



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUANTITLAN

MANUAL DE ANODIZADO

T E S I S

Que para obtener el título de:

QUIMICO

presenta:

CELESTINO SILVA ESCALONA

Director de Tesis: JOSE LUIS RODRIGUEZ GUZMAN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO

Objetivo.

1.- Introducción. -----	1
2.- Historia del aluminio y del anodizado. -----	9
3.- Proceso de anodizado. -----	8
4.- Diferentes tipos de aleaciones del aluminio empleadas para el proceso de anodizado y sus características. --	25
5.- Diferentes procesos de anodizado. -----	36
6.- Factores que influyen en la formación de la capa anódica en el proceso de anodizado y mecanismo de formación de la capa anódica. -----	44
7.- Características de la materia prima empleada para el proceso de anodizado. -----	54
8.- Control de la materia prima y determinación del espesor de la capa anódica. -----	60

9.- Diferentes acabados del amolado. -----	78
10.- Equipo empleado en el proceso de amolado. -----	82
11.- Conclusiones. -----	88
APENDICE A . -----	89
BIBLIOGRAFIA. -----	96

Objetivos

En la industria mexicana del anodizado no existe una información bibliográfica adecuada para que el personal cuente con una guía para desempeñar su trabajo: Un ejemplo de ello es que casi en ninguna de dichas industrias se efectúa un control de la materia; Se procede en forma empírica y el trabajador no tiene oportunidad de informarse para comprender los fundamentos del proceso.

Por estas razones el objetivo general de esta tesis es colaborar en la recopilación de información bibliográfica sobre el proceso de anodizado con objeto de proporcionarla a las industrias mexicanas de este tipo para que sean de utilidad al personal técnico y profesional que en ellas colaboran.

Para lograr esto se proponen los siguientes objetivos particulares:

- 1) Señalar las diversas etapas del proceso de anodizado así como los diversos procesos y tipos de acabado de mayor interés industrial.
- 2) Señalar las diferentes variables que influyen en este proceso.
- 3) Señalar las características de la materia empleada y la importancia de su control.
- 4) Indicar el tipo de equipo que es empleado en la actualidad en México para el proceso de anodizado.

1.-Introducción.

En los últimos treinta años el aumento constante del empleo del aluminio,segundo metal que se consume actualmente en el mundo después del fierro,ha venido incrementando el desarrollo de diferentes formas de protección y decoración del aluminio,ya que éste metal posee buenas propiedades para evitar la corrosión,la abrasión y otros daños debido a factores atmosféricos.

En el mercado,ofrecen aleaciones con un alto porcentaje de aluminio los cuáles se usan en la industria de transporte aéreo,marítimo y terrestre,así como también en la conservación de alimentos,manufactura de utensilios para el hogar y en construcciones arquitectónicas modernas:en puertas,ventanas,etc.

Para proteger la superficie del aluminio y sus aleaciones se han empleado películas de otros metales (por ejemplo zinc),pero debido a la dificultad para lograr dichas películas por depósito electrolítico y lo costoso del proceso,se prefiere favorecer la formación de una película de óxido sobre la superficie del aluminio,por medio de un proceso electrolítico llamado anodizado.Con este fin se emplean diversos tipos de electrolitos,tales como:ácido sulfúrico,ácido oxálico,ácido crómico y ácido fosfórico.

La facilidad para anodizar y a su vez colorear este metal,es lo que ha originado a su mayor empleo y difusión en muchas industrias en los últimos treinta o cuarenta años,desplazando al cobre,latón,zinc,etc..De esta manera el aluminio también

se ha convertido en uno de los metales de mayor uso en todo el mundo.

El anodizado del aluminio, también llamado oxidación anódica, consiste en la conversión electroquímica de la superficie del metal en óxido de aluminio, sirviendo como ánodo el propio aluminio en un baño electrolítico de ácido, obteniéndose el óxido por la disociación electrolítica del agua. Aunque no se consume directamente para formar la película, el electrolito tiene gran importancia para lograr propiedades específicas de la película de las cuales dependerán sus aplicaciones.

El oxígeno producido en el ánodo por el paso de la corriente a través de la solución electrolítica, produce una película de óxido de aluminio sobre éste. Esta película entonces se convierte en parte del circuito eléctrico, hasta no ser conductora.

Siempre que se utilice aluminio como ánodo empleando un electrolito adecuado, se producirá una película de óxido en el metal. Las propiedades de estas películas protectoras dependen de la composición de la aleación, del tipo de electrolito, de la temperatura del baño, la densidad de corriente, de la tensión y del tiempo de anodizado.

Además estas películas tienen la propiedad de ser porosas por lo cual pueden teñirse con facilidad.

quién en 1850 mejoró el método de Gashler para preparar el aluminio a escala industrial, empleando amalgama de sodio y el cloruro doble de sodio y aluminio como materia prima. Sin embargo el costo del metal era comparable al del oro.

La producción del aluminio recibió un fuerte impulso cuando Robert Bunsen y posteriormente Deville demostraron que el metal podía ser producido electrolíticamente a partir de sus minerales.

En 1885 los hermanos Cowle (19) prepararon la primera aleación de aluminio que contenía hierro y cobre.

En 1886 Charles Martin Hall (19) experimenta con la alúmina (Al_2O_3) que es el componente principal de la bauxita ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) siendo el mineral más rico en aluminio y criolita fundido (Na_3AlF_6) haciendo pasar corriente directa a través de la solución preparada entre alúmina y criolita obteniendo el aluminio. Hall patentó su proceso y dos años más tarde se funda la "Pittsburgh Reduction Company" que posteriormente se llama "Aluminum-Company of America".

Dos meses después que Hall aisló el aluminio el francés Paul Heroult por su cuenta descubre el mismo método.

La fabricación moderna del aluminio se realiza a partir de la bauxita que contiene aproximadamente un 25% de metal.

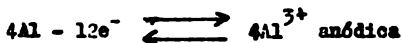
2.1.2 Historia del Proceso de Amodizado.

Poca gente hoy en día no está familiarizada con gran número

de aplicaciones modernas del aluminio y sus aleaciones, ya que el papel que desempeñan en nuestra vida cotidiana es muy importante. Sin embargo hace 60 años, las aplicaciones de éste metal eran muy escasas.

La resistencia a la corrosión del aluminio puro se debe en gran parte a su afinidad por el oxígeno, que permite la formación de una película delgada de óxido de aluminio que cubre la superficie del metal tan pronto como se realiza un corte en este y se expone a la atmósfera, esta película de óxido de aluminio natural tiene un grosor de 0.005 a 0.015 micras, puede conducir la electricidad y funcionar como electrodo en medidas de potencial para indicar potenciales oxidantes y reductores de una solución.

Para obtener películas de óxido de aluminio uniformes y que den más protección a la superficie del aluminio se emplea el método electrolítico que es el anodizado, o sea se emplea al aluminio como ánodo, lográndose películas de óxido de aluminio artificial, muy gruesas, uniformes y de aproximadamente 15 a 25 micras. La reacción de formación de óxido es la siguiente:



suponiendo que el O^{2-} puede existir en la película (20), los dos productos iónicos se difunden a través de la pequeña distancia que hay entre el ánodo y el cátodo combinados para formar el óxido



Para la formación de la película anódica se han propuesto y patentado diversos electrolitos, pero son pocos los que se usan con fines industriales, siendo en su mayoría ácidos por ejemplo ácido sulfúrico, ácido oxálico y ácido crómico.

Entre estos procesos industriales el primero que se empleó fue el de Bengough-Stuart (22) desarrollado en 1923 y empleado mucho en Inglaterra. En él se empleaba ácido crómico y su principal uso era para proteger placas de aluminio de los hidroaviones.

El Battelle Memorial Institute, durante la Segunda Guerra Mundial modificó por completo el proceso anterior, adicionando ácido sulfúrico.

El proceso más usado actualmente es en el que se emplea como electrolito ácido sulfúrico cuya primer patente fue registrada en 1937 en los Estados Unidos de Norte América por G.H. R. Gower y S.O. O'Brien (20).

Thompson(4) en 1946 estudió como incrementar la capa de óxido empleando el proceso del ácido sulfúrico y afirmando que

se formaban dos películas. Después se supo que una de ellas es una capa barrera y la otra es una capa porosa.

Champion (4) en 1948 estudió la velocidad de formación de la película de óxido de aluminio y demostró que dicha velocidad depende entre otros factores de la temperatura y del tiempo de anodizado.

Hunter y Fowler (5) demostraron en 1957 que el óxido formado en la superficie del aluminio tanto por el proceso natural como en forma artificial, consiste en una capa de óxido tipo barrera, cuyo espesor depende de las condiciones del medio ambiente, o las condiciones de la celda electrolítica y el tiempo de exposición.

Recientemente se han desarrollado otros métodos de anodizado con ácido sulfámico, ácido bórico y ácido fosfórico. El ácido sulfámico lo ha usado Piontelli en Italia (20).

En México las plantas de anodizado usan el proceso de anodizado con ácido sulfúrico, motivo por el cual ha tenido un gran auge este proceso.

Entre las plantas de anodizado de mayor importancia en México tenemos: Acabados Electrolíticos, Anodimax S.A., Anodizados y Perfiles S.A., Anodizados Electrolíticos, Anodizados Navales S.A., Anidarsa, General Electric, Vasconia, etc.

Hasta el momento en México no se han empleado los procesos de anodizado con ácido crómico o con ácido oxálico.

3.- Proceso de anodizado.

El anodizado es un proceso electrolítico que consiste en la formación de una capa de óxido de aluminio en la superficie del ánodo. (Ver figura 3.1).

Las diferentes etapas del proceso de anodizado son:

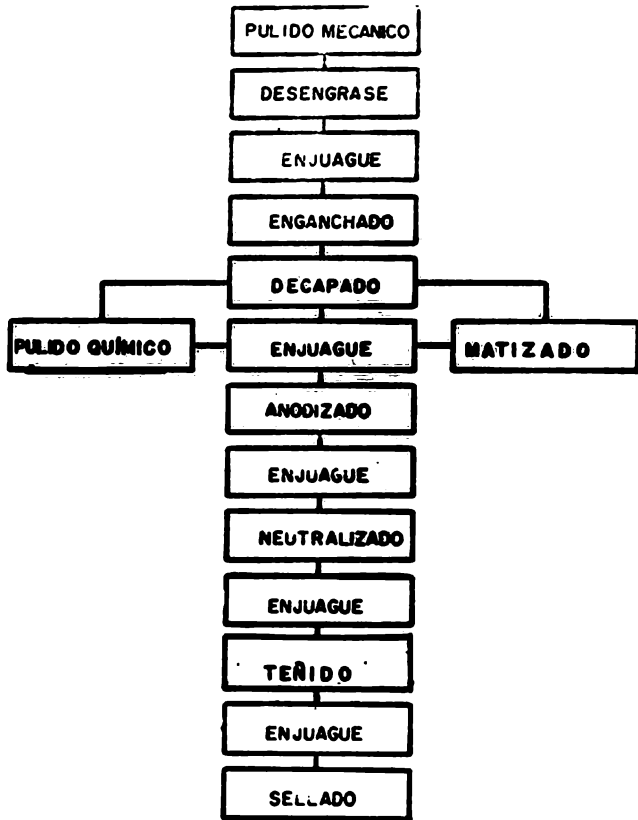
- 3.1) Pulido
- 3.2) Desengrasado
- 3.3) Enganchado
- 3.4) Decapado
- 3.5) Matisado
- 3.6) Formación de capa de óxido
- 3.7) Neutralizado
- 3.8) Tendido de capa de óxido
- 3.9) Sellado de capa de óxido

3.1.- Pulido

La apariencia de un producto de aluminio depende sobre todo de los tratamientos de pulido que se le dan a la superficie antes de anodizarse.

Estos tratamientos pueden ser de tres tipos: mecánico, químico y electrolítico.

Se puede utilizar cualquiera de los dos primeros tratamientos para cualquier tipo de anodizado, dependiendo del acabado que se quiera obtener, es decir si se quiere obtener un mate--



Diferentes pasos en el proceso de anodizado

rial brillante sin importar mucho el defecto de la superficie, entonces se emplea el pulido químico, pero si se desea obtener un brillo más fino entonces se usa el pulido mecánico aunque el material resulta menos brillante que con el pulido químico.

El tratamiento de pulido electrofítico es empleado para un acabado especialmente brillante, por ejemplo para abrillantar las bases de aluminio para reflectores.

3.1.1.- Tratamiento mecánico.

Por medio de este tratamiento se pueden eliminar los rayones que se presentan en el aluminio y así obtener una superficie suave y lustrosa. En este proceso se usan pulidoras de aproximadamente 1500 y 2800 r.p.m. y las ruedas para pulir son de tela (manta). Se requiere además pasta para pulir con fines de lubricantes para contribuir a la obtención de una superficie tersa.

Hay diferentes tipos de pasta para pulir superficies de aluminio que básicamente se diferencian en el tipo y tamaño de los granos, así como en los aglutinantes y elementos lubricantes que contienen.

3.1.2.- Tratamiento químico.

Los procesos de pulido químico también sirven en la preparación de superficies lisas y brillantes.

Las ventajas de este tipo de pulido en comparación con el

mecánico son: mayor facilidad para manejarlo y menos costo. Además, en el pulido químico cuando se tiene una superficie con rayas leves no hay problema, ya que es posible pulir estas deformaciones, en cambio mediante el pulido mecánico esto no podría hacerse debido a que la rueda de manta no puede penetrar.

El pulido químico le puede dar una resistencia mayor al material de aluminio contra la corrosión, sobre todo si se completa este efecto mediante el anodizado.

El efecto del pulido químico se basa en la acción de agentes oxidantes, que dan por resultado el brillo de la superficie del aluminio.

Ahora bien, para obtener un acabado de mayor brillantez en la superficie del aluminio, se puede hacer una combinación del pulido químico con el pulido mecánico. Es decir primero se emplea el pulido mecánico con la finalidad, sobre todo, de eliminar rayaduras y defectos superficiales que presenta la superficie del aluminio y posteriormente se utiliza el pulido químico, para obtener el mayor brillo posible por la acción química efectuada en este baño.

Uno de los procesos más recomendados para el pulido químico es el proceso ácido fosfórico-nítrico. Estos reactivos dan un brillo muy fino al aluminio.

La composición más recomendada es la siguiente:

Acido fosfórico ----- 80.5 % en volumen

Acido nítrico ----- 3.5 % en volumen
Agua ----- 15 % en volumen

La temperatura a la que se mantiene el baño es de 90°C y el tiempo de tratamiento puede ser de 30 segundos a cinco minutos.

