cc del baño + 500 cc de agua) se toman 10 cc y se añaden 10 ml de peróxido de hidrógeno (30%). Se hierve durante 30 minutos, se enfría y se procede de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente.

Cálculos:

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{ ml de tiosulfato de sodio 0,1 N consumidos} \\ &\quad \text{anteriormente (cromo hexavalente).} \\ V_2 &= \text{ ml de tiosulfato de sodio 0,1 N consumidos} \\ \text{g/l Cr}^{+3} &= 8,667 (V_2 - V_1) \end{aligned}$$

4.2.3. ANÁLISIS DEL ÁCIDO SULFÚRICO:

A una muestra de 10 cc se añaden 10 cc de ácido clorhídrico concentrado, 25 cc de alcohol etílico y 40 cc de ácido acético glacial. La solución se hierve durante 15 minutos, se diluye con agua caliente hasta 150 cc, se deja reposar y se filtra para eliminar cualquier impureza suspendida. El filtrado se calienta hasta ebullición y se añade poco a poco con agitación 10 cc de una solución al 10% de cloruro de bario. La solución se deja reposar de 2 a 4 horas a unos 70° C, después de los cuales se filtra el precipitado se lava con agua caliente se calcina y se pesa.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Sean } p &= \text{ g (peso del precipitado)} \\ \text{g/l H}_2\text{SO}_4 &= 42,01 \times P \end{aligned}$$

4.2.4. ANÁLISIS DEL HIERRO:

Debido a que el hierro está disuelto en forma trivalente se determinara de la siguiente manera:

Una muestra de 25 cc del baño de cromo se diluye a 200 cc, se calienta hasta ebullición y se añade un ligero exceso de hidróxido de amonio. El precipitado de hidróxido crómico y de hidróxido férrico conteniendo algo de cromato, se filtra y se lava nuevamente con agua caliente. El precipitado se disuelve nuevamente en ácido sulfúrico diluido y se agrega un exceso de hidróxido de sodio y unos cuantos cc de peróxido de hidrógeno. La solución se hierve y se filtra; el precipitado se disuelve nuevamente en ácido sulfúrico y se hierve con hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno filtrándose una vez más. El precipitado se calienta y se pesa.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Sean } W &= \text{ g (peso del precipitado)} \\ \text{g/l de Fe} &= 28 \times W \end{aligned}$$

4.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA :

El agua que se utiliza debe ser de gran pureza, garantizando la adecuada preparación de la solución electrolítica y además siendo eficaz para el proceso de enjuague.

Las características que debe reunir el agua a utilizar son las siguientes:

- Ph : $7 \pm 0,2$
- Dureza (ppm Ca CO₃) : 18 máximo
- Cloruros (ppm Na Cl) : 2 máximo
- Sulfatos (ppm Ca SO₄) : 2 máximo
- Sólidos totales (mg/l) : 20 máximo

El agua con esta característica se puede obtener por las siguientes vías:

4.3.1. DESTILACIÓN:

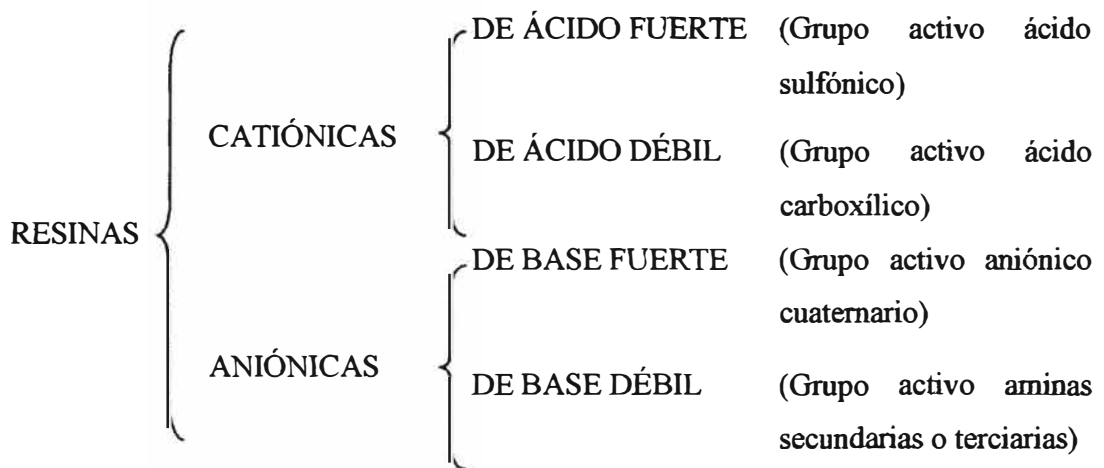
Consiste en calentar el agua hasta su punto de ebullición a partir del cual los vapores de agua son conducidos por un tubo a un serpentín, donde son enfriados con agua fría, en contracorriente; hasta que los vapores de agua se condensan; en el recipiente de ebullición se quedan las sales e impurezas del agua.

4.3.2. ABLANDAMIENTO Y DESMINERALIZACIÓN POR INTERCAMBIO IÓNICO:

Al referirnos al ablandamiento, estamos refiriéndonos a la operación de eliminar la dureza exclusivamente. Cuando decimos desmineralización, nos estamos refiriendo a la operación de eliminar todos los iones que se encuentren disueltos en el agua. De esto se desprende que una desmineralización representa una purificación más integral del agua.

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO:

Tanto el ablandamiento como la desmineralización se realizan desde hace unos 30 años por medio de resinas sintéticas. Estas resinas son polimeros o macromoléculas derivados del estireno, benceno, formaldehído, fenol, etc. Todos ellos derivados del petróleo. Las resinas de intercambio iónico se clasifican de la forma siguiente:



Las resinas catiónicas, son las que tienen afinidad por los cationes (iones positivos, de calcio, magnesio, sodio, hidrógeno, etc.)

Las resinas aniónicas son las que tienen afinidad por los aniones (iones negativos tales como carbonato, sulfato, cloruro. Oxidrilo, etc.) El hecho de ser ácido base fuerte o débil, hace que se comporten en forma diferente los iones.

Las resinas de intercambio iónico, presentan la característica común, de que cuando se encuentran en presencia de determinado tipo de ión en solución (fracción de la molécula con carga positiva o negativa) ceden el ión que llevan adherido, cambiándolo por los iones en cuya presencia se encuentran.

Un aspecto muy importante de esta propiedad de las resinas de intercambio, es que el intercambio puede revertirse, con solo variar las condiciones del proceso. De esta característica se aprovecha para hacer uso del proceso de intercambio, como, un proceso de uso y regeneración repetidos indefinidamente.

4.4. ASPECTOS GENERALES DE RESIDUOS CONTAMINANTES:

Los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales contienen 25% del cromo hexavalente, por tanto no deben descargarse al sistema de alcantarillado, sino ser dispuestos en un relleno industrial, previa reducción de la humedad en el lecho del secado y posterior solidificación.