La contaminación del baño de abrillantado se debe principalmente a la presencia de fosfato de aluminio formado por la acción del ácido sobre el aluminio. Otra contaminación aunque no muy perjudicial se debe a la presencia de diferentes metales en la aleación del aluminio como puede ser fierro, plomo, silicio, etc., que en grandes cantidades interfieren en el funcionamiento del baño.

3.1.3.- Tratamiento electrolítico.

Por último tenemos el pulido electrolítico el cual como se mencionó anteriormente se usa sobre todo para abrillantar las bases de aluminio para reflectores, u otros objetos que requieren mayor brillantes.

El electrolito que se emplea para abrillantar el aluminio es una solución de ácido fluorbórico HF_4 0.25 N.

Debido al uso del electrolito cuando se abrillantan las piezas de aluminio la concentración del ácido disminuye, pero será suficiente si dicho electrolito mantiene una concentración entre 0.15 a 0.18 N, lo que se consigue agregando solución nueva de ácido 0.25 N.

El aluminio que se requiere abrillantar se emplea como ánodo en este electrolito de ácido fluobórico y como cátodo se pueden emplear tubos de cobre, los que tienen una doble finalidad, servir de cátodo y de serpentinas para la refrigeración del electrolito, ya que requiere una temperatura baja.

Condiciones de trabajo para el pulido electrolítico

Voltaje	15 a 20 volts
Densidad de corriente	1.2-1.5 amp/cm ²
Temperatura	20° C
Concentración de ácido fluobórico	0.25 N
Tiempo de abrillantado	entre 5 y 12 minutos

En realidad este método de pulido es poco práctico y muy poco empleado industrialmente, ya que no es económico puesto que aparte de la materia prima, se requiere corriente eléctrica, la cual no es tan barata. Por esta razón no se ha usado este método, trabajándose únicamente con los otros dos métodos mencionados, es decir el de pulido químico y el mecánico.

Las únicas industrias que emplean el pulido electrolítico son por lo regular las industrias dedicadas a la fabricación de objetos de aluminio de mayor brillantes, ya que como no hay plantas de anodizado que empleen dicho método, entonces tienen la necesidad de instalar su propia planta de anodizado, con abrillantado o pulido electrolítico.

3.2.- Desengrase

El desengrase tiene por objeto eliminar impurezas que quedan a la hora de efectuar el proceso de pulido mecánico, o bien la grasa adherida a las piezas de aluminio que se van a anodizar y que proviene de la extrusión del perfil de aluminio donde se emplean grasas como lubricantes .

Los detergentes son las sustancias más empleadas para eliminar las impurezas grasosas en las piezas de aluminio. (Ver - Capítulo 7).

3.3.- Enganchado

El enganchado consiste en colocar las piezas de aluminio que se van a anodizar en sus respectivos ganchos. La forma de estos dependerá de la forma de las piezas por anodizar.

El enganchado se puede hacer antes o después de desengrase, dependiendo del tipo de pieza que se va a anodizar.

3.4.- Decapado

El decapado es una operación que consiste en sumergir en un baño de ácido crómico de 5 gramos/litro la pieza de aluminio con el fin de eliminar impurezas como son: el óxido de aluminio formado sobre la superficie de aluminio, debido al efecto de los factores atmosféricos así como a la acción del oxígeno existente en el medio ambiente. Las condiciones de trabajo del proceso de decapado se tratan más ampliamente en el Capítulo 7.

3.5.- Matizado

El matizado del aluminio se puede hacer por dos procesos: mecánico y químico.

3.5.1.- En el mecánico se pueden emplear las pulidoras utilizadas para pulir la superficie del aluminio, pero con la diferencia de que en vez de emplear ruedas de nanta se emplean - de esmeril, o sea que tienen abrasivos. El efecto que producen es de un acabado opaco en la superficie del aluminio; también se puede hacer por medio de cardas de alambre.

Las ruedas de esmeril contienen un abrasivo revestido, en donde cada partícula es considerado como un buril en miniatura. Por ejemplo en las piezas de metal cada partícula produce rebabas de tamaño infinitesimal, siendo casi idénticos a los cortes producidos por un buril.

Los componentes básicos de un abrasivo revestido son:

Minerales

Oxido de aluminio.-Es considerado un mineral extremadamente duro y resistente al desgaste.

Carburo de silicio.-Este mineral es de color negro brillante, debido a sus propiedades naturales se fractura dejando nuevas aristas que permiten una rápida remoción de material.

Respaldos

Los respaldos son la base para anclar el mineral y son los siguientes:

Papel.-Existen 4 clases de papel según el peso del mismo: A, C, D, E.

El A es ligero y flexible, se reviste con granos finos.

Los C y D son de flexibilidad interna y se revisten con granos medianos.

El E es el más fuerte y resistente revistiéndose con granos gruesos, medianos y finos.

Tela.- Se usan dos tipos:

Peso J liviana y flexible

Peso X fuerte duradera

Fibra.-La fibra que se usa es una fibra vulcanizada dura, fuerte y resistente más que cualquier otro respaldo usado para abrasivos.

3.5.2.- En el proceso químico se ataca el aluminio sumergiéndolo a una solución de sosa cáustica de unos 40 gramos/litro. La temperatura de la solución de sosa influye en la velocidad de ataque. Entre 40-50° C se logra que el ataque no sea brusco.

Otra forma de obtener el mate es empleando una solución de carbonato de sodio al 10 % (10 gramos/litro), pero el más fácil y común es el de la sosa.

3.6.- Formación de la capa de óxido de aluminio.

3.6.1.- Como ya se dijo las capas obtenidas por procedimientos electrolíticos ofrecen mayor resistencia a la corrosión y son una base excelente para retener los colorantes. (Ver figura 3.6.1).

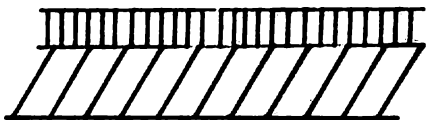
La corriente se transmite mediante un electrolito en el que se utiliza un ánodo de aluminio. Los iones cargados negativamente se van al ánodo, el cual cede uno o más electrones al circuito. (Ver figura 3.6.2).

En las disoluciones acuosas con que se trabaja el ánodo en parte es oxígeno, el cual se une químicamente con el aluminio dando por resultado una película que se adhiere al ánodo y que impide el paso de la corriente al ánodo en el momento que éste está seco.

Esta película sigue creciendo hasta que el grosor de la misma impide la conductividad. Los poros que se forman tienen la abertura suficiente para permitir el acceso continuo de la corriente de la superficie del metal.

El crecimiento de la película se retarda gradualmente, debido a su aumento de espesor, ocasionando también un aumento de la resistencia eléctrica en la película.

El espesor de la película permanece constante cuando la velocidad de crecimiento de la formación de la película es igual a la velocidad de disolución causada por el electrolito. El espesor máximo varía con el tipo de electrolito y con las condi



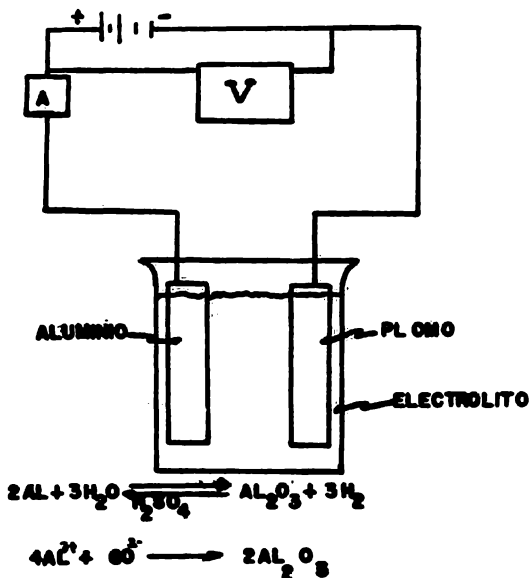
**SUPERFICIE DE ALUMINIO DESPUES DEL PROCESO DE ANODIZADO
(FORMACION DE CAPA ANODICA O CAPA DE ÓXIDO)**



**SUPERFICIE DE ALUMINIO ANTES DEL PROCESO DE
ANODIZADO**

UNAM	FESC	QUIM.
Manual de Anodizado		
Fecha Publicación	MAYO 1961	
Comité Editor	710 2-6-1	

**DIAGRAMA DE LA CELDA ELETROLITICA
PARA ANODIZADO**



ciones de trabajo, especialmente por el factor temperatura que afecta la velocidad de disolución.

3.6.2.- Propiedades que ofrece la capa anódica o capa de óxido:

1) Protección

Protege al aluminio de la corrosión y abrasión

2) Decofación

Si se le da color a la capa anódica da mayor resistencia y además protege el brillo obtenido por los procesos de pulido.

3) Sirve para aislamientos eléctricos y térmicos

La capa anódica da mayor dureza y resistencia al material aluminio retardando el desgaste.

De acuerdo a estas propiedades se puede clasificar el anodizado del aluminio en la siguiente forma:

Anodizado decorativo.

La oxidación anódica suministra un atractivo decorado y acabado brillante, semibrillante o mate debido a las propiedades mencionadas en el inciso 2.

Anodizado Arquitectónico.

El aluminio se usa en casi todo tipo de cancelería, así como en vueltas, ventanas, etc., después de someterse a un proceso de anodizado. Este tipo de anodizado básicamente ofrece las propiedades del inciso 1, aunque también ofrece las del inciso 2.

Anodizado Duro.

Mediante este proceso se obtiene una capa dura, empleando como factor importante temperaturas bajas y voltajes altos. Este tipo de anodizado se emplea cuando se quiere obtener una superficie dura con resistencia al desgaste como es el caso de poleas, partes de motores, o para cancelería. También se usa cuando se requiere máxima protección a la interperie, así por ejemplo en las costas la corrosión es fuerte y este tipo de anodizado es el más indicado. Las propiedades que proporciona el anodizado duro son básicamente las ya señaladas en el inciso 3.

3.6.3.- La capa de óxido o anódica.

En el proceso de anodizado se tiene la formación de dos tipos de películas. Una exterior de capa gruesa que se va formando sobre una capa interior delgada, densa y dieléctrica de aproximadamente 0.5-2 % de espesor de la capa total. El espesor de esta capa interior depende del electrolito y de las condiciones de trabajo, llamándose dicha capa barrera o dieléctrica.

La capa dieléctrica o barrera se forma primeramente a una tensión de corriente elevada, su espesor varía directamente con el voltaje de formación e inversamente con la velocidad de disolución o sea la solubilidad del óxido en el electrolito.

En los procesos industriales donde la velocidad de disolución es muy elevada, la capa dieléctrica es muy fina. Un valor promedio del espesor de esta capa es de 0.03 a 0.05 micras.

La capa barrera conduce la corriente por su delgadez y por las fallas de su estructura. Cuando la capa barrera llega a su máximo espesor, solamente la puede atravesar una corriente muy reducida cuya intensidad varía en relación a la composición de las aleaciones.

La capa barrera en el anodizado con ácido sulfúrico en una concentración de 200 gramos/litro y a una temperatura de 20° C, aumenta su espesor rápidamente al principio y a los 4 1/2 segundos aproximadamente se alcanza su espesor máximo. En esta etapa la acción disolvente del electrolito excede la proporción de crecimiento de la capa, las fluctuaciones en el espesor cesan y aproximadamente a los 25 segundos el espesor permanece inalterable, durante los 45 minutos restante del total de la - de la duración del anodizado la capa porosa crece.

3.7.- Neutralizado.

El neutralizado consiste principalmente en eliminar los residuos de ácido arrastrados desde la celda electrolítica, pudiendo quedar parte de ellos después del enjuague con agua.

La sustancia más usada para el neutralizado es el bicarbonato de sodio preparado en una solución al 2 % en peso (Ver Capítulo 7).

3.8.- Tejido de capa de óxido.

A las capas anódicas sin sellar se les adhieren fácilmente

los colorantes, con lo que se logra mayor resistencia a la corrosión y al desgaste.

Las características que poseen las capas anódicas se deben a:

- a) La porosidad y por lo tanto a su alto poder adsorbente.
- b) Aumento a la resistencia contra la abrasión.

3.8.1.- Coloración o teñido de recubrimientos anódicos.

Después de su oxidación en los procesos de ácido sulfúrico, ácido oxálico y ácido crómico, el aluminio queda cubierto por una película porosa que es fuertemente adsorbente y que se mancha en contacto con aceites, grasas, etc. Esta película está formada por Al_2O_3 y $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ y al sellarse, el Al_2O_3 anhidro se hidrata y llena los espacios. Casi todos los acabados tanto al natural como en colores son sellados.

3.8.2.- Requerimientos de una película anódica para ser teñida:

- 1) Debe tener un espesor adecuado dependiendo del tono que se le va a dar
- 2) Debe ser muy adsorbente y porosa
- 3) Que el recubrimiento sea de color adecuado
- 4) Estar libre de todo tipo de impurezas

Para lograr un buen espesor, buena porosidad y buen color del recubrimiento se requiere emplear el proceso de anodizado

con ácido sulfúrico. Además las películas formadas son transparentes.

El método del ácido oxálico da una coloración amarillenta a las películas, además es más costoso. Sólo se usa para casos muy específicos, requiriéndose espesores muy gruesos (aproximadamente 50 micras).

El proceso de ácido crómico da como resultado capas delgadas poco porosas y una película de color gris.

3.8.3.- Colorantes orgánicos.

Los colorantes orgánicos para anodizado son bien adsorbidos en el fondo del recubrimiento, la adsorción depende del pH de la solución.

Las condiciones óptimas para teñir son:

Que el recubrimiento sea grueso y poroso, de grano fino, por eso es conveniente aprovechar al máximo las condiciones que determinan el espesor de la película: tiempo, temperatura, densidad de corriente, voltaje, etc.

Condiciones para un buen espesor y un buen tejido:

Emplear:

Electrolito de H_2SO_4

Densidad de corriente 1.5 amp/dm²

Temperatura de baño de anodizado 20°C

Tiempo de anodizado 60 minutos

El espesor del recubrimiento afecta directamente la inten-

sidad de color, ya que si el espesor es adecuado se pueden obtener buenos tonos de colores y muy intensos. Si se tiene un espesor inadecuado los colorantes serán de poca efectividad, por lo tanto tardarán en teñir las películas.

Entre los colorantes orgánicos están los que se adsorben físicamente sobre el óxido de aluminio y otros que se combinan químicamente con el óxido de aluminio.

Hay también colorantes inorgánicos para teñir capas de óxido, son más resistentes al calor, menos brillantes, por lo regular se adsorben físicamente y son usados con fines arquitectónicos.

Para probar la estabilidad a la luz, de las capas anódicas teñidas se someten a altas temperaturas para provocar procesos de decoloración y se comparan con patrones.

3.8.4.- Estabilidad del teñido a los agentes atmosféricos.

La estabilidad ante estos agentes atmosféricos incluye la resistencia al calor, luz, lluvia, etc. Se usan muestras anodizadas y puestas a prueba durante un año. Se considera que un colorante tiene una buena estabilidad a los agentes exteriores, cuando después de un año de exposición a la interperie se ha perdido un máximo de 3 % de color.

3.9.- Sellado de la capa de óxido.

El motivo por el cual los recubrimientos anódicos pierden

su poder de adsorción al sellarse, es que el óxido formado en el proceso de anodizado se hidrata llenándose los espacios existentes en los poros; los cristales formados de $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ dan como resultado un aumento en la elasticidad.

El proceso de sellado se aplica a casi todas las capas anódicas y como ya se mencionó con ello se mejora la resistencia a la corrosión.

Uno de los métodos más importantes para sellar las capas anódicas, es el empleo de una solución de sales de níquel a temperatura de ebullición.

3.9.1.- Sellador con acetato de níquel.

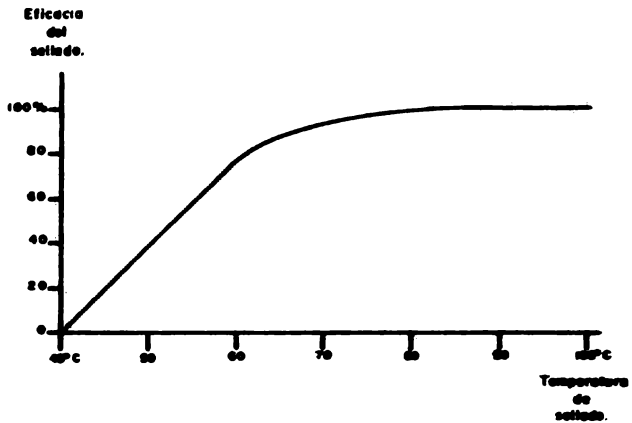
Casi todas las capas anódicas se sellan con sales de acetato de níquel, las cuales al ser adsorbidas se hidrolizan en el recubrimiento precipitando como hidróxido de níquel incoloro, motivo suficiente para recomendar este método de sellado tanto para recubrimientos anódicos teñidos como no teñidos.

Con el sellado de acetato de níquel sucede lo siguiente:

- 1) Se cierran los poros por hidratación.
- 2) Se precipitan los hidróxidos en los poros por hidrólisis, con lo que se previene el sangrado de los colorantes.

El efecto de la temperatura en la eficacia del sellado de las soluciones de acetato de níquel a pH 5.5 y el efecto del tiempo en el proceso de sellado se observan en la figura 3.9.1

Se puede decir que en base a la gráfica de la figura 3.9.1



la temperatura óptima es de 100°C, pero en realidad la que se usa es la temperatura de ebullición.

En el proceso de anodizado como ya se mencionó las películas anódicas transparentes se sellan por lo regular con acetato de níquel, pudiendo usarse otras sales como por ejemplo el acetato de plomo. Sin embargo este método resulta caro y muy contaminante.

El óxido de aluminio hidratado es mucho más blando que el óxido anhidro por eso cuando se requiere mayor dureza y máxima resistencia a la abrasión, los recubrimientos anódicos no deben sellarse.

Se ha estimado que el tiempo promedio para obtener un buen sellado es de 30 minutos, tiempo más que suficiente para que se cierre el poro.

3.9.2.- Sangrado en el sellado.

En el tratamiento de sellado puede ocurrir un sangrado del colorante, o sea un escurrimiento del mismo, ocasionado por la variación de pH en la solución del sellado. Para evitarlo debe mantenerse el pH a 5.5.

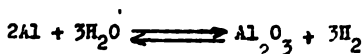
3.10.- Después de las etapas de desengrase, decapado, matizado, anodizado, neutralizado, teñido y sellado es necesario en cada una de ellas efectuar un enjuague con agua.

4.- Diferentes tipos de aleaciones de aluminio aplicadas para revestido y sus características.

4.1.- Propiedades químicas.

Entre las propiedades químicas del aluminio podemos señalar, que ocupa un lugar importante en la serie electroquímica con potencial electronegativo de -1.67 voltios;resiste el ataque de agentes atmosféricos y de muchos agentes químicos.Esta resistencia se debe a la capa protectora de óxido que se forma, por la acción del oxígeno del aire atmosférico.La acción protectora de la película resulta tan eficaz que no se efectúa la combustión y es imposible que arda el aluminio laminado aún con flama oxiacetilénica;el metal se funde pero no arde.Esta es la razón por la que no se pueda cortar el aluminio con flama oxiacetilénica,como sucede con el fierro o con el acero.

Muchas de las posibles reacciones del aluminio metálico, solo se efectuan en grado mínimo o muy limitado a causa de la película de óxido formada.A temperaturas altas o en presencia de ciertos reactivos,es posible que se desintegre la película y se efectuen libremente las reacciones.En varios aspectos las reacciones más importantes del aluminio son las que ocurren con el oxígeno y con el agua,aunque en muchas circunstancias la reacción es autolimitada debido a la formación de una película impermeable de óxido.



El ion aluminio se cuantifica mediante la formación de hidróxido de aluminio el precipitado formado se disuelve cuando se añade hidróxido de sodio.

4.2.- Propiedades físicas del aluminio

Es un metal ligero, de bella apariencia, blando, maleable, dúctil, tenaz y fácil de ser labrado, de buena conductividad eléctrica y térmica, gran reflectividad de la luz y de la energía radiante. Sus aleaciones son muy resistentes contra los agentes atmosféricos. El aluminio se funde a $660.2^{\circ}C$ y su punto de ebullición se alcanza a $2057^{\circ}C$, tiene un peso específico de 2.699.

Además su superficie se presenta para una gran variedad de acabados, siendo el más importante el anodizado natural o en colores.

El aluminio no se emplea por lo general en estado puro, sino que normalmente se combina con otros metales para destacar una u otra de sus propiedades, tales como maleabilidad, resistencia o acabado. Por ejemplo los componentes de la aleación pueden incluir elementos como magnesio, cromo, fierro, etc., los que al combinarse individualmente o en conjunto en proporciones adecuadas, mejoran las propiedades mecánicas del aluminio.

4.3.- Las propiedades que tienen las aleaciones de aluminio no han sido iguales hasta la fecha por ningún otro metal; son ligeras, tienen buena resistencia a la corrosión, alta resistencia a la tracción, alta conductividad eléctrica y térmica, aspecto atractivo, etc.. Además debe mencionarse la facilidad con que pueden trabajarse éstas aleaciones, reduciendo grandemente las dificultades y problemas que pudieran tenerse en la manufactura, disminuyendo así el costo de mano de obra.

En general los componentes de una aleación de aluminio se incluyen en tres categorías principales:

- 1) Los que pueden disolverse durante el proceso de oxidación anódica.
- 2) Los que pueden quedar inafectados.
- 3) Los que pueden ser oxidados.

1) Cuando los componentes se disuelven por el proceso electrolítico, el recubrimiento tendrá perforaciones microscópicas, lo que hace disminuir la densidad del mismo. Estas perforaciones provocan un descenso tanto en la resistencia a la abrasión como a la corrosión. Las aleaciones Al-Cu son un ejemplo de este tipo.

2) Cuando existe silicio en una aleación de aluminio, no es afectado por el proceso de oxidación anódica. Las partículas de silicio permanecen inalteradas en su posición original durante la oxidación anódica, dando como resultado un color gris si es

que se encuentran en un gran exceso en la aleación Al-Si se emplea mucho en el campo de la Arquitectura.

3) En el tercer caso, después de la oxidación anódica la superficie de la aleación de aluminio presenta algún color, por ejemplo en las aleaciones Al-Mn, el manganeso como componente de la aleación se oxidará y formará el bióxido de manganeso, el cual provocará una coloración castaño opaco.

Otro ejemplo serán las aleaciones Al-Cr, las cuales después de la oxidación imparten un color amarillento.

Hay muchas otras posibilidades de formar aleaciones, sin embargo es muy importante hacer notar que cada aleación puede tener una cierta coloración después de la oxidación anódica, debido a su diferente composición y a la forma en que son afectados los componentes de dicha aleación.

Dentro de las principales características de las aleaciones de aluminio podemos mencionar las siguientes:

Alta conductividad eléctrica

El aluminio tiene mayor conductividad eléctrica que cualquiera de los metales comúnmente usados para transmitir la electricidad. Los conductores de aluminio tienen una conductividad eléctrica del 62% según la forma internacional de Cobre - Recocido.

Alta conductividad térmica

La alta conductividad térmica del aluminio lo hace adecuado para equipo de procesos industriales, émbolos, equipos para

refrigeración, utensilios de cocina y para todo lo que se requiere de un intercambio térmico.

Alta reflectividad

El aluminio correctamente tratado refleja un 85% de los rayos de luz visibles que recibe en un momento dado, además tiene alta reflectividad a la radiación de todas las ondas desde las ultravioletas hasta las infrarrojas.

Antimagnética

Debido a las propiedades centinagnéticas del aluminio es empleado en discos rotatorios de medidores eléctricos y para fabricar piezas antimagnéticas muy diversas.

Maleabilidad

El aluminio es fácil de trabajar y por tal motivo puede obtenerse en varias formas comerciales como cualquier otro metal; puede molderse en la arena, moldes permanentes o matrices. Sus formas trabajadas incluyen placas, láminas, alambre, varillas, barras, remaches, productos de torno, tuberías, perfiles, estructuras, estructuras producidas por presión hidráulica y por impacto.

Resistencia mecánica

Las aleaciones de aluminio tratadas técnicamente son muy fuertes y tienen una resistencia comparable con la del acero estructural a pesar de ser tan livianas como el metal puro.

Atóxica

Los compuestos que se forman en la superficie del aluminio por el ataque de otros elementos son casi incoloros y atóxi -

cos, por tal razón, el aluminio se emplea en grandes cantidades en la industria de alimentos, productos químicos y drogas, además de fabricarse una extensa línea de utensilios domésticos a base de este metal.

Apariencia

Una de las principales características que hacen del aluminio un metal muy cotizado en el mercado, es su aspecto moderno y brillante, ya que lo hace muy atractivo y a la vez práctico en su color natural, además puede dársele acabados en varios colores, teniendo en cuenta que aparte de darle buen aspecto a su superficie, estos acabados también le dan protección al aluminio, un ejemplo es el anodizado.

4.4.- Debido al crecimiento de las industrias que usan aluminio, ha aumentado el número de productores de aluminio y por consecuencia se ha incrementado la fabricación de diferentes tipos de aleaciones.

En el año de 1954 la "The Aluminum Association Alloy Designation System For Wrought Aluminum" publicó un folleto para designar las diferentes aleaciones. La "American Society For Testing Materials" empezó a usarlo en 1958.

El sistema consiste en el uso de cuatro números: el primero representa el grado de aleación o elemento químico de mayor contenido, como se observa en la tabla I, los otros tres números representan las modificaciones hechas por los fabricantes de perfiles de aluminio a la aleación original en cuanto a lími-

- 37 -
TABLA I

Designación de aleaciones de Aluminio en función del elemento químico contenido en mayor cantidad

ALUMINIO	99% mínimo o mayor pureza	1XXX
COBRE		2XXX
MANGANESO		3XXX
SILICIO		4XXX
MAGNESIO		5XXX
MAGNESIO-SILICIO		6XXX
ZINCO		7XXX
OTROS ELEMENTOS		8XXX
SERIE NO USADA		9XXX

tes de impurezas como se puede observar en la tabla 2.

Para hacer que las aleaciones tengan mayor resistencia, dureza, ductilidad, así como otras propiedades mecánicas y físicas, se emplea el temple.

Designación de temple. Se aplica a materiales de aluminio estruado y se identifican con las letras F, O, H, T.

Las tres primeras se utilizan solas y la última va seguida de un número que indica la secuencia de los tratamientos dados para lograr diferentes durezas o características de ductilidad.

F se fabrica sin control de temple.

O tratamiento térmico en altas temperaturas.

H tratamiento mecánico.

T₄ enfriamiento rápido y envejecimiento natural a una condición estable.

T₅ envejecimiento artificial bajo control de temperaturas elevadas.

T₆ enfriamiento rápido y envejecimiento artificial bajo control de temperaturas elevadas.

T₈ enfriamiento rápido, tratamiento mecánico en frío y envejecimiento artificial bajo control de temperatura.

Se observará en la tabla 2 que se habla de las aleaciones 1100, 6061, 6063, 6463, la razón es debido a que son las aleaciones más utilizadas en el proceso de anodizado.

En la tabla 3 se darán algunas características de éstas a-

- 77 -
TABLA II

**COMPOSICION QUIMICA DE ALEACIONES PRINCIPALES APROPIADAS
 PARA ANODIZARS :**

DESIGNACION	Al	Cu	Fe	Mg	Si
1100	99.00	.10-.20	(2)	.30-.80	(2)
	<i>mínimo</i>				
6061	(1)	.15-.40	.7	.80-1.20	.40-.80
6063	(1)	.10-	.35	.40-.85	.30-.60
6463	(1)	.05-.20	.15	.40-.85	.20-.60
	Ti	Zn	Cr	Pb	Bi
1100	---	.10	---	---	---
6061	.15	.20	.15-.35	---	---
6063	.10	.10	.10	---	---
6463	.05	.05	.05	---	---

(1) Aluminio por diferencia

(2) Hierro más Silicio 0.7 máximo

Tipo de temple que se usa es éstas aleaciones

1100	O	6063	T-6
	F		T-8
6061	T-4	6463	T-5
	T-6		T-6
	T-5		

TABLA III

Principales aleaciones apropiadas para aplicarlas en el proceso de anodizado.

		CARACTERISTICAS
1100	Perfiles apropiados Barras redondas exagonales, huecas	Muy buena resistencia a la corrosión, maleabilidad y ductilidad; baja resistencia estructural; buena aceptación al anodizado.
6061	Perfiles varios, barras redondas, cuadradas y exagonales.	Muy buena resistencia a la corrosión, alta resistencia estructural y baja ductilidad.
6063	Gran variedad de perfiles huecos	Buena resistencia a la corrosión; formabilidad, responde bien al pulido mecánico y al abrillantado químico; buena aceptación del anodizado; excelente acabado, resistencia estructural moderada.
6463	Perfiles en general y tubería.	Es una versión de la aleación 6063. Superficies de los perfiles con una extremada brillantez al anodizar en ese acabado.

leaciones.

Entre los muchos usos y aplicaciones del aluminio y sus aleaciones sometidos al proceso de anodizado, podemos mencionar las siguientes:

Construcción y Arquitectura.-Ventanas, puertas, ductos, revestimientos, fachadas, pasamanos, etc.