La remoción del cromo se realizan en 2 etapas, la primera consiste en la reducción del cromo hexavalente a trivalente, lo cual es necesaria para su precipitación. En la segunda etapa ocurre la remoción propiamente dicha, la precipitación química del cromo trivalente con NaOH al 22,5%.

En el Perú no existe una legislación ni norma alguna con respecto a los residuos de un proceso electroquímico del cromado. Mientras que en otros países se contemplan las siguientes normas, para recubrimientos galvánicos:

DIN 50950 (norma). Ensayo de recubrimientos galvánicos; determinación microscópica del grueso del depósito.

DIN 50950 (norma). Ensayo de recubrimientos galvánicos; determinación del grueso de depósito de recubrimientos delgado de cromo por el método de los toques.

CAPITULO V

EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA EL CROMADO DURO

5.1. CUBAS, TINAS O TANQUES DE TRATAMIENTO

Su diseño y material de construcción depende de ciertos factores, vale indicar en calidad de ejemplo algunos de ellos:

Deben ser inacatables por la solución electrolítica.

Deben soportar la temperatura de trabajo sin deformarse ni alterarse.

Deben ser indeformables a la presión de la solución que contiene etc.

Las tinas para el cromado, pueden ser de diversas formas, siendo generalmente estas de forma cilíndrica o de un paralelepípedo rectangular.

Las piezas que se procesan no deben chocar con las paredes ni el fondo de las tinas; pero si deben quedar totalmente sumergidas en la solución.

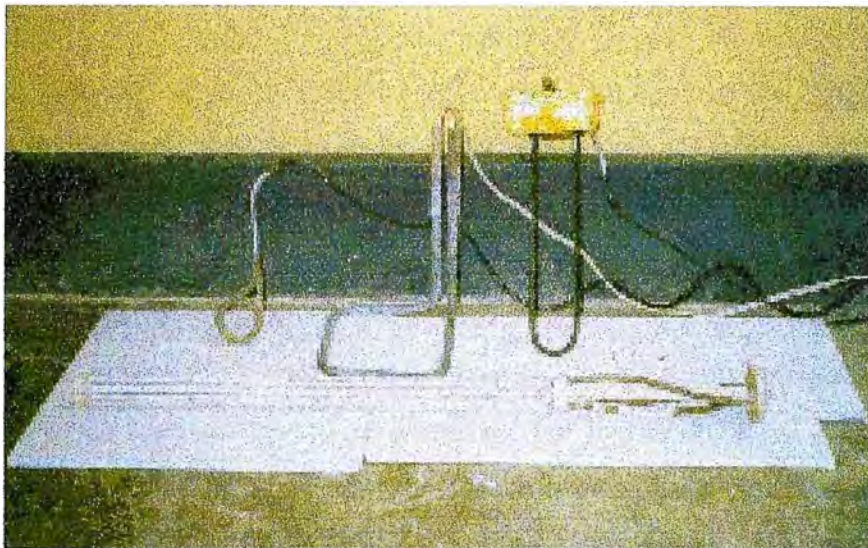
Las tinas se pueden fabricar de diversos materiales así como el policloruro de vinilo o polivinil chloride (PVC), polipropileno, fibra de vidrio, etc.

5.2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

Para el proceso de cromo duro, empleamos el tipo de calentamiento interno, vale decir el sistemas de calefacción por inmersión; mediante calentadores eléctricos.

Estos calentadores de fácil instalación, operación y mantenimiento y además están constituidos por resistencias eléctricas, aisladas de la solución mediante una cubierta o funda, desde luego inatacable por el baño.

En el mercado encontramos calentadores con cubiertas de diversos materiales, siendo las más eficaces para el proceso de cromo duro, las de teflón, plomo, titanio, vidrio o cerámica.



Calentadores de Inmersión

5.3. FUENTE DE ENERGÍA

La fuente de energía que usamos para el cromado duro esta constituido por los rectificadores de corriente, que basan su funcionamiento en la rectificación de la corriente alterna proveniente de las empresas eléctricas; dicha corriente alterna se convierte en continua al pasar a través de los semiconductores que tienen estos equipos, los cuales dejan pasar sólo la mitad de la onda senoidal.

Los rectificadores de corriente, además de los semiconductores, están equipados con transformadores de corriente, dispositivos de regulación y control, indicadores de voltaje, amperaje, etc.

El transformador de corriente es un elemento muy importante, ya que es el que se encarga de reducir la corriente alterna de 110, 220, 380 ó 440 V al voltaje de trabajo que puede ser de 3 a 70 V.

Los transformadores pueden ser monofásicos o trifásicos, empleándose lógicamente, de acuerdo a la capacidad de la planta de cromo duro, ya sea por el tamaño de las piezas o por la cantidad de piezas que se desea cromar por carga.

En el mercado existen rectificadores con dispositivos de regulación continua, los que a su vez pueden ser de regulación automática o manual. En el primer caso la regulación del voltaje es realizada automáticamente para compensar las caídas de tensión cuando se incrementa o disminuye la carga de piezas en el baño.

En los dispositivos de regulación manual, es el operador quien debe efectuar dicha regulación, el cual puede ser por medio de “taps” o saltos de voltaje. En este caso las llaves de selección de voltaje son contactos de posiciones múltiples que están conectadas a derivaciones que salen de la bobina primaria o secundaria del transformador de modo tal que cada movimiento del selector modifica la extensión de la bobina, y en consecuencia produce variación del voltaje.

Casi todos los rectificadores requieren de un sistema interior de refrigeración, ya que tanto el transformador como los semiconductores producen desprendimiento de calor; el cual debe ser adecuadamente retirado para garantizar el buen rendimiento del equipo.

Generalmente los sistemas de refrigeración son de dos tipos:

Refrigeración por aire.

Refrigeración por aceite.

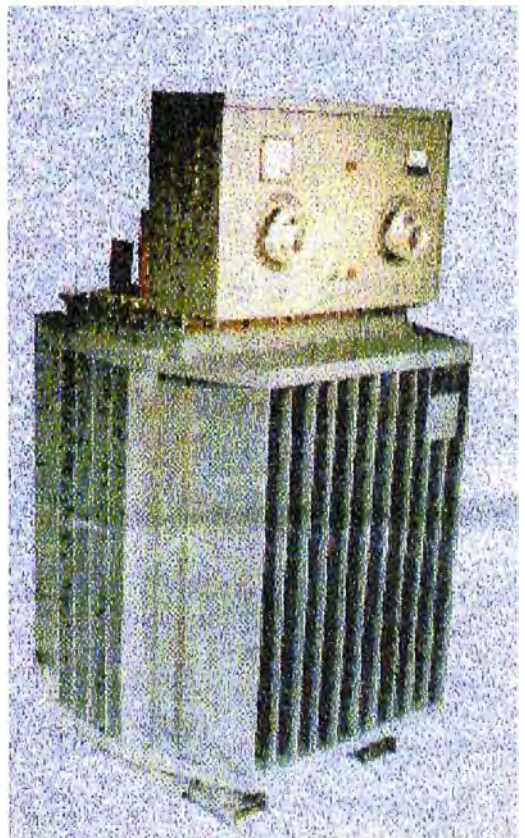
En el primer caso, se conduce el enfriamiento mediante un ventilador axial que funciona mientras el rectificador este en operación.

En el segundo caso, el transformador y los dispositivos de rectificación se encuentran sumergidos en aceite, dentro de cajas con tubos exteriores, especialmente diseñadas para el enfriamiento.



*Rectificador de Corriente
refrigerado por Aire*

*Rectificador de Corriente
refrigerado por Aceite*



5.4. ÁNODOS

Viene a ser el electrodo positivo en la celda electrolítica, el cual permite cerrar el circuito eléctrico en el baño, en este electrodo se lleva a cabo las reacciones de oxidación al paso de la corriente eléctrica por la diferencia de potencial que se produce cuando se cierra el circuito con una fuente de energía de corriente continua externa.

Según el comportamiento de los ánodos dentro de la solución, estos se clasifican en:

- Ánodos solubles y
- Ánodos insolubles

Ánodos Solubles: Están constituidos por el mismo material que se deposita y se le emplea al estado puro, sea en barras, planchas o trozos en cestos especiales. Estos ánodos, además de conductor eléctrico, sirven también para renovar los iones metálicos en el baño y substituir a los que se han descargado en el cátodo como depósito. Están constituidos por material puro para evitar la contaminación del baño; sin embargo se recomienda utilizarlos dentro de fundas de tela para impedir que las partículas pequeñas que se pudieran desprender del ánodo, pasen a la solución. Las partículas pequeñas de los ánodos disueltas en el baño pueden ser la causa de recubrimientos rugosos, mates o quebradizos. En la mayoría de los baños, en los cuales se emplean ánodos solubles, se aconseja mantener una relación de ánodo a cátodo de 2 a 1, para asegurar que la cantidad de metal que se disuelve en el ánodo, sea la misma del metal que se deposita en el cátodo.

Entre los baños electrolíticos que utilizan estos ánodos se tiene: el de cobre, Niquel, cadmio, cinc, plata, oro, latón, bronce, etc.

Ánodos Insolubles: Son aquellos que no se disuelven en la solución, porque se construyen de materiales inertes al baño. Se utilizan cuando el material que se deposita no es posible obtenerlo comercialmente puro y macizo como es el caso del cromo, o cuando el metal que se deposita tiene

alto grado de disolución, lo que produciría rápido enriquecimiento de la solución con los iones metálicos hasta producir un desbalance del baño.

Entre los baños electrolíticos que utilizan ánodos insolubles, tenemos el **baño de cromo**, que utiliza ánodos de plomo aleado con estaño.

Con respecto a las diversas formas de los ánodos, tenemos las de sección ovalada o en forma de barras o de planchas, siendo también posibles ánodos en forma de bolas o trozos pequeños que se colocan dentro de cestos de sección rectangular o circular, contruidos de material insoluble como el titanio. El tamaño de los ánodos dependerá de la profundidad de la tina donde trabajan, debiendo tener cuidado de no tocar el fondo para evitar posibles daños al material o revestimiento de la tina. Para casos especiales, cuando las piezas a tratar son de forma tortuosa, con cavidades y sobre relieves continuos se utilizan ánodos de formas muy diversas y específicas, como por ejemplo en el caso del revestimiento con cromo duro de los puños de un cigüeñal. Algunas veces se incorporan mecanismos de movimiento, para garantizar la homogeneidad del cromado.



Ánodos de plomo: 6-7% de estaño

5.5. BASTIDORES, SOPORTES O GANCHOS

Son dispositivos que sirven para colocar y mantener las piezas dentro del baño durante la electrólisis, en las condiciones necesarias de posición y contacto eléctrico, ya sea con el cátodo o el ánodo. Debido a la diversidad de piezas con formas y tamaños específicos, resulta imposible señalar procedimientos universales o estandarizados, para la fabricación de los bastidores; sin embargo cabe señalar algunos requisitos para diseñar un bastidor eficiente:

- Facilidad de carga y descarga
- Buen contacto eléctrico.
- Adecuada distribución para su capacidad de carga
- Posición adecuada de las piezas para evacuación de los gases.
- Propiciar mínimas pérdidas de la solución electrolítica, por arrastre.
- Dispositivos adecuados para izamiento y transporte.
- Máximo aislamiento de las zonas que no se debe revestir.
- Construcción de pantallas de protección de aristas vivas.

Antes de diseñar un bastidor ,se debe evaluar la forma, tamaño, las aristas vivas y cavidades de la pieza a revestir, de tal forma que se garantice una adecuada distribución frente a los ánodos, y poder así garantizar uniformidad en el depósito electrolítico.

Algunas veces cuando las piezas presentan aristas vivas de gran consideración, es conveniente diseñar un bastidor con pantallas de protección, que se construye de material no conductor, con el fin de corregir la electrodeposición irregular que se produciría sin la pantalla.

Un efecto similar se produce mediante el empleo de los llamados “roba corriente” ,los cuales son dispositivos metálicos que se colocan junto a las aristas vivas de la pieza que se va a cromar, de modo que parte de la corriente eléctrica y parte del cromo a depositarse se dirige también hacia esta pieza adicional, evitando la formación de protuberancias irregulares sobre la pieza que se esta cromando.

Piezas a cromar con "Roba Corriente"



En los casos de cavidades muy profundas, como por ejemplo, los cilindros de combustión interna es recomendable utilizar ánodos auxiliares que se introduzcan dentro del cilindro, para facilitar el flujo de la corriente eléctrica de una manera uniforme, contrarrestando las aristas vivas y acercando el ánodo a las zonas que por estar relativamente escondidas, reciben escasa densidad de corriente.

CAPITULO VI

APLICACIONES INDUSTRIALES MÁS IMPORTANTES

6.1. CROMADO DE HERRAMIENTAS DE CORTE:

Se obtiene las siguientes ventajas:

- ❖ El bajo coeficiente de rozamiento, lográndose una mayor facilidad en el desprendimiento de la viruta; y por ende, bajar la temperatura de las herramientas durante el trabajo, reducir y uniformizar los esfuerzos de rozamientos, y de vibraciones.
- ❖ La disminución de la tendencia de agarrotamiento; y como consecuencia la mejora en la fricción.
- ❖ La resistencia a la corrosión.

6.2. CROMADO DE CILINDROS Y CAMISAS DE MOTORES DE EXPLOSIÓN:



*Bloques y
Cilindros
cromados
interiormente*

6.3. CROMADO DE ALUMINIO Y SUS ALEACIONES LIGERAS:

Tiene un enorme campo de aplicación en la fabricación de camisas de aleaciones ligeras para cilindros de motores de explosión; dándole una elevada resistencia a la oxidación y eliminando así; uno de los principales factores de desgaste.