Transportes.-Autobuses, camiones, trailers, aviones, techos, partes de ferrocarril, molduras y jaladeras para automoviles.

Equipo Doméstico.-Refrigeradores, lavadoras, utensilios de cocina, artículos para regalos y misceláneos.

Envases y Empaques.-Tanques de almacenamiento, barriles, envoltura de papel de aluminio, botes, tapas para botellas, tubos para envases de productos medicinales y de tocador tales como cremas de rasurar, pastas dentrificas, pomadas, cosméticos, etc.

En el campo.-Lámina acanalada para techos, casetas para aviocultura, tubos para riego, etc.

Manejo de Materiales.-Cajas para carga, carretillas, bandas transportadoras, etc.

Otros productos.-Equipo de oficina, muebles para jardín, escaleras, juguetería, decoraciones, joyería, equipos especiales en los procesos de fabricación de productos químicos y alimenticios, herrajes, reglas, tubos y bases para trofeos, raquetas, etc.

Por supuesto que éstos son algunos de los usos más comunes del aluminio anodizado, pero de ninguna manera significa que sean éstas sus únicas aplicaciones.

5.-Diferentes Procesos de Anodizado.

5.1 Dentro de los diferentes procesos de anodizado de interés industrial están los procesos que emplean ácido crómico, ácido sulfúrico o ácido oxálico como electrolito.

El proceso con ácido crómico se usa para obtener una capa fina que resiste la corrosión, pero que no resulta muy resistente al desgaste, lo mismo sucede con el proceso que emplea ácido oxálico.

Las capas que se obtienen del proceso con H_2SO_4 si tienen alta resistencia a la corrosión y al desgaste, pero para aleaciones de no más de un 5% de metales pesados.

Estas capas que se obtienen por este proceso son más gruesas (5 a 25 micras) que las que se obtienen por el proceso con ácido crómico o con ácido oxálico. Si estas capas son selladas con acetato de níquel presentan mayor resistencia a la corrosión y al desgaste.

Las capas que se obtienen por el proceso con ácido crómico tienen un grosor de aproximadamente 15 micras; el grosor de las capas obtenidas por el proceso del ácido oxálico es también de 15 micras. Por otra parte en el proceso con ácido oxálico se pueden obtener capas hasta de 60 micras empleando temperaturas de $-10^{\circ}C$ y si se quieren obtener más gruesas se emplea corriente alterna.

El proceso del ácido sulfúrico resulta más económico, en comparación con el proceso con ácido crómico y oxálico. Por otro

lado para fines decorativos y arquitectónicos, que son los más empleados en los procesos de anodizado, el proceso más conveniente es el del ácido sulfúrico. Entre las principales ventajas de éste proceso se tiene, su gran poder de adsorción de la capa, además la capa es clara y transparente, es decir que esta capa es apropiada para darle todos los acabados y tonos mediante colorantes para anodizado que se tienen en el mercado. En cambio, con los otros procesos no se pueden obtener capas con estas propiedades.

El gran poder de adsorción que tienen las capas anódicas obtenidas por el proceso del ácido sulfúrico hacen posible que dichas capas constituyan una excelente base para ser coloreadas sobre todo si son selladas con soluciones de acetato de níquel. La natural transparencia de la capa la hace apta para la protección de la superficie pulida, principalmente cuando se quiere para reflectores en los cuales el poder reflectante debe ser mayor.

Los procedimientos con ácido oxálico son los que presentan menor importancia en las aplicaciones decorativas, ya que las capas formadas no son aptas para ser coloreadas con facilidad, además el color de las películas formadas por el proceso con ácido oxálico son opacas y amarillentas.

Las capas formadas por el proceso con ácido crómico suelen ser opacas, delgadas y no muy porosas por lo cual también son difíciles de colorear.

CONDICIONES DE OPERACION DE CADA PROCESO

PROCESO CON ACIDO SULFURICO

Composición del electrolito

Acido sulfúrico de densidad 1.84 se emplean 180 a 200 gramos/litro.

Condiciones de operación

Densidad de corriente	1.2 a 1.5 amp/dm ²
Voltaje	15 a 20 volts
Temperatura	20°C
Agitación	vigorosa
Tiempo	60 minutos

PROCESO CON ACIDO CROMICO

Composición del electrolito

Acido crómico 100 gramos/litro

Condiciones de operación

Densidad de corriente	1.2 amp/dm ²
Voltaje	30 volts
Temperatura	55°C
Agitación	vigorosa
Tiempo	40 minutos

PROCESO CON ACIDO OXALICO

Composición del electrolito

Acido oxálico 100 gramos/litro

Condiciones de operación

Densidad de corriente	1 a 1.5 amp/dm²
Voltaje	16 volts
Temperatura	30° C
Agitación	vigorosa
Tiempo	40 minutos

El contenido de cloruros del agua que se emplea para la preparación de los electrolitos no debe exceder de 0.02 gramos/litro, ya que atacaría a la película anódica.

CARACTERISTICAS DE LA CAPA ANODICA EN LOS TRES PROCESOS

	PROCESO CON ACIDO SULFU- RICO	PROCESO CON ACIDO CROMI- CO	PROCESO CON ACIDO OXALI- CO
Opacidad de capa anódica.	transparente	opaca	opaca
Color natural de capa anódica.	incoloro	gris	amarilla
Apariencia de tejido de capa anódica.	Color claro y brillante, el lustre del metal es visible.	No hay lustre metálico y el color es exagerado.	
Lustre de la película anódica.	Lustre metálico bueno.	Lustre metálico destruido en el proceso de anodizado.	
Resistencia a la corrosión y a la abrasión	buena	buena pero no es igual a la por el proceso con ácido sulfúrico.	

5.2 Proceso de anodizado de capa dura o anodizado duro (Duranoódico)

Thomashov (4) en 1946 fue el primero y principal iniciador de este proceso y además demostró que por enfriamiento del electrolito disminuye la velocidad de disolución del óxido de aluminio formado, por ésta razón se pueden obtener capas de óxido que alcanzan un grosor de capa hasta de 250 micras y se puede considerar que el promedio en micras del grosor de la capa anódica que se puede obtener está entre 125 a 250 micras, dependiendo del tiempo de anodizado.

El proceso de anodizado duro le brinda a las capas anódicas formadas mayor resistencia al desgaste y al calor, además les da mayor calidad que a las capas formadas por cualquier otro proceso. Este proceso no es muy usado debido a su costo tan alto, pero si se quiere tener un anodizado de buena calidad y bastante resistencia a los factores ambientales, entonces se requiere este acabado.

Las condiciones de operación para este proceso son las siguientes:

Electrolito de ácido sulfúrico de densidad 1.84, con una concentración de 125 gramos/litro.

Temperatura de 0 a -70°C con una agitación vigorosa por medio de aire. Para tener la temperatura tan baja como se desea, se usa un sistema de refrigeración empleando el freón 12, como elemento refrigerante.

El voltaje empleado es de 20 volts a 90 volts y una densidad de corriente de 2 a 4 amp/dm².

El tiempo que se necesita para obtener este acabado en promedio es de 40 a 90 minutos, dependiendo del grueso de la capa anódica o del color de la capa que se quiera.

En este proceso la capa anódica no es incolora, debido al efecto de la temperatura tan baja y del voltaje variable. Este efecto produce que la capa pueda colorearse sin necesidad de emplear un colorante. El color de la capa varía desde un tono gris hasta un bronceado.

5.3 Proceso de anodizado a nivel industrial.

Independientemente de los diferentes pasos y acabados del proceso de anodizado el tamaño del artículo de aluminio que se desea anodizar, es el que va a determinar la capacidad de la planta de anodizado. Por ejemplo si se van a anodizar exclusivamente perfiles de aluminio de 2 hasta 6.10 metros de largo, la capacidad de la planta es grande.

Hay plantas que anodizan nada más perfiles de 3.66 metros de largo, por lo cuál su capacidad se considera mediana.

Las plantas de poca capacidad son las que se dedican a anodizar piezas hasta de 1.50 metros de largo como máximo. Además anodizan todo tipo de piezas de aluminio pequeñas, por ejemplo: piezas de joyería. (pulseras, aretes, etc.), tubos para trofeo, reglas y escalímetros de todas las escalas existentes, cancelaría en pequeño, agujas de tejer, utensilios para cocina, placas

para interfones y todo tipo de herrajes, etc.

En el caso de que las piezas sean más chicas, por ejemplo broches, tornillos, tuercas, remaches, etc. y se tengan que anodisar a la hora de colocarlos en ganchos, para después darles la protección anódica, no conviene hacerlo uno por uno porque además de que es muy laborioso es costoso. Por lo tanto se emplean ganchos especiales, cilíndricos, con perforaciones; de tal forma que sirvan para que penetre la solución del electrolito y hagan contacto con las piezas que se van a anodisar. Este proceso de anodizado se le llama anodizado a granel y por lo regular se hace en plantas de poca capacidad.

El tipo de gancho que se emplea se puede ver en las figuras del capítulo 10, al igual que los ganchos empleados para perfiles de 6.10 y 3.66 metros de largo.

El material que se anodisa en una planta de poca capacidad también se puede anodisar en plantas de grande y mediana capacidad, solo que, debido a lo costoso y tardado que sería no se dedican a ello.

6.- Factores que Influyen en la Formación de la Capa Anódica en el Proceso de Anodizado y Mecanismo de Formación de la Capa Anódica.

A continuación se mencionan las variables que afectan el espesor de la capa barrera y causas de la capa exterior o porosa.

Las variables que afectan el espesor de la capa barrera y de la capa porosa son las siguientes: temperatura, concentración del electrolito, densidad de corriente, tensión, tiempo, etc.

6.1.- Temperatura.

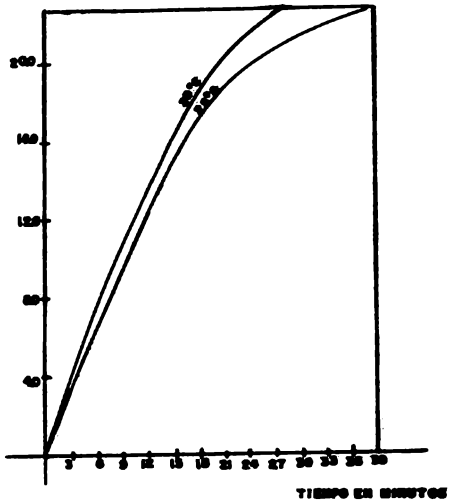
Es un factor determinante del espesor de la capa de óxido de aluminio, ya que las temperaturas altas reducen el espesor de la capa barrera y se obtienen capas muy porosas debido a la disolución del óxido formado, por lo tanto si se quieren obtener películas con mayor dureza, menos porosas y más brillantes deben emplearse temperaturas bajas. (Ver figura 6.1)

En la figura 6.1 se tiene un anodizado con H_2SO_4 , con una densidad de corriente de 1.3 a 1.5 amp/dm², una concentración de electrolito de 150 a 180 gramos/litro y manteniendo constante el voltaje, se obtendrán a temperaturas bajas películas más gruesas y brillantes. Cuando se habla de temperaturas bajas son aproximadamente 20-25°C.

6.2.- Concentración

Para tensiones y temperaturas constantes y usando concentra

ESPEZOR EN MICRAS



GRAFICA DEL ESPESOR DE CAPA DE OXIDO CONTRA TIEMPO. OBSERVANDO QUE A TEMPERATURAS ALTAS EL ESPESOR DISMINUYE Y A TEMPERATURAS BAJAS SE OBTIENEN ESPESORES MAYORES. SIENDO LAS TEMPERATURAS OPTIMAS ENTRE 20°C Y 23°C.

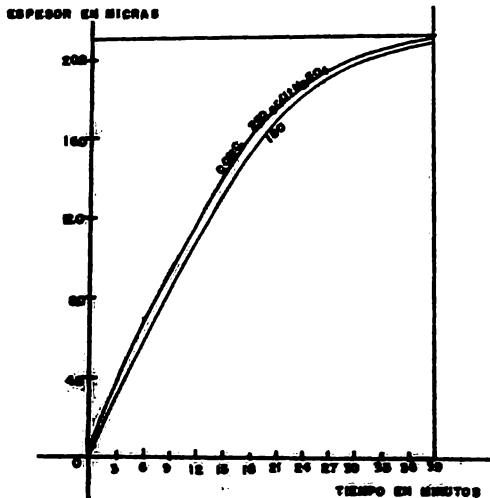
UNAM	FES C. QUIM.
Manual de Análisis	
Química Analítica	1977-1978
Profesor: Dr. E. F. G. J.	

ciones bajas de electrolito la capa barrera alcanza su máximo espesor, ya que a esta concentración la acción disolvente del electrolito es muy reducida. Esto da como resultado películas más delgadas y menos porosas. Si se emplearan concentraciones de electrolito más altas se obtendrían recubrimientos más duros y más porosos, pero ligeros, ya que se está favoreciendo el ataque químico del electrolito hacia la película formada. Por eso se recomiendan concentraciones intermedias de aproximadamente 180-200 gramos/litro de H_2SO_4 para obtener películas duras, con porosidad apropiada y no muy delgada. (Ver figura 6.2)

En la figura 6.2 se obtiene un ánodo con H_2SO_4 y con un voltaje, amperaje y temperatura constantes, a concentraciones más bajas las películas serán más delgadas y también un depósito bastante abundante durante los primeros minutos del ataque electrofítico, obteniéndose buenos grosores en tiempos cortos y para concentraciones altas se obtendrán recubrimientos duros y muy porosos, pero el espesor será débil ya que es afectado por el electrolito, por eso al emplear una concentración de 250-180 gramos/litro de ácido se considera apropiado.

6.3.1.- La densidad de corriente es el factor que más influye en la calidad de la capa anódica. Con mayores densidades de corriente resultan las capas más gruesas, pero si se sobrepasa de 1.5 amp/cm^2 ocasiona la redisolución del óxido de aluminio formado por el electrolito es decir, se opone al creci-

GRAFICA DE ESPESOR CONTRA TIEMPO



CONVIENE QUE PARA CONCENTRACIONES BAJAS SE OBTENDAN PELICULAS MAS DELGADAS Y MENOS POROS A CONCENTRACIONES ALTAS, CAPAS MAS DURAS Y MAS POROSAS AL UTILIZAR CONCENTRACIONES INTERMEDIAS, COMPRENDIDAS ENTRE 150 Y 250 GR./LT. (DE ACIDO). SE OBTIENEN PELICULAS DURAS CON POROSIDAD APROPIADA Y NO MUY DELGADAS.

niento de la capa oxidada.