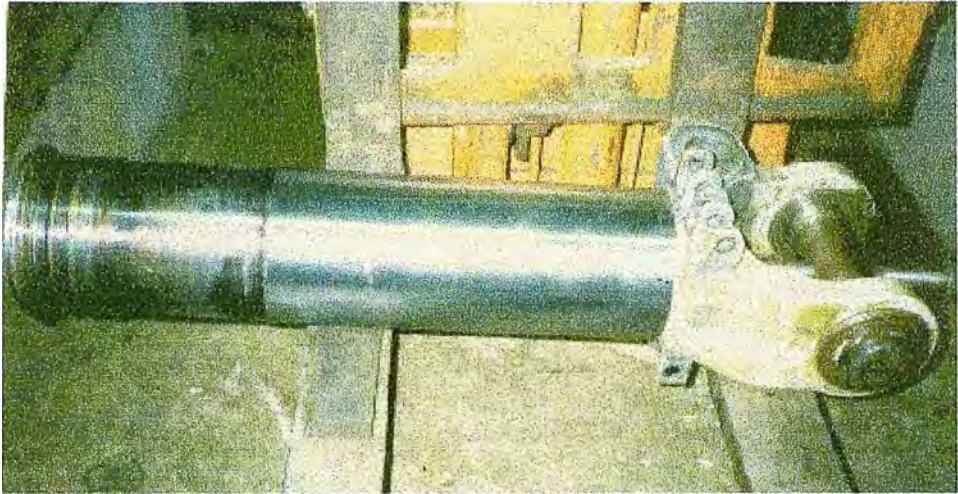
Cilindros de aleaciones ligeras cromadas

6.4. CROMADO DE PIEZAS DE FORMA CILÍNDRICA:

Tenemos el cromado de cilindros para la laminación de metales, fabricación de papel y cartón, estampado de tejidos, telas, cilindros para la fabricación de productos alimenticios (chocolates, leche en polvo, pastas etc) Además ejes, pistones, émbolos y cilindros para máquinas hidráulicas, ejes de levas, émbolos para trenes de aterrizaje, etc.



Cilindros cromados para laminación de metales



*Pistón principal de tren de aterrizaje de avión DC-8
Longitud: 40 plg. Diámetro: 8 plg.*



*Árbol central de un motor de turbina de vapor, de
la industria azucarera
Longitud: 50 plg. Diámetro: 8 plg.*

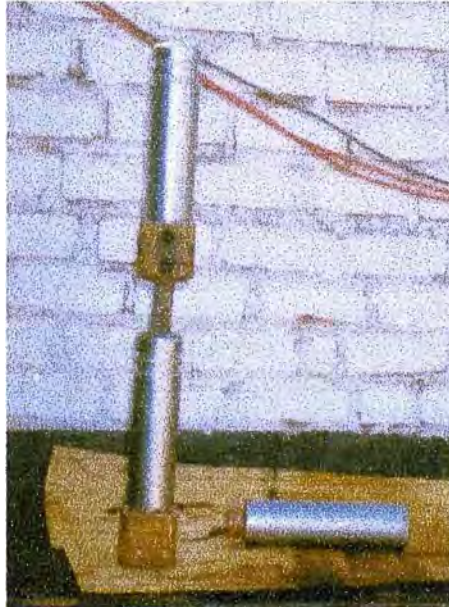


Rodillo de imprenta
Longitud: 50 plg. Diámetro: 10 plg.



Pistón Hidráulico de doble efecto
Longitud: 120 plg. Diámetro: 8 plg.

Pines de transmisión de cargador frontal de maquinaria pesada





Válvulas de control hidráulico



Eje de Turbina

6.5. CROMADO DE CIGÜEÑALES:

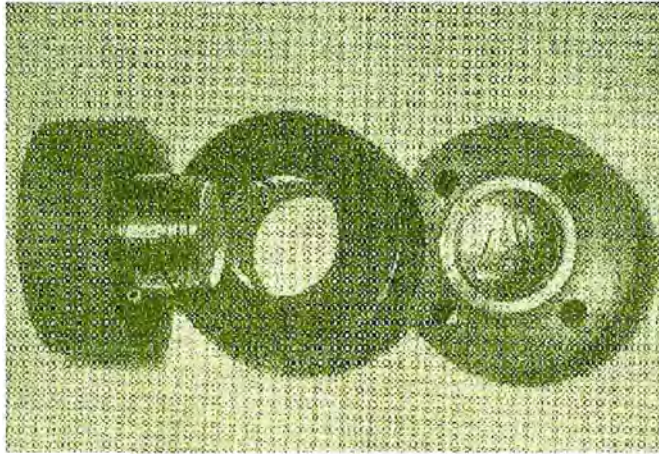
Cabe mencionar en calidad de ejemplo, que el ajuste de cojinetes y rectificación de cigüeñales cromados, tuvo lugar sólo después de un número de horas de trabajo tres veces mayor que el normal en cigüeñales sin cromar.



*Cigüeñal de motor
naval
Longitud: 6 m*

6.6. CROMADO DE MATRICES:

Con el cromado de matrices, troqueles, machos o punzones y útiles para estampar, embutir o estirar metales, no sólo se alarga considerablemente la vida útil, sino que al mismo tiempo se reduce el trabajo de pulido de las piezas estampadas.



Molde para acuñar monedas

6.7. CROMADO DE MOLDES PARA COMPRESIÓN DE PLÁSTICOS:

Entre las ventajas más interesantes que abogan por el cromado duro de estos moldes podemos considerar lo siguiente:

- 1) Inatacabilidad del cromo por los éteres celulósicos, la nitrocelulosa, el acetato de celulosa, resinas fenoplásticas, amino plásticas y vinílicas, acetato y cloruro de polivinilo, etc.
- 2) Debido al bajo coeficiente de rozamiento de la película de cromo, ésta constituye una superficie ideal para la compresión de las resinas.
- 3) El material prensado con moldes cromados, adquiere un mayor brillo y además, el brillo de la película de cromo del molde es mucho más difícil de empañar que el del acero mejor pulido.

6.8. CROMADO DURO EN LA FABRICACIÓN DE ARMAMENTO

CAPITULO VII

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL CROMADO DURO

7.1. COSTOS DE INSUMOS, ACCESORIOS Y MANO DE OBRA

En los costos del cromado duro de una superficie intervienen esencialmente:

- a) El cromo depositado en forma de metal y pérdidas sufridas en el proceso.
- b) La corriente eléctrica.
- c) La mano de obra.
- d) Los materiales accesorios necesarios para el aislamiento y protección de superficies, ánodos especiales, etc.
- e) Soportes especiales.

En calidad de ejemplo tenemos el caso para el cromado duro de 1 dm^2 ($15,5\text{ plg}^2$) de superficie a un espesor de $0,03\text{ mm}$ ($1,18$ milésima de pulgada o 30 micras).

- Consumo total de óxido crómico:	:	7,9 g
- Corriente eléctrica	:	1,5 kw de corriente alterna
- Mano de obra especialista	:	0,033 hora
- Mano de obra auxiliar	:	0,066 hora
- Materiales accesorios	:	equivalente al 20% del valor del óxido crómico consumido.

Como es natural todos estos valores son necesariamente aproximados de tal forma que en un trabajo tan complejo, como el del cromado duro, las variaciones pueden oscilar hasta en un 50%.