La influencia de la densidad de corriente hacia la capa barrera es poca, pues al aumentarla favorece, pero como se mencionó anteriormente si llega a ser mayor de 1.5 amp/dm^2 , hay disolución de la capa barrera ocasionando un adelgazamiento. (Ver figura 6.3.1)

En la figura 6.3.1 al variar la densidad de corriente y manteniendo fijas las demás condiciones de operación habrá cambios muy apreciables, puesto que a densidades de corriente mayores de $1.3-1.5 \text{ amp/dm}^2$ se lograrán depósitos más porosos y se van adelgazando, siendo el aspecto de las películas más opaco. A densidades de corriente menores de 1.3 amp/dm^2 las películas serán muy finas pero que no alcanzan los espesores necesarios para cubrir exigencias de buen recubrimiento.

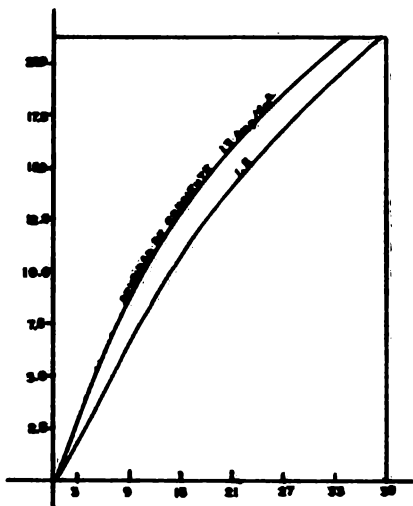
6.3.2.- Tensión

En lo que se refiere a la tensión o voltaje, éste resulta ser función de la densidad de corriente y de la conductividad del electrolito.

Por otra parte si se incrementa el voltaje se obtienen espesores gruesos, pero se llega a un punto máximo en donde el aspecto de la película es opaco, a partir del voltaje en el que se alcanzó el máximo espesor un aumento de voltaje provoca películas más porosas y delgadas. (Ver figura 6.3.2)

El voltaje óptimo para obtener las mejores películas está

ESPESOR EN MICRAS



TIEMPO EN MINUTOS

GRAFICA DE ESPESOR DE CAPA DE OXIDO CONTRA TIEMPO, DONDE A DENSIDADES DE CORRIENTE MAYORES DE 1.5 amp/cm^2 Y 1.3 amp/cm^2 SE OBTIENEN PELICULAS MAS DELGADAS Y MAS POROSAS Y A DENSIDADES MENORES DE 1.3 amp/cm^2 SE ENCONTRARAN PELICULAS MAS DENSAS.

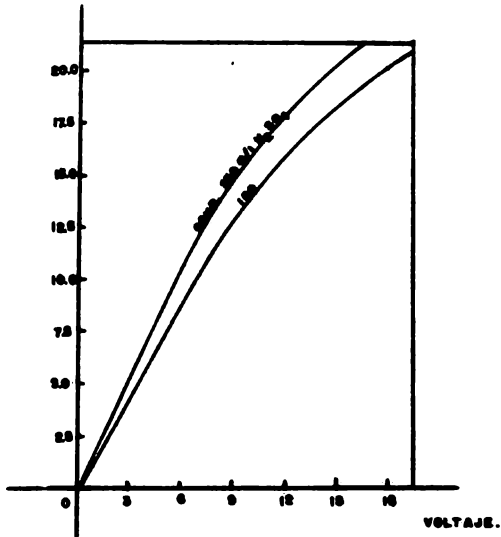
UNAM FES C GUM.

Manual de Anodizado

Fecha Publicación: MAY 1981

Colección Silve # 719-221

ESPEZOR EN MICRAS



GRAFICA DEL ESPESOR DE LA CAPA DE OXIDO CONTRA VOLTAJE. SE OBSERVA QUE ENTRE 15 Y 16 VOLTS SE OBTIENE EL MAXIMO ESPESOR.

entre 15-18 volts.

5.4.- Tiempo.

El espesor de la capa anódica va a depender principalmente del tiempo, ya que durante el proceso de anodizado se llega a un punto en que la disolución del electrolito es superior a la formación de óxido y a partir de este momento el espesor disminuye en lugar de aumentar. Esto sucede cuando se ha alcanzado el tiempo máximo de exposición.

Además con la prolongación del tiempo de exposición, la mayor parte de la aleación del aluminio va perdiendo su brillo ocasionando en el tejido un aspecto cenizo.

En las figuras 6.1, 6.2, 6.3.1, se observa que al variar el tiempo de tratamiento de oxidación anódica se nota una variación bien definida, tanto para la densidad de corriente, concentración del electrolito y la temperatura. Estas variaciones muestran que en los primeros minutos se forma un depósito bastante abundante para después formar lentamente la película conforme transcurre el tiempo de tratamiento hasta llegar a un máximo punto de recubrimiento.

6.5.- Causas de la porosidad de la capa exterior.

Lo mismo sucede con el espesor, la porosidad de la capa varía con la velocidad de disolución y con la proporción de crecimiento, estos dos procesos dependen de las condiciones de tra-

bajo y el tipo de electrolito. A causa del efecto de disolución las zonas exteriores de la capa representan la mayor porosidad. Al examinar la capa porosa al microscopio electrónico se observan los poros y por medio de fotografías, se ha calculado que existen 1.5×10^6 poros por cm^2 .

Los poros son paralelos y normales a la superficie, son además suficientemente reducidos para no dejar pasar los sólidos a menos que se trate de compuestos coloidales finos.

Los poros son muy adsorbentes y el efecto de la temperatura de anodizado sobre la capacidad de adsorción de la película, es decir sobre su porosidad está dada por la gráfica de la figura 6.5. Esta figura nos muestra una película de 10 micras obtenidas con ácido sulfúrico al 20 % con 2 amp/dm², se observa la influencia de la temperatura del baño sobre el agua adsorbida por la capa porosa.

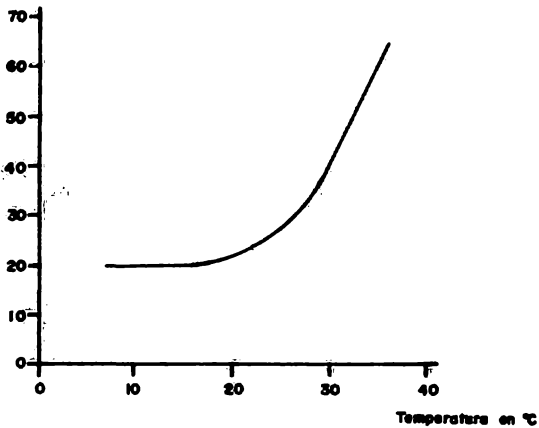
Para una película formada con ácido sulfúrico se encontró que presenta aproximadamente 800 poros por micra cuadrada y el diámetro del poro 0.015 micras; porosidad 13.4 %.

Las capas formadas con un electrolito de ácido oxálico presentan 60 poros por micra cuadrada y el diámetro del poro 0.075 micras; porosidad 8 %.

El número de poros y su volumen depende en muy alto grado de las tensiones de formación.

Cuando la relación entre la superficie del metal y la superficie aparente es muy baja, o sea cuando la densidad de corrientes

Absorción de agua.
(gr/m²)



te efectiva es superior a la calculada, el área del poro es alta.

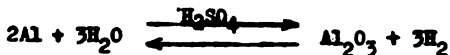
Para un diámetro de 0.1 micras y un 25 % total de porosidad en una capa de H_2SO_4 de 4,3 micras de espesor, se ha calculado una superficie efectiva de 23,5 por dm^2 de superficie aparente.

6.6.- Mecanismo de formación de la capa anódica.

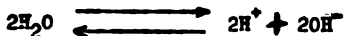
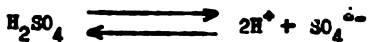
El comportamiento del aluminio cuando se usa como ánodo en un electrolito depende como se dijo anteriormente de las condiciones de trabajo, por ejemplo de la tensión, solubilidad de los productos de reacción, de la concentración, de la temperatura y de si el anión del mismo electrolito reacciona con el metal.

Se sugieren dos posibilidades para la reacción cuando se emplea ácido sulfúrico como electrolito.

Una es que el ión O^{2-} y el H_2O reacciona directamente con el aluminio; la otra que el $Al_2(SO_4)_3$ primeramente formado se hidroliza y pase a hidrato.



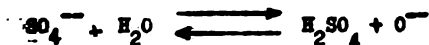
Reacciones del electrolito



Reacciones en el cátodo



Reacción en el ánodo



Una vez que el óxido se ha formado sobre la superficie del metal, el anión ya no puede establecer contacto con el aluminio y no sigue creciendo la película anódica.

6.7.- Una teoría del mecanismo de oxidación es la siguiente. La capa barrera permite el paso del H_2 nascente formado con H_2O , actuando continuamente sobre el aluminio para producir o formar una nueva capa-barrera.

Los poros son el resultado del ataque del anión y el O_2 retenido en los poros de la capa barrera evita el contacto entre el metal y la solución siendo su función la de proteger la capa barrera.

En la práctica los poros no pueden crecer independientemente

pero muchos poros se cierran entre sí.

La continuidad en el crecimiento de la película demuestra un equilibrio entre los poros, siendo la relación poro-espacio, en tanto que la distancia entre poros varía con la tensión y entonces con el espesor de la capa barrera, es decir el radio del poro. (Ver figura 6.7.1)

En la figura anterior los poros primero siguen un camino en sig-sag hasta que la disolución del óxido en el electrolito redondea sus esquinas de tal forma que el camino se hace sensiblemente recto.

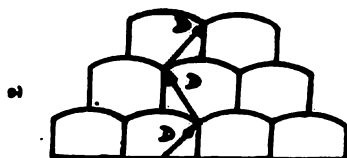
La reacción llega a su fin cuando la tensión es insuficiente. Un aumento en la tensión de ruptura provoca el rompimiento de la capa, entonces si el anión ataca la capa, la ruptura es prematura y se forma una película visible porosa.

En el microscopio electrónico la capa porosa muestra una estructura como de celdilla.

Debido a la disolución del óxido de la capa barrera pasa la corriente, la cual al aumentar la temperatura de la disolución, aumenta el poder de disolución siendo precisamente la causa directa de la permanencia de los poros y como la corriente circula a través del poro sencillo se va formando una celdilla cilíndrica y un poro central cilíndrico.

Conforme va aumentando la formación de la capa, se va alterando la forma de la celdilla hasta llegar a establecer contacto con los seis cilindros que la rodean y termina por convertirse

FORMACION DE LA CAPA ANODICA O CAPA DE
 ÓXIDO EN DONDE $D =$ POROS FORMADOS AL
 ABRIRSE PASO LA CORRIENTE.



- A) FORMACION AISLADA DE LA CAPA BARRERA EN DIVERSOS PUNTOS DE LA SUPERFICIE DE ALUMINIO.
 B) FORMACION DE LA CAPA BARRERA A LO LARGO DE TODA LA SUPERFICIE DEL ALUMINIO.
 C) OBTENCION DEL MAXIMO ESPESOR DE LA CAPA BARRERA.
 D) DISOLUCION DE LA CAPA BARRERA POR EL ELECTROLITO Y EMPIEZA LA FORMACION DE LA CAPA POROSA.

se en un prisma hexagonal, modificando al mismo tiempo la forma del poro obteniendose seis proyecciones dirigidas a los vértices del hexágono. (Ver figura 6.7.2)

Es de gran interés determinar las dimensiones de las celdillas de óxido para conocer las propiedades de la capa anódica.

ACIDO SULFURICO	VOLTAJE	PORO POR cm^2
AL 20 % -- 10° C.		

15

6.2×10^{10}

20

5.3×10^{10}

30

2.7×10^{10}

ACIDO OXALICO

AL 2 % -- 24° C

20

3.7×10^{10}

40

2.2×10^{10}

60

0.9×10^{10}

ACIDO CROMICO

AL 3 % -- 50° C

20

2.2×10^{10}

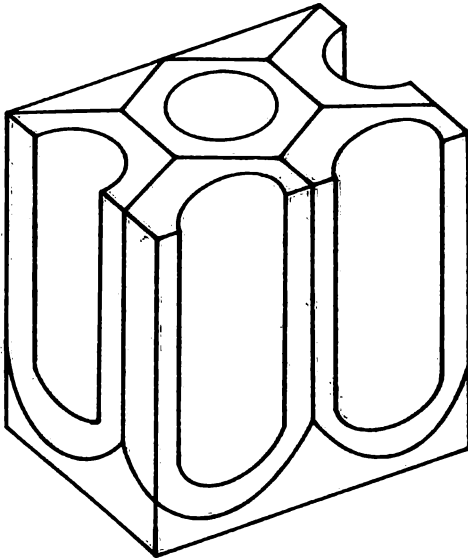
40

0.8×10^{10}

60

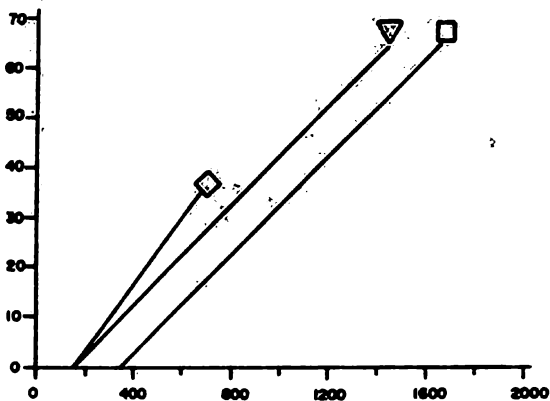
0.4×10^{10}

Al aumentar el voltaje aumenta el tamaño de la celdilla y por lo tanto disminuye el número de poros. (Ver figura 6.7.3)



**Microseccion de una pelicula anodica,
mostrando la estructura de poros y
cecidillas.**

Tensión de
formación.



Tamaño de la
celda en cm²

- H₂SO₄ al 15% — 10°C
- ▽ H₂C₂O₄ al 2% — 24°C
- ◇ CrO₃ al 3% — 38°C

En esta figura se puede observar que mediante el proceso con ácido sulfúrico se obtiene un tamaño mayor de la celdilla en comparación con los procesos en que se emplea ácido oxálico y ácido crómico, siguiéndole en segundo término el proceso con ácido crómico y finalmente el proceso con ácido oxálico.

7.- Características de la materia prima empleada para anodizado.

7.1.- La materia prima empleada es la siguiente:

Materia prima	Operación
Pasta para pulir -----	Pulido
Sosa cáustica -----	Matisado
Detergente -----	Desengrasado
Acido crómico -----	Despado
Acido nítrico -----	Abrillantado
Acido fosfórico -----	Abrillantado
Acido sulfúrico -----	Anodizado
Bicarbonato de sodio -----	Neutralizado
Colorantes -----	Teñido
Acetato de níquel -----	Sellado

Forma de acción de las diversas materias primas.