Además es preciso contemplar los siguientes procedimientos en el cual es sometida la pieza, ya sea antes o después del cromado duro:

- Proceso preliminar o de preparación de superficie: desbastado, pulido, decapado y desengrase.
- Proceso de acondicionamiento metalúrgico del material: horneado o martilleo.

Como conclusión final y con alta dosis de aproximación, el costo de cromado duro es de US\$ 7,75 (siete con 75/100 dólares americanos) por dm^2 ó US\$ 0,5 (50/100 dólares americanos) por plg^2 .

7.2. INVERSIÓN EN UNA PLANTA DE CROMADO DURO:

- **Infraestructura Civil** **US\$ 2 000.00**
 - Instalación sanitaria: agua y desagüe, canaletas de drenaje, etc.
 - Sistemas de instalación eléctrica monofásica y/o trifásica.

- **Grúa puente de 5 toneladas** **US\$ 2 000.00**
 - Esta grúa puente debe cubrir toda el área del taller, de tal manera que sea factible desplazar piezas pesadas a cualquier punto del taller.

- **Equipo desionizador de agua** **US\$ 1 500.00**
 - Teniendo ya la implementación básica necesaria, se puede implementar el taller con el número de tinas necesarias dependiendo de la cantidad de rectificadores disponibles y sus capacidades respectivas. A continuación se ilustra algún tipo de tina y su costo aproximado:

A. **Tinas redondas de 200 litros de capacidad**

- | | |
|--|-----------|
| 1) Tina redonda de 200 litros de capacidad | \$ 200.00 |
| 2) Ánodos de Pb-Sn (al 7%) 10 unidades | \$ 300.00 |

3) Un calentador de botella con vástago de acero revestido con teflón, de 2KW	\$ 800.00
4) Platinas de cobre p/corriente continua	\$ 300.00
5) Químicos en general	\$ 650.00

Nota: Los costos no incluyen mano de obra, ni costos por instalación, transporte, etc.

B. Tinas rectangulares de 1500 litros de capacidad

1) Tanque de acero forrado en AVC	\$1 500.00
2) Enfriador de teflón alemán	\$1 200.00
3) Calentadores de botella de 2KW (3 unid)	\$2 400.00
4) Ánodos de Pb-Sn (al 7%) 25 unidades	\$ 750.00
5) Platinas de cobre p/corriente continua	\$ 500.00
6) Bastidor, soportes y ferretería	\$1 000.00
7) Químicos en general	\$3 750.00

Nota: Los costos no incluyen mano de obra, ni costos por instalación, transporte, etc.

Las tinas redondas del **Tipo A**, pueden ser útiles para piezas cilíndricas de 90 cm. De largo y de 3 pulgadas de diámetro como parámetros máximos en las magnitudes de las mismas.

Las tinas rectangulares del **Tipo B**, son más versátiles pudiéndose procesar en ellas cualquier geometría de piezas, dependiendo solamente del tipo de Ánodo con que se trabajará. En este caso se presenta como el equipo adecuado para procesar matrices.

- **Rectificadores de Corriente**

El costo de un rectificador de corriente depende de la capacidad de corriente continua que pueden abastecer en la salida del mismo; a continuación mencionamos algunos costos de rectificadores que pueden ser fabricados en el país:

A. Rectificador de 1500 amperios y voltaje gradual de 0 a 15 voltios, en la salida	\$ 1 500,00
---	-------------

B. Rectificador de 4000 amperios y voltaje de 0 a 15
voltios, graduados en la salida:

- | | |
|--------------------------------|--------------|
| - Si es refrigerado por aire | \$ 10 000,00 |
| - Si es refrigerado por aceite | \$ 13 000,00 |

En rectificador de 1500 amperios, puede abastecer hasta dos tinajas redondas, orientadas principalmente para vástagos y ejes, mientras que el rectificador de 4000 amperios, tiene un espectro de aplicación muy amplio.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Las características que le dan valor a una película de Cromo Duro, son:
 - Resistencia al desgaste.
 - Resistencia al rayado.
 - Dureza.
 - Resistencia a la corrosión.
 - Coeficiente de rozamiento.

- 2) La resistencia al desgaste de una película de cromo, está influida principalmente por la relación: densidad de corriente-Temperatura, y aumenta con la elevación simultánea de la Temperatura y la densidad de corriente. Los valores más altos de resistencias al desgaste han sido hallados en películas obtenidas con densidades de corriente del orden de 70 A/dm² (4,5 A/plg²) y trabajando a 50°C, pero en la practica, se trabajan a 50°C y a 30-40 A/dm² (1,94-2,60 A/ plg²)

- 3) Una película de cromo de una dureza superior A 1116 Vickers o 745 Brinell o 70 Rockwell C no es recomendable en la mayoría de los casos, por presentarse fenómenos debidos a tensiones internas, que dan lugar a una fragilidad excesiva de la película.

- 4) Las causas más importantes de la dureza del cromo depositado electrolíticamente son: El tamaño sumamente pequeño de los cristales de cromo y la especial disposición que estas adoptan durante la formación del depósito. Influye además de una manera notoria, el hecho de la oclusión de átomos de hidrógeno dentro del cristal cúbico de cromo, obligándose a este una orientación favorable. Además influye también en la dureza, la inclusión de pequeñísimas partículas de

óxido de cromo, que ejercen una acción de taponamiento, impidiendo a la vez el deslizamiento cristalino. Además, influyen en la dureza, la composición química del baño, su densidad, temperatura, régimen de corriente, etc.

- 5) A la temperatura normal y constante de trabajo (alrededor de 50°C) y con bajas intensidades de corriente (menores a 16 A/dm²), se obtienen depósitos de cromo blando de aspecto lechoso y ligeramente mate. A mayor densidad de corriente, la película adquiere el tono azulado brillante característico del cromado duro normal, y con un exceso de corriente (mayor de 60 A/dm²) la película es áspera, con tendencia a la formación de arborescencias y aunque muy dura, es quebradiza en extremo.
- 6) El cromo se “pasiva” rápidamente y adquiere un potencial electroquímico de la magnitud de un metal noble, protegiendo eficazmente al hierro y al acero y de ahí la utilización del cromado duro como protección anticorrosiva y además por su estructura finamente cristalina tiene una capacidad de absorción, retención o humedecimiento casi nula, por lo cual tienden a “resbalar” sobre el cromo, toda clase de líquidos, polvo, grasa, virutas, limaduras, etc. Y como la película de cromo no se oxida hasta llegar a unos 800°C, esta resistencia a las altas temperaturas ha sido aplicada en campos industriales.
- 7) Debido al bajo coeficiente de rozamiento del cromo, lo hace particularmente apto para trabajos con rozamientos continuos, siendo un ejemplo característico el cromado de las camisas y cilindros de los motores de explosión y el de los cigüeñales. Además el rozamiento con superficies cromadas es siempre suave y por ello, en lugar de producir sobre la superficie con las que roza los efectos característicos del desgaste mecánico (grietas, asperezas, etc) las hace más lisas y finas.

- 8) Siendo muchos los metales sobre los cuales puede depositarse una película gruesa de cromo por métodos electrolíticos en la práctica sólo tiene interés el cromado del hierro, del acero, del aluminio y sus aleaciones ocasionalmente, el cobre y el latón.
- 9) Una de las consideraciones más importantes que se debe tener en cuenta para optar por la posibilidad y/o conveniencia del cromado duro de cierta clase de metal o aleación es el comportamiento del material base, o sea el aspecto metalúrgico de las piezas; vale decir, no sólo el concurso técnico del electroquímico, sino también del técnico metalurgista, proyectista, etc. Además cabe indicar que las 4 condiciones más importantes para la realización del cromado duro son: La corriente, la temperatura, la concentración de CrO_3 y SO_4^{2-} .
- 10) La mayor parte de los hierros fundidos no pueden cromarse por su típica estructura superficial, su porosidad y su contenido en grafito, mientras las que se pueden cromar son aquellas cuya fundición son de grano finísimo, uniforme, sin poros, y con superficie perfectamente pulimentada, como por ejemplo en los cilindros de los motores de combustión. La mayor parte de los aceros pueden cromarse, vale decir los aceros corrientes de construcción al carbono, al níquel-cromo o con pequeños contenidos de otros metales de aleación, otros aceros especiales, también se pueden cromar, vale decir los aceros inoxidable tipo 18-8 (18% Cr; 8% Ni); los aceros con bajos contenidos en tungsteno o manganeso, o los aceros con contenidos de vanadio y molibdeno (hileras o punzones) o los aceros con contenidos de vanadio o cromo (herramientas de corte, calibres etc.)
- 11) Para el descromado se recomienda usar una solución de sosa cáustica al 20% en masa, contenida en una cuba de plancha de hierro cuya masa puede actuar como cátodo, o bien empleando cátodos de plancha de hierro o de acero inoxidable, de superficie igual o mayor que la de las

piezas. El baño trabaja en frío con densidades de corriente aproximadamente de 8 A/dm^2 ($0,52 \text{ A/plg}^2$) a 15 cm de distancia entre electrodos a una tensión de 6 voltios. La duración del tratamiento depende en gran parte del espesor de la capa donde aproximadamente se toma una hora para disolver una película de 0,04 mm. También pueden disolverse químicamente las películas de cromo con una solución de ácido muriático.

- 12) La fragilidad de la película de cromo y, en consecuencia, la necesidad del desgaseado, no depende únicamente del volumen o cantidad de gases adsorbidos, sino también del estado de la superficie antes del cromado o de la clase de material base. Sin embargo es en gran parte la adsorción del hidrógeno, la que da al cromo depositado según la técnica de cromo duro, una dureza y resistencia al desgaste que no tiene este metal en su estado natural. El desgaseado es de gran importancia en piezas de hierro y acero que tengan que descromarse y cromarse de nuevo.
- 13) Con respecto al humectante, esto constituye un tensoactivo con formulación patentada y que tiene principalmente las siguientes funciones:
 - a. Bajar la tensión superficial del líquido permitiendo que la solución “moje” la pieza a cromar, porque sino es así aumentaría la resistencia al cromado; o mejor dicho no se evitaría sustancialmente el fenómeno de Polarización.
 - b. El humectante forma un “colchón” de burbujas, el cual atrapa los vapores de CrO_3 que son arrastrados por el hidrógeno gaseoso; esto nos garantiza un mayor tiempo de resistencia del CrO_3 y como tal vuelve a la solución mientras que el H_2 va a la atmósfera.



- 14)** En la técnica del cromado duro no se utilizan abrillantadores, ni tampoco recubrimientos previos, tales como, cobreado, niquelado, etc. Siendo esto una de las diferencias con el cromado decorativo.
- 15)** Para el análisis de la solución existe un método práctico y rápido, que es lo que se hace comúnmente en la planta, esto es la densidad; vale decir, debe tener el valor de 21,6-22 °Be aproximadamente. Si el Cromado persiste en tener defectos, recurrimos al análisis químico.

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

1. JOHN O'M. BOCKRIS; Amulya K.N. REDDY (1980)
Electroquímica Moderna, Volumen 2, España
Editorial Reverte, S.A.
2. SANZ Y MASSUET, Instituto Electroquímico S.A.
Aplicaciones Industriales del Cromado Duro. Barcelona, España
3. GUILLERMO MATAMALA RIVAS.
Corrosión (1978)
Universidad de Concepción
4. BOEHLER HERMANOS Y CIA.
Consejos para el tratamiento térmico
Fábricas de Aceros Finos
5. COLECCIÓN: INGENIERÍA MEDIO AMBIENTAL.
ECOLOGÍA INDUSTRIAL: INGENIERÍA AMBIENTAL APLICADA A
LA INDUSTRIA Y A LA EMPRESA.
2º Edición
Ediciones Mundi Prensa 1998
6. JOSÉ R. BARCELÓ (1982)
Diccionario Terminológico de Química
Primera Edición
Editorial Alambra S.A.

7. ESCUELAS INTERNACIONALES, CENTRO INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA.

Electroquímica – Primera Edición

Pilas Eléctricas – Segunda Edición

Buenos Aires, Argentina

8. HUGO KRAUSE

Análisis y control de baños y recubrimientos en Galvanotecnia

2º Edición

editor: José Montejo

9. L. ARBELLOT

Manual práctico de recubrimientos electrolíticos

Editorial Hispano Europea

Barcelona – España

10. ROBER H. PERRY; CECIL CHILTON

Biblioteca del ingeniero químico

5º Edición, Volumen 1 (de 3 volúmenes)

MCGRAW-HILL

11. <http://www.cdb.es/cromoduro.htm>

12. http://www.ktech-ceramics.com/strech_121.htm.