7.2.- Pasta para pulir.

El uso de la pasta para pulir pretende quitar mecánicamente rayaduras y defectos del material, por medio de fricción. La pasta para pulir está formada por mezcla de estearina, grasa vegetal, tripoli y abrasivo.

7.3.- Detergente.

Para el desengrasado se emplean detergentes, que son sustancias capaces de limpiar manchas grasosas, si se encuentran en suspensión acuosa y se aplica una agitación adecuada.

El proceso de limpiado consiste en que las sustancias grasosas que forman la suciedad entran en suspensión coloidal por la presencia del detergente y la agitación mecánica.

7.4.- Ácido crómico.

Cuando el material se pule se tiene que desengrasar y posteriormente, antes de anodizarse el material se somete a un baño de decapado con la finalidad de quitar sobre todo las impurezas que no fueron quitadas en el desengrasado y además permite eliminar la capa de óxido formada por dejar el material a la intemperie.

El baño se prepara agregando ácido crómico industrial al 5% en peso, el material debe permanecer en el baño 5 minutos.

7.5.- Sosa cáustica.

Cuando se desea un recubrimiento anódico mate, éste puede lograrse por medios mecánicos o químicos. Los procesos químicos son los más empleados por su fácil manejo, por ser más efectiva su acción y por resultar más económicos.

Con este fin se emplea hidróxido de sodio industrial (sosa cáustica) con una concentración de 40 gramos/litro y a una temperatura de 40-50° C. En estas condiciones la sosa ataca al aluminio, dándole el acabado mate que se desea en un tiempo de a-

proximadamente 30-40 minutos.

7.6.- Acido nítrico y Acido fosfórico.

Para dar brillo al aluminio se requiere de un baño de abrillantado que se prepara mezclando ácido nítrico con una pureza de 60-63% y ácido fosfórico con una pureza de 80 %.

Entre las especificaciones de estos dos ácidos, se tienen las siguientes: ácido nítrico cuya densidad sea de 1.42, la densidad para el ácido fosfórico de 1.75; la proporción de la mezcla es de 1:4 es decir una parte de nítrico por cuatro de fosfórico.

El ácido fosfórico abrillanta por encima de los 80° C, temperatura a la que la reacción es vigorosa y va acompañada de un desprendimiento de hidrógeno.

La adición de ácido nítrico a las soluciones de ácido fosfórico mejora la calidad del acabado. El ácido nítrico se considera como el paso fino del acabado.

La forma de acción del abrillantado se debe a la presencia de los agentes oxidantes, ya que éstos disuelven el mate formando una capa de óxido que se disuelve también parcialmente.

El tiempo de abrillantado fluctúa entre 30 segundos a 5 minutos, a una temperatura de 90-94° C.

Aunque este proceso es muy recomendado para obtener un buen abrillantado es recomendable antes de someter el material a esta operación darle un pulido mecánico a la superficie de dicho material.

7.7.- Ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico se emplea como electrolito para formar la capa de óxido o capa anódica. Tiene una densidad de 1.84 y la concentración a la que se le utiliza es de 20 gramos/litro, calentando una temperatura de 20°C, con una densidad de corriente entre 1.2-1.5 amp/dm² y un voltaje que puede estar entre 15-20 volts.

La capa anódica resulta transparente e incolora con un espesor de aproximadamente 3 micras, obtenido en unos 30 minutos. Este espesor es el apropiado para obtener el anodizado decorativo. Si se obtiene un espesor entre 20 y 25 micras en 60 minutos, el material se usa con fines arquitectónicos.

Si se desea un espesor apropiado para un anodizado duro de aproximadamente 150 micras, el proceso debe durar más de 60 minutos, dependiendo del tono del acabado.

Para mantener la temperatura constante se emplea un sistema de refrigeración, a base de freón 12 y una compresora para aire para homogenizar el baño.

7.8.- Bicarbonato de sodio.

Después de que se lleva a cabo el proceso de anodizado el material se saca del baño del anodizado y es enjuagado en agua. Como medida de precaución y por si llegaran a quedar residuos de ácido en la pieza anodizada se somete a un baño de neutralizado que consiste en sumergir la pieza en una solución de bicar

bonato de sodio industrial a una concentración de 20 gramos/litro, evitando así que a la hora del teñido o sellado aparezcan manchas en las piezas anodizadas, ocasionadas por los residuos de ácido.

7.9.- Colorantes

Dentro de los colorantes tenemos de tipo orgánico y de tipo inorgánico.

Los de tipo orgánico se dividen en dos categorías: los que únicamente se adsorben en la capa de óxido y los que se combinan con la capa de óxido.

Entre los que se adsorben físicamente tenemos el naranja II y el azul directo.

Entre los que se combinan químicamente con el óxido de aluminio, como por ejemplo se tiene el naranja R.

Casi todos los baños de teñido funcionan en caliente a una temperatura comprendida entre 65 y 70°C y con una concentración de aproximadamente 7-10 gramos/litro de colorante dependiendo del tipo de teñido y del tono que se desee.

Si no se desea calentar el colorante basta con la temperatura del medio ambiente para que se efectúe el proceso.

Con lo que respecta a los colorantes de tipo inorgánico también se adsorben químicamente y por lo regular son mezclas, por ejemplo para obtener un color amarillo se hace una mezcla de acetato de plomo y cromato de potasio. El inconveniente de este

tipo de colorantes es que se tiene que usar dos baños, lo que significa pérdida de tiempo y mayores costos. Por esta razón se prefieren los colorantes de tipo orgánico.

7.10.- Acetato de níquel.

Las capas anódicas o capas de óxido de aluminio pierden su poder de adsorción en el momento que se sellan. El objeto de sellarlas es reafirmar el color o acabado natural.

El óxido anhidro formado se hidrata ocasionando que se hinchen los poros de la película, es decir se dilatan y se cierran.

Al usar sales de níquel, éstas se hidrolizan en la capa formada, precipitando en forma de hidróxidos.

Las condiciones de trabajo para usar un sellador de acetato de níquel son:

pH de 5.5

Temperatura de ebullición

Tiempo de sellado de 30 minutos

Concentración del acetato de níquel de 5 gramos/litro.

8.- Control de la materia prima y determinación del espesor de la capa amófica .

8.1.- A) Control de la materia prima

Técnica para el control de formulaciones

8.1.1.- Control de la solución para el matizado

El control del baño de hidróxido de sodio se hace por análisis volumétrico calculando el contenido de hidróxido de sodio, considerando que se necesita el baño a una concentración de 40 gramos/litro.

Fundamento teórico

La cantidad de hidróxido de sodio se determina por medio de una titulación ácido-base, usando como indicador fenolftaleína.

Reactivos:

Solución de ácido clorhídrico 1 N

Para preparar 1 litro de la solución de ácido 1 N se miden 88.28 mililitros de ácido clorhídrico cuya densidad es de 1.18 y su pureza es de 35 %.

Se normaliza el ácido usando carbonato de sodio anhidro 1 N o sea que se necesitan 53.002 gramos de carbonato por litro de agua. El carbonato después de ser pesado se deberá secar a 270°C durante 30 minutos, se enfría en un desecador y se disuelve en la menor cantidad posible de agua fría, después se pone en un matraz aforado de 1 litro y se lleva hasta la mar-

ca.

Para normalizar el ácido se titula con un volumen conocido de carbonato de sodio anhidro, y se calcula la normalidad del ácido por medio de la siguiente fórmula. Como indicador se emplean 2 gotas de anaranjado de metilo.

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$
$$N_1 = \frac{N_2 V_2}{V_1}$$

en donde

- N_1 normalidad del ácido clorhídrico a calcular
- N_2 normalidad del carbonato de sodio anhidro
- V_1 volumen gastado de ácido clorhídrico al titular
- V_2 volumen conocido de carbonato de sodio anhidro

Solución de cloruro de bario

Se pesan 10 gramos y se agregan a un litro de agua.

Fenolftaleína como indicador

Se disuelve 0.1 gramos de indicador en 50 mililitros de alcohol isopropílico y se disuelve con 100 mililitros de agua destilada.

Procedimiento

Se toma una muestra de la solución del baño de hidróxido

de sodio y de ahí se pipetea 10 mililitros agregandolos a un matras Erlenmeyer; se diluye la muestra con agua destilada hasta completar 100 mililitros, se añaden unas gotas de solución de cloruro de bario a una concentración de 10 gramos/litro.

El precipitado se filtra y el filtrado se recibe en un matras Erlenmeyer, se le agregan 3 o 4 gotas de fenolftaleína y se procede a titular con HCl 1 N, hasta que el precipitado de hidróxido de aluminio aparezca y no se disuelva de inmediato, en ese punto se toma la lectura de los mililitros gastados y después se calculan los gramos por litro.

1 mililitro de HCl 1 N = 0.0400 gramos de NaOH

gramos/litro de NaOH = mililitros gastados de HCl x 0.040 x 100
0.040 miliequivalente

El control de la solución matizadora tiene como objeto cuidar en parte el costo del proceso, de anodizado puesto que de no estar bien la solución de hidróxido de sodio, se tardará más tiempo en matizarse la superficie del aluminio, ocasionando pérdida de tiempo en todo el proceso.

8.1.2.- Control de la solución de decapado

Fundamento teórico

La determinación de la cantidad de ácido crómico presente

en el baño se fundamenta en una reacción de neutralización empleando NaOH y verde de Bromocresol como indicador. Entonces los gramos de ácido crónico se determinan por medio de los mililitros gastados de hidróxido de sodio empleados en la titulación.



Reactivos

Solución de hidróxido de sodio 1 N.

Para su preparación (Ver 8.1.3)

Verde de bromocresol como indicador.

Se pesan 0.1 gramos del indicador y se tritura en un mortero con 1.4 mililitros de NaOH al 0.1 N hasta que se forme una pasta, después se pasa a un matras aforado de 100 mililitros y se afora con agua destilada, si la trituration se ha realizado correctamente se disolverá toda la sustancia y por último se filtra la solución.

Procedimiento

Se toman 10 mililitros de la solución decapadora y se proceden a titular con hidróxido de sodio 1 N, agregando 2 o 3 gotas de indicador verde de bromocresol.

Calculos

Cada mililitro de hidróxido gastado equivale a 19.5 gramos/litro de ácido crónico en el baño.

1 mililitro de NaOH 19.5 gramos/litro de CrO_3

Es importante mantener el control de esta solución ya que es el que elimina, las impurezas de óxidos formados sobre la superficie del aluminio, el hecho de no efectuar bien su función, el aluminio no tendrá un buen retratamiento de superficie dando como resultado manchas en el anodizado.

8.1.3.- Control de la solución abrillantadora.

Se pipetea 25 mililitros de la solución de abrillantado y se pasan a un matras aforado de 250 mililitros y se afora con agua hasta la marca.

Esta solución servirá para las determinaciones de ácido nítrico, fosfato de aluminio y ácido fosfórico.

8.1.3.1.- Determinación de ácido nítrico.

Fundamento teórico

Este método se basa en la transformación de nitrato a óxido nítrico con sulfato ferroso en ácido fuerte. El exceso de sulfato ferroso se titula con dicromato de potasio. El total de nitrato es medido como ácido nítrico.



Reactivos

dicromato de potasio, equivalente a 0.00315 gramos de ácido

nútrico por mililitro, se disuelven 7.3555 gramos de dicromato de potasio en agua y se diluye a un litro.

Solución de sulfato ferroso. A 55 gramos de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y 20 gramos de cloruro de sodio, se adicionan 100 mililitros de agua y 20 gotas de ácido sulfúrico 1:1. Se disuelve y se diluye a un litro con solución preparada de ácido sulfúrico (la solución preparada de ácido sulfúrico consiste en adicionar 348 mililitros de ácido sulfúrico cuya densidad es de 1.84 a 600 mililitros de agua).

Ferroína como indicador. Agregue 0.5947 gramos de monohidrato de o-fenántrolina a 90 mililitros de agua y caliente hasta que se disuelva. Agregue 0.2780 gramos de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y diluya a 100 mililitros.

Procedimiento

Se pipetea 10 mililitros de solución de abrillantado aforada en un matraz Erlenmeyer de 250 mililitros. Se adicionan 15 mililitros de solución de sulfato ferroso y 20 mililitros de ácido sulfúrico concentrado.

Hierva las soluciones de la muestra y del testigo durante tres minutos. Enfrie rápidamente y adicione 75 mililitros de agua fría y 2 gotas de indicador ferroína; titule con solución normalizada de dicromato de potasio. El indicador cambia del color rojo al pardo, hasta adquirir un tono azul-verdoso brillante. El punto final de la valoración es notorio

$$\text{gramos/litro } \text{HNO}_3 = \frac{(A - B) \times 0.0315 \times 1000}{1 \text{ mililitro de la muestra}}$$

A = mililitros de la titulación de solución testigo

B = mililitros de titulación de la muestra

0.0315 = miliequivalente

8.1.3.2.- Determinación de ácido fosfórico.

La cantidad de ácido fosfórico se calcula por medio de la acidez total, la cuál se determina por titulación con hidróxido de sodio y usando como indicador anaranjado de metilo.

Reactivos

Solución normal de hidróxido de sodio (1N). Se prepara una solución saturada conteniendo partes iguales en peso de hidróxido de sodio y agua. Diluya 53 mililitros de la solución saturada a 1 litro con agua caliente y después se enfría la solución.

Se normaliza la solución usando 5 o 6 gramos de biftalato de potasio puro, el cual se disuelve en 100 mililitros de agua caliente y después se enfría. Se adicionan 6 gotas de fenolftaleína y se titula con el hidróxido de sodio.

$$N \text{ de NaOH} = \frac{g \text{ C}_6\text{H}_4(\text{COOK})\text{COOH}}{0.2041 \times \text{ml NaOH}}$$

0.2041 = miliequivalente

Anaranjado de metilo como indicador, 0.1 gramos de indicador se disuelven en 100 ml de agua (filtre si es necesario).

Procedimiento

Se toma una alícuota de 25 ml de la solución aforada en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Diluya esos 25 ml hasta 50 ml con agua, se adicionan varias gotas de indicador anaranjado de metilo y se titulan con solución normalizada de hidróxido de sodio.

Cálculos

$$\begin{aligned} \text{g/l de } \text{H}_3\text{PO}_4 &= \frac{\text{ml NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 0.098 \times 1000}{\text{ml de la muestra en alícuota de (2.5 ml)}} - (1.55 \times \% \text{HNO}_3) \\ & 0.098 = \text{miliequivalente} \end{aligned}$$

8.1.3.3.- Determinación de fosfato de aluminio.