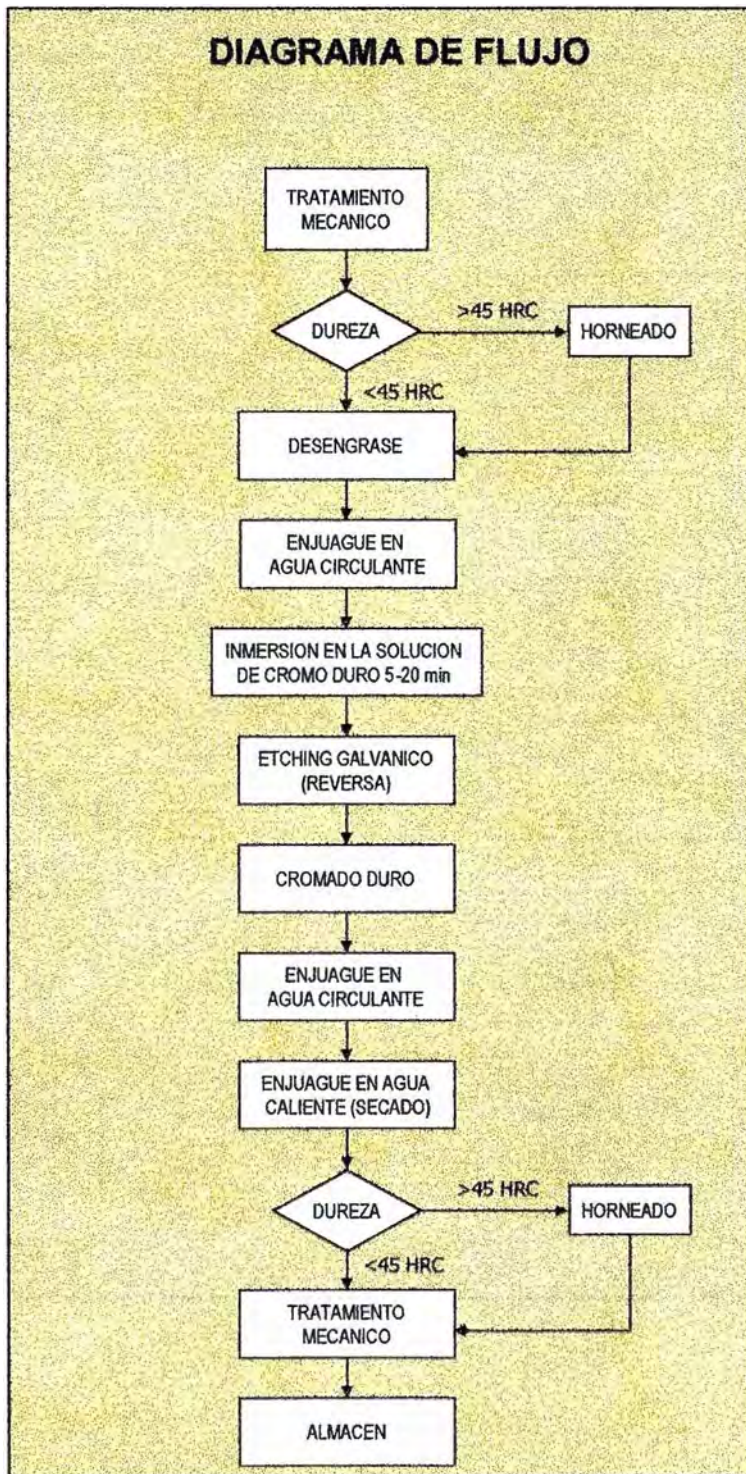
13. <http://www.colombiapack.com/clientes/nicol/nicole..htm>.

14. <http://www.iksl.es/castellano/21/esp2106.htm>

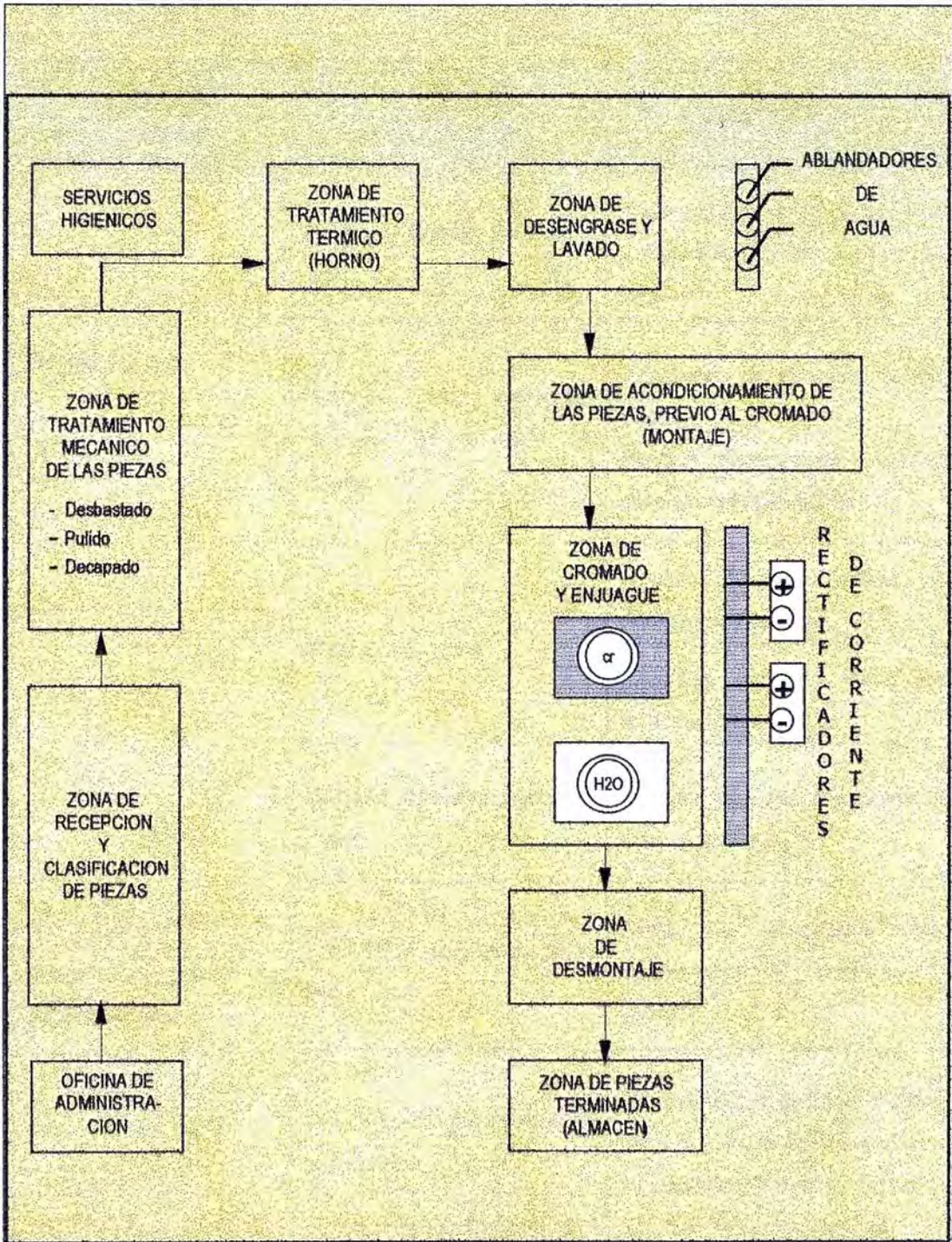
CAPITULO X

APENDICE

10.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO DURO.



10.2. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PARA EL PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CROMADO DURO.



10.3. CUADRO DE IDENTIFICACIÓN, ORIGEN PROBABLE Y CORRECCIÓN DE DEFECTOS EN EL PROCESO DE CROMADO DURO.

DEFECTO VISIBLE	ORIGEN POSIBLE	CORRECCION
Depósito picado	Partículas aisladas de grasa o cera.	Tener cuidado sobre la limpieza y separación de las partículas de cera.
	Burbujas de hidrógeno atrapada en la capa de cromo.	Acomodar la posición de las piezas. Agregar humectante (aditivo generalmente patetando).
Pobre adherencia al material de base	Presencia de grasa	Revisar el procedimiento de desengrase y corregir.
		Chequear que las aguas de enjuague estén bien.
	Escamas de óxido sobre las piezas.	Decapar en ácido o remover el óxido por pulido.
	Solubilidad de la pieza en el baño.	Evitar que las piezas estén mucho tiempo sin corriente en el baño.
	Interrupción momentánea de la corriente.	Al reanudar el proceso se debe hacer un decapado anódico por 10 segundos en el mismo baño.
	Intento de cromar sobre cromo viejo.	Quitar la capa vieja de cromo antes de cromar.

CONTINUACIÓN...

DEFECTO VISIBLE	ORIGEN POSIBLE	CORRECCIÓN
Depósito con manchas blancas.	Relación de ácido crómico/sulfato, alta	Incrementar sulfato en 0,15 g/l cada vez.
Deposición parcial, con manchas del material de base desnudo, especialmente en zonas de baja densidad de corriente.	Solución fuera de balance	Efectuar análisis del baño y corregir defecto.
	Corriente eléctrica demasiado baja en dichas áreas.	Incrementar la densidad de corriente y chequear los contactos y capacidad de los bastidores.
	Alta temperatura del baño.	Refrigerar la solución y contrarrestar la poca eficiencia aumentando la densidad de corriente.
	Pasivación local de la superficie	Asegurarse de la realización correcta del ataque anódico previo .
Corrosión de los ánodos. El depósito es quemado, opaco o rugoso.	Contaminación del baño con cloruros o ácido clorhídrico.	Analizar la solución por contaminantes.
Contaminación del Baño de Cromo con metales extraños detectados por análisis.	Corrosión de piezas que caen dentro del baño o contaminación por ataque de las piezas en huecos y zonas de baja corriente.	Retirar las piezas caídas en el baño. Obturar los huecos en las piezas para evitar que ingrese el baño a zonas no cromables.
Depósito azul.	Muy alta temperatura.	Corregir temperatura.

10.4. TABLA DE RELACIÓN ENTRE GRADOS BAÚME, PESO ESPECIFICO Y GRADOS TWADELL

Grados Baumé	Peso Específico	Grados Twadell
0	1,000	0
1	1,007	1,4
2	1,014	2,8
3	1,021	4,2
4	1,028	5,7
5	1,036	7,1
6	1,043	8,6
7	1,051	10,1
8	1,058	11,7
9	1,066	13,2
10	1,074	14,8
11	1,082	16,4
12	1,090	18,0
13	1,098	19,7
14	1,107	21,4
15	1,115	23,1
16	1,124	24,8
17	1,133	26,6
18	1,142	28,3
19	1,151	30,2
20	1,160	32,0
21	1,169	33,9
22	1,179	35,8
23	1,189	37,7
24	1,198	39,7
25	1,208	41,7
26	1,218	43,7
27	1,229	45,8
28	1,239	47,9
29	1,250	50,0
30	1,261	52,2
31	1,272	54,4
32	1,283	56,6
33	1,295	58,9
34	1,306	61,3
35	1,318	63,6

$\text{Peso Específico} = \frac{145}{145 - \text{Bé}}$	$\text{Grados Twadell} = \frac{200 \text{ Bé}}{145 - \text{Bé}}$	<p>Bé: grados Baumé pesados</p>
--	--	---------------------------------

**TABLA DE RELACIÓN ENTRE GRADOS BAÚME,
PESO ESPECIFICO Y GRADOS TWADELL
(CONTINUACIÓN)**

Grados Baumé	Peso Especifico	Grados Twadell
36	1,330	66,1
37	1,343	68,5
38	1,355	71,0
39	1,368	73,6
40	1,381	76,2
41	1,394	78,8
42	1,408	81,6
43	1,422	84,3
44	1,436	87,1
45	1,450	90,0
46	1,465	92,9
47	1,480	95,9
48	1,495	99,0
49	1,510	102,1
50	1,526	105,3
51	1,500	108,5
52	1,559	111,8
53	1,576	115,2
54	1,593	118,7
55	1,611	122,2
56	1,629	125,8
57	1,648	129,5
58	1,667	133,3
59	1,686	137,2
60	1,706	141,2
61	1,726	145,2
62	1,747	149,4
63	1,768	153,7
64	1,790	158,0
65	1,813	162,5
66	1,835	167,1
67	1,859	171,8
68	1,883	176,6
69	1,908	181,6
70	1,933	186,7

$\text{Peso Especifico} = \frac{145}{145 - \text{Bé}}$	$\text{Grados Twadell} = \frac{200 \text{ Bé}}{145 - \text{Bé}}$	<p>Bé: grados Baumé pesados</p>
--	--	---------------------------------

10.5. TABLA DE RELACIÓN ENTRE DENSIDAD Y CONCENTRACIÓN DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE ÓXIDO CRÓMICO (CrO₃)

DENSIDAD			CONCENTRACION (Óxido) Cromico g/litro
Específica	Grados Baumé	Grados Twaddell	
1.01	1.4	2	15
1.02	2.8	4	29
1.03	4.2	6	43
1.04	5.6	8	57
1.05	6.7	10	71
1.06	8.2	12	85
1.07	9.5	14	100
1.08	10.7	16	114
1.09	11.9	18	129
1.10	13.2	20	143
1.11	14.3	22	157
1.12	15.5	24	171
1.13	16.7	26	185
1.14	17.8	28	200
1.15	18.9	30	215
1.16	20.0	32	229
1.17	21.1	34	243
1.18	22.1	36	257
1.19	23.1	38	272
1.20	24.2	40	288
1.21	25.1	42	301
1.22	26.1	44	316
1.23	27.1	46	330
1.24	28.1	48	345
1.25	29.0	50	360
1.26	29.9	52	375
1.27	30.8	54	390
1.28	31.7	56	406
1.29	32.6	58	422
1.30	33.5	60	438
1.31	34.3	62	453
1.32	35.2	64	468
1.33	36.0	66	484
1.34	36.8	68	500

10.6. TABLA DE RELACIÓN ENTRE LAS ESCALAS DE DUREZA: ROCKWELL C, BRINELL Y VICKERS.

Rockwell C	Brinell	Vickers
70	745	1116
68	712	1022
66	682	941
64	653	868
62	627	804
60	601	746
58	578	694
56	555	650
54	534	606
52	514	587
50	495	551
48	461	502
46	444	474
43	415	435
42	401	423
40	375	390
38	352	361
36	341	344
33	321	320
32	311	311
30	293	292
26	262	261
24	248	249
23	241	240
21	235	235
20	229	228
17	217	217
15	212	213
13	201	201
11	192	192
9	187	186
8	183	183
7	179	178
6	174	174
4	179	171
2	163	162
1	159	159
0	156	155
	152	152
	149	149
	143	143
	140	140

10.7. FOTOS DE UNA PIEZA METÁLICA RECIÉN CROMADA Y UN ENVASE CON ÓXIDO CRÓMICO RECIÉN DESTAPADO



**10.8. FOTOS DE ÓXIDO CRÓMICO EN SOLUCIÓN ACUOSA
Y DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN PLENO
PROCESO DE CROMADO**