Fundamento teórico

El aluminio se precipita como fosfato al emplear una solución conteniendo acetato de amonio en caliente y el precipitado es filtrado y calcinado.

Reactivos

Cloruro de amonio

Hidróxido de amonio densidad 0.90

ácido clorhídrico densidad 1.17

solución de acetato de amonio 25 gramos por 100 ml

solución de nitrato de amonio 1 gramo en 100 ml de HNO_3 al 5%

Procedimiento

Se pipetea 25 ml de la solución aforada a un vaso de precipitados de 600 ml. Se diluye a 400 ml con agua caliente, y se adicionan 5 gramos de cloruro de amonio y 2 gotas de indicador anaranjado de metilo, se neutraliza con hidróxido de amonio y se añaden 10 gotas de ácido clorhídrico. El color del indicador cambia de naranja a rojo.

Se coloca el vaso en una parrilla y se agrega pulpa de papel y 30 ml de solución de acetato de amonio y se calienta durante 5 minutos. Luego se filtra mediante un embudo y papel filtro, se lava con nitrato de amonio, se calienta la solución hasta que el filtrado no forme precipitado de cloruros de plata al añadirle solución de nitrato de plata.

Se pesa un crisol de porcelana y se tapa, luego se coloca el papel y el precipitado en el crisol, se quema a 600°C hasta transformarlo en cenizas, calienta después a 1000°C hasta peso constante, enfría en un desecador y pese como fosfato de aluminio.

Cálculos

$$\text{g/l de AlPO}_4 = \frac{\text{g de residuo de AlPO}_4 \times 1000}{\text{ml de la muestra en alícuota de (2.5)}}$$

3.1.3.4.- Determinación de agua del baño de abrillantado.

El agua se calcula una vez que se calculan los porcentos

en peso de los ácidos nítrico, fosfórico y el fosfato de aluminio.

Cálculos

$$\% H_2O = 100 - \% HNO_3 - \% H_3PO_4 - \% AlPO_4$$

La importancia de tener un control adecuado de la solución de abrillantado, evitará deficiencias en el abrillantado tales como: falta de brillo, manchas blancas en la superficie del aluminio y ataques violento.

8.1.4.-Control de la solución para anodizado.

Determinación que se le hace a la solución de electrolito para anodizado.

Determinación del ácido sulfúrico libre del electrolito, que se emplea para la formación de la capa de óxido.

Se hace la determinación de ácido sulfúrico libre no neutralizado por el aluminio disuelto en forma de $Al_2(SO_4)_3$.

Se toman 50 ml de solución y se diluye a 250 ml, formando la solución de Stock.

Acido sulfúrico libre.

10 ml de solución de Stock se pipetea y se colocan en un matraz Erlenmeyer. Se diluye hasta 100 ml, agregando 1 gramo de fluoruro de potasio y 1 ml de solución alcohólica de 0.1 % de azul de timol para valcrarse con solución 1 N de hidróxido de

sodio hasta obtener una coloración azul permanente.

Cálculos

$$1 \text{ ml de NaOH } 1 \text{ N} = 1.33 \text{ } \frac{1}{2} \text{ H}_2\text{SO}_4$$

Aluminio

La solubilidad del aluminio en la solución varía con la concentración de ácido sulfúrico y no debe exceder al valor que corresponde a la concentración de ácido utilizado.

Uno de los métodos para determinar el contenido de aluminio es el siguiente:

Se pipetea 25 ml de la solución de Stock y se colocan en un matras de 250 ml que contiene un exceso de hidróxido de sodio normal. Se agrega 1 ml de la solución de timol y se valora con ácido nítrico normal hasta que el color vira de azul a gris.

En este método se valora el ácido sulfúrico total, calculándose el aluminio por diferencia.

Cálculos

(1.8 ml de NaOH 1N - ml HNO_3 1N) - 4.5 (ml NaOH 1N en la valoración de H_2SO_4 libre) = Al en g/l

Cuando el $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ presente en el electrolito de ácido sulfúrico alcanza una concentración de 11 gramos/litro, este es el valor que se puede tolerar. En ese momento el electrolito del tanque de anodizado, o bien se tira hasta la mitad del contenido total y se recupera el restante con el electrolito nuevo, o

se tira todo el electrolito y se usa uno recién preparado.

8.1.5 Control de la solución del neutralizado.

Su objetivo principal es el de neutralizar los iones ácidos H^+ que son arrastrados del electrolito de anodizado al enjuague del mismo, que posteriormente se arrastran al neutralizado.

Para el control de la solución de neutralizado se emplea un potenciómetro, calculándose el pH y al ser muy ácido, entonces la solución neutralizadora ya no sirve, teniendo que regenerar con bicarbonato de sodio.

8.1.6.- Control de las soluciones de teñido.

En lo que se refiere al control de los colorantes se hace en base a su pH utilizando potenciómetro, cuando el pH no está en el rango de 5-5.5 el colorante ya no sirve, puesto que pueden haber deficiencias en el teñido, tales como manchas en la superficie que se va a teñir o bien el teñido no se efectúa. Por otro lado el mismo colorante puede atacar la capa de óxido, dejando la superficie anodizada picada. Debido a esto es mejor tirar el colorante y preparar otro nuevo.

8.1.7.- Control de la solución del sellado.

Cálculo de acetato de níquel del sellado

Método gravimétrico con la dimetil glioxima

Reactivos

Solución 1 % de dimetil glicoxima en alcohol.

Procedimiento

La muestra siempre se toma 10 cm por debajo del nivel de la superficie de la solución sellante.

Se toman 10 ml de solución sellante, se filtra, se calienta hasta casi ebullición y se agrega la dimetil glicoxima hasta que deje de precipitar.

Se deja asentar un cuarto de hora, se filtra en crisol Gooch previamente pesado, se mete a la estufa y luego al deshidratador pesándose después.

Cálculos

Peso de precipitado = Diferencia de pesadas

gramos/litro de acetato de níquel = peso de precipitado x
 0.2301×100

0.2301 = miliequivalente

Al no tener la concentración óptima de acetato de níquel, las piezas anodizadas y coloreadas a la hora de sellarlas se despintarían y se tendrían que volver a anodizar.

8.1.8.- Control de contenido de cloruros.

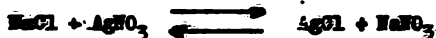
Este control se hace por lo regular a la solución de anodizado o sea, al electrolito de ácido sulfúrico. Los cloruros atacan la película de óxido de aluminio formada, no efectuándose una protección uniforme sobre la superficie del aluminio

y provocando picaduras.

El contenido de cloruros debe ser menor de 20 miligramos/litro.

Fundamento teórico

Para determinar si se tienen cloruros en solución, el método más adecuado es emplear soluciones de nitrato de plata y ácido nítrico, dando como resultado la formación del precipitado de cloruros de plata.



Procedimiento

A 100 ml de la solución de Stock (Ver 3.1.4) se añaden 10 ml de ácido nítrico de densidad 1.42 y 50 ml de solución de nitrato de plata al 1 %. Se deja sedimentar el precipitado, se filtra a través de un crisol de Gooch, se lava con ácido nítrico al 2 %. Se seca y se pesa como AgCl y se expresa en forma de NaCl.

Cálculos

gramos AgCl x 4.1 = NaCl gramos/litro del baño de anodizado

3.2.- B) Determinación del espesor de la capa anódica.

No existe un solo método para determinar el espesor de la capa anódica. Es preciso emplear métodos específicos.

Los métodos para determinar el espesor de recubrimientos anódicos pueden ser de dos tipos: en el primero se prefiere no destruir la película cuando se quiere saber el espesor de la capa para fines de producción, se llama método no destructivo.

El otro es el destructivo y se usa cuando se desea calcular el espesor con mayor precisión.

3.2.1.- Métodos no destructivos.

1) Medida microscópica directa.

Solamente es útil para películas transparentes, empleándose un microscopio cuyo ajuste incluye un dispositivo micrométrico. El microscopio se enfoca primeramente sobre la superficie del recubrimiento y luego sobre la interfase recubrimiento-metal. La diferencia medida en el micrómetro da el espesor óptico de la película, que hay que multiplicarla luego por el índice de refracción, que es de 1.59 para películas sin sellar y 1.62 para las selladas. La exactitud de este método aumenta conforme la película va aumentando.

2) Caída de potencial.

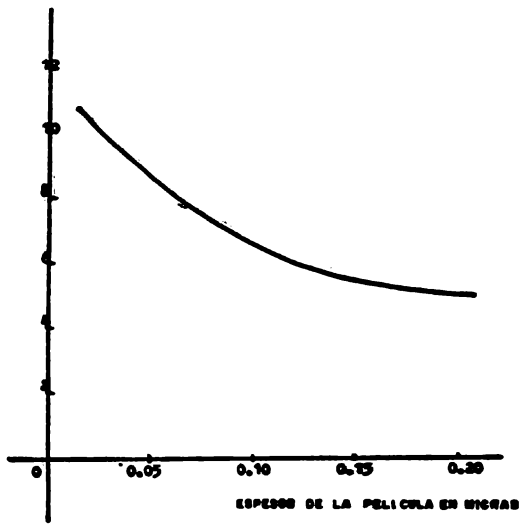
Este método es limitado ya que hay diferencias no solo entre recubrimientos producidos por diversos métodos si no también entre las diferentes capas del recubrimiento.

En este método se usa una bola de acero cromado de 1/8 de pulgada de diámetro como electrodo y es apretado contra la superficie recubierta mediante una carga de 1 o 2 gramos. Se aplica corriente alterna y se eleva el voltaje lentamente hasta que tiene lugar la caída. (Ver figura 8.2.1)

3) Medidas de corriente

Se considera que las determinaciones del espesor de la pe-

RESISTENCIA ELECTRICA
($V/CM. a 10^3$)



Efecto del espesor de las películas anódicas
sobre la intensidad de corrientes.

lículas anódicas no destructivas, más apropiadas son las que se efectúan con instrumentos.

Un ejemplo de estos instrumentos es el isómetro el cual consiste en un probador que es el que está en contacto con la superficie anodizada y este probador es un embobinado alimentado por un oscilador de alta frecuencia. El campo magnético asociado induce corrientes en el metal base, la profundidad de penetración de la corriente es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y directamente proporcional a la conductividad del metal base. Así, cuando la conductividad del recubrimiento difiere de la del metal base, su espesor (o sea la distancia entre el probador y el metal base), es una función lineal de la potencia del amplificador que se mide sobre un dial. Para preparar las curvas de calibración para una aleación de aluminio específica se coloca una lámina de espesor conocido sobre el metal sin recubrir.

Otro de los instrumentos es el dermitrón el cual se rige por el mismo principio, calibrándose de la misma forma que el isómetro.

6.2.2.- Métodos destructivos.

1) Disolución del recubrimiento.

En este método se pesa exactamente una muestra anodizada de área superficial conocida, se le quita el recubrimiento anódico con una solución hirviendo conteniendo 200 gramos/litro de á-

cido crómico y 20 ml de ácido fosfórico de densidad de 1.7 dejándose la muestra hasta que se obtenga peso constante (aproximadamente 10 minutos), la muestra se vuelve a pesar y la diferencia del peso del recubrimiento se emplea para calcular el espesor mediante la fórmula:

$$T = \frac{1.550 W}{ad}$$

En donde T es el espesor en micras

W es el espesor del recubrimiento en gramos

a es el área de la superficie del recubrimiento en cm^2

d es la densidad de la capa se considera de 2.5 g/cm^3

2) Disolución del metal

A este método se le atribuye un elevado grado de exactitud. Se anodiza una muestra de lámina de 1 cm^2 y 0.6 mm de espesor, colocándose sobre una malla de platino situada a 1 cm del fondo en un vaso de precipitados. El vaso se llena hasta la mitad con éter seco y se enfría con agua común y corriente. Se le coloca al vaso una tapa de vidrio que cierre herméticamente y en la cual se introduce un tubo que llega hasta casi 1 cm por encima de la muestra, acoplándole un condensador a la salida del tubo. En el éter se introduce ácido clorhídrico gaseosa completamente seco en cantidad de 1 a 2 burbujas por segundo. El gas sobrenante escapa entonces, a través del condensador que re-

tiene el éter.

La lámina se disuelve en tres o cuatro horas y la película de óxido se saca y se lava con éter. El espesor se mide con un micrómetro y si se desea puede someterse a análisis químico o a difracción de rayos X.

9.-Diferentes acabados del anodizado.

Entre los diferentes acabados se tienen: mates (opacos), brillantes, naturales y coloreados.

Anodizado con acabado brillante significa que la superficie del aluminio debe brillar.

El brillo de la superficie se puede obtener por medio de un pulido mecánico o químico, siendo estos métodos los de mayor interés industrial por sus ventajas económicas.

El anodizado brillante por medio de pulido mecánico no difiere del químico. Las diferencias principales son: la forma para lograr abrillantar la superficie, ya que en el pulido mecánico se emplean ruedas de manta que por fricción abrillantan y en el pulido químico el brillo se obtiene por la acción de ácidos, como pueden ser el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, el ácido fosfórico, etc.

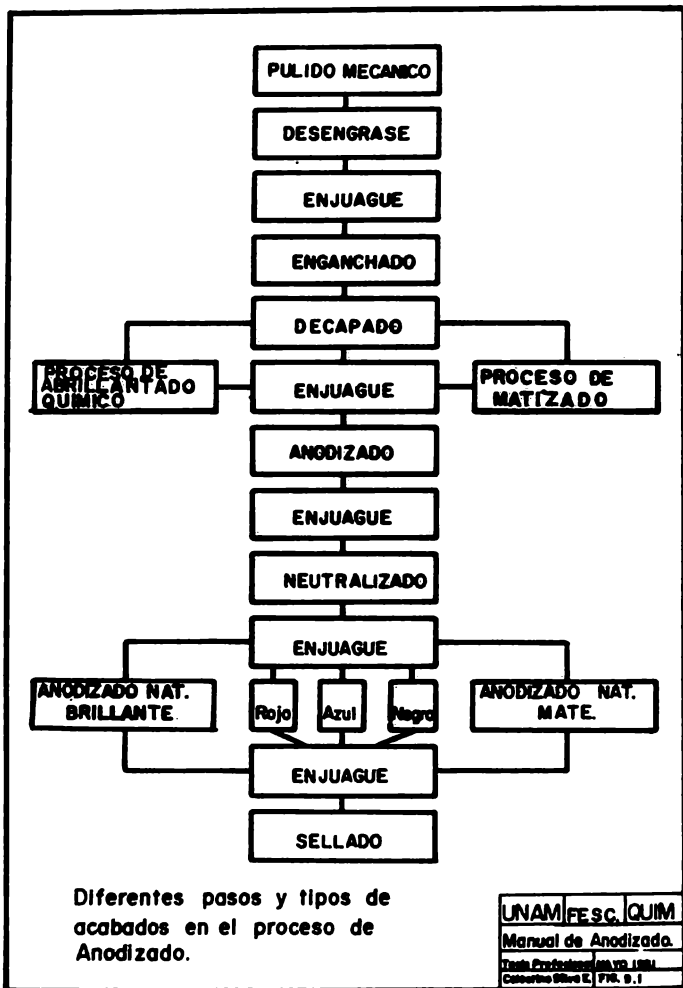
Estas técnicas son tratadas más ampliamente en el capítulo 3.

En el siguiente diagrama se muestran los diversos pasos del proceso para obtener los acabados de anodizado mencionados (Ver fig. 9.1).

Brevemente se va a explicar cada paso de los mostrados en el diagrama.

Para el anodizado brillante empleando el pulido químico se efectúan los siguientes pasos:

pulido mecánico.-Aunque se habla de pulido químico para



quitar rayas y defectos de la superficie del aluminio se pule mecánicamente

Desengrase.-Una vez que se pule el material se somete a una operación de desengrasado con detergente para eliminar los residuos de grasa de la pasta para pulir, la cual ayuda a evitar el calentamiento y a quitar rayaduras producidas en la fabricación de los perfiles de aluminio o provocadas por el mal trato del material.

Enjuague.-El material desengrasado se lleva a un enjuague con agua simple, eliminando así los residuos de detergente.

Enganchado.-El material que se va a abrillantar es colocado en ganchos de aluminio, para ser sostenidos mientras se completa el proceso.

Decapado.-El decapado se efectúa con el fin de eliminar los óxidos presentes en la superficie que se va a anodizar. El decapado consiste en introducir la pieza en una solución de ácido crómico al 5% en peso. Después se enjuaga con agua.

Pulido químico.-El abrillantador consta de H_3PO_4 y HNO_3 a una temperatura de aproximadamente $90^\circ C$. Se sumerge el material de 30 segundos a 5 minutos, sometiéndolo posteriormente al enjuague.

Anodizado.-Se procede a anodizar la muestra en un baño electrolítico de H_2SO_4 y 30 minutos, llevándose después al enjuague.

Neutralizado.-Se emplea como medida de emergencia, previniendo

do la existencia de residuos de ácidos no eliminados en el enjuague después del anodizado. Se usa bicarbonato de sodio para el neutralizado y después se lleva al enjuague.

Teñido.-Dependiendo del color de teñido que se desea se elige la tina adecuada. El tiempo de teñido dependerá principalmente del tono que se quiera. Si se trata de un acabado natural brillante no se utiliza ningún color, sino únicamente se somete la pieza al sellado. Después del teñido también se enjuaga la muestra.

Sellado.-Una vez acabado el proceso de abrillantado, anodizado y teñido, es preciso reforzar la película porosa formada, para lo cual se usa un sellador a base de níquel, lo que ocasiona la dilatación de los poros y el cierre de los mismos; la temperatura a la cual se sella es la de ebullición. La parte final del proceso es el enjuague después del sellado.

Es importante aclarar que los enjuagues con agua que se hacen después del decapado y anodizado tienen por objeto eliminar residuos de ácido.

Los enjuagues con agua para neutralizado, teñido y sellado eliminan residuos de bicarbonato de sodio, colorantes para anodizado y acetato de níquel.

Anodizado brillante empleando pulido mecánico.

El proceso de anodizado brillante por medio de pulido mecánico no difiere mucho del químico. Se distinguen únicamente

por el tipo de pulido.

Todos los pasos que siguen son exactamente iguales que en el proceso de abrillantado químico, básicamente se anodiza, se tife y se sella con sus respectivos enjuagues.

Anodizado mate (opaco)

En el anodizado mate los pasos son los mismos que se emplean para los procesos de anodizado brillante tanto por pulido mecánico como químico. En este proceso las muestras se someten a un baño de matizado a base de una solución de hidróxido de sodio al 4% (4 gramos en 100 mililitros de agua), el cual se deja actuar unos 40 minutos. Después del matizado se enjuagan con agua las muestras para eliminar los residuos de hidróxido.

10.-Equipo Empleado en el Proceso de Anodizado.

Debido a que el proceso de anodizado que emplea como electrolito H_2SO_4 es el de mayor interés industrial, el equipo que se usa es el que se describe a continuación. Este equipo también puede ser empleado para un proceso de anodizado con ácido crómico o con ácido oxálico.

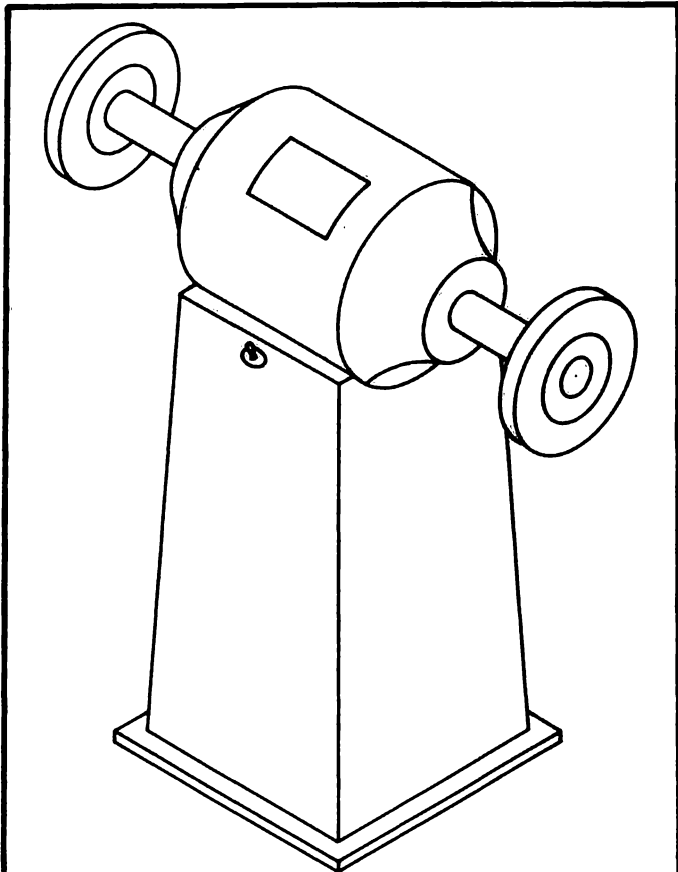
Si se trata de un proceso de anodizado con ácido crómico se hacen ciertas modificaciones a la célula electrolítica que se mencionarán más adelante.

10.1 Equipo de Pulido.

Para el pulimento mecánico de la superficie de aluminio se requiere de una pulidora de 7 H.P. y con 2800 r.p.m.. Esta pulidora se usa sobretodo, para perfiles de 3 a 6.10 metros de largo, los cuales son anodizados en plantas de grande y mediana capacidad. Para perfiles de 1.50 metros de largo y piezas pequeñas se utiliza una pulidora de 3 H.P. y 2800 r.p.m. (Ver figura 10.1).

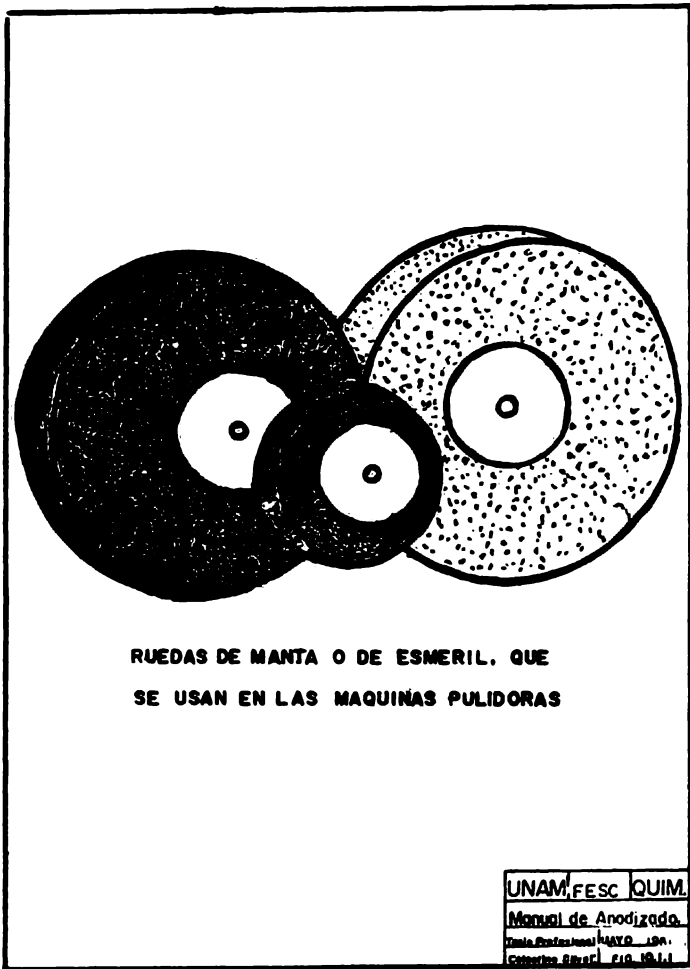
Se emplean también ruedas de manta las cuales por fricción van a producir el brillo deseado sobre la superficie del aluminio.

También en estas pulidoras se pueden usar ruedas de esmeril, cuya función es dar a la superficie un acabado satinado, es decir opaco llamándose este método matisado mecánico. Estas ruedas tienen principalmente un abrasivo revestido. (Ver figura 10.1.1).



Pulidora, empleada para el brillo
mecánico de superficies de aluminio.

LINAM	FESC	QUIM.
Manual de Anodizado.		
Para Fabricación: MATO 1978		
Código: 800.1 (Z.M.10.1)		



**RUEDAS DE MANTA O DE ESMERIL, QUE
SE USAN EN LAS MAQUINAS PULIDORAS**

UNAM	FESC	QUIM.
Manual de Anodizado.		
Colección de Manuales de Anodizado		
Comisión Ejecutiva C. I. Q. 1941		

10.2 Equipo Eléctrico.

Para la formación de la capa de óxido de aluminio se requiere una fuente de corriente continua, llamado rectificador de corriente, que transforma la corriente de alterna a continua, reduciendo además el voltaje.

El rectificador que se necesita para una planta de anodizado para poca capacidad es de las siguientes especificaciones:

Salida 20 volts y 500 amperes

Las especificaciones de un rectificador para plantas de anodizado de mediana y grande capacidad son las siguientes:

Salida 25 volts y 3000 amperes

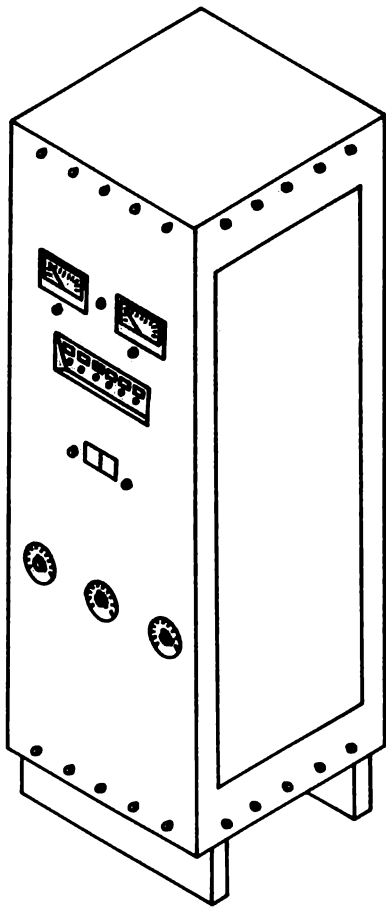
Ver figura 10.2 .

10.3 Soportes.

Se consideran también parte del equipo los soportes de aluminio que se utilizan para enganchar el material que se desea anodizar. La forma de estos soportes o ganchos (racks) va a depender de los artículos que se van a anodizar. (Ver figura 10.3.1, 10.3.2, 10.3.3, 10.3.4 y 10.3.5 .

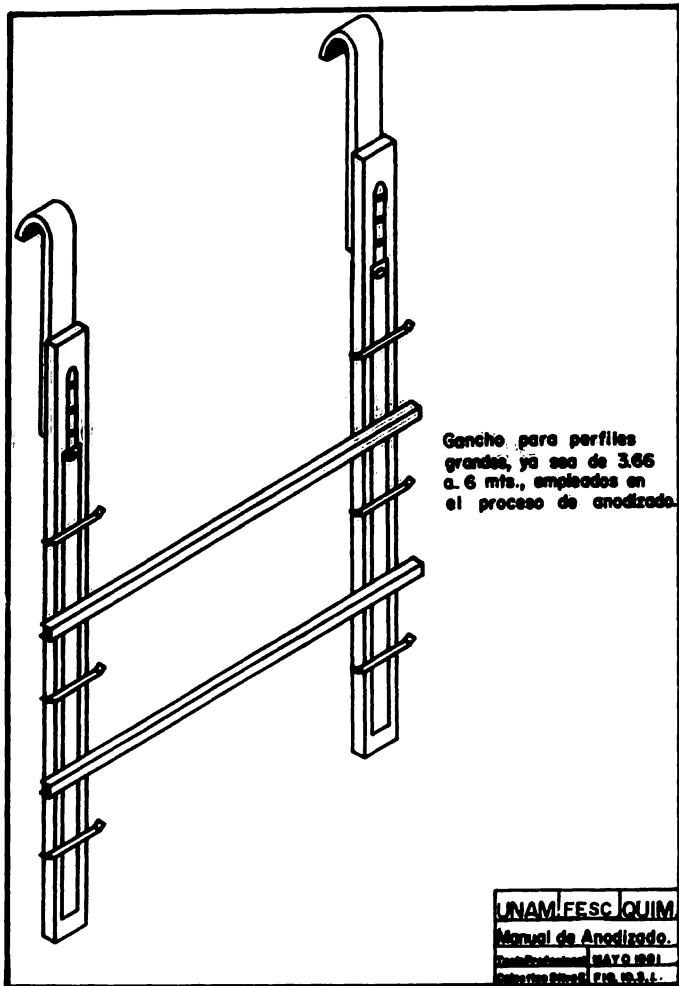
En la figura 10.3.1 se muestra un gancho para anodizar perfiles de 3.66 y 6.10 metros de largo, ganchos empleados en las plantas de grande y mediana capacidad.

En la figura 10.3.2 se muestran ganchos para anodizar perfiles de 1.50 metros de largo y piezas pequeñas. En las figuras 10.3.3 y 10.3.4 se muestran ganchos para piezas menores de 1.50



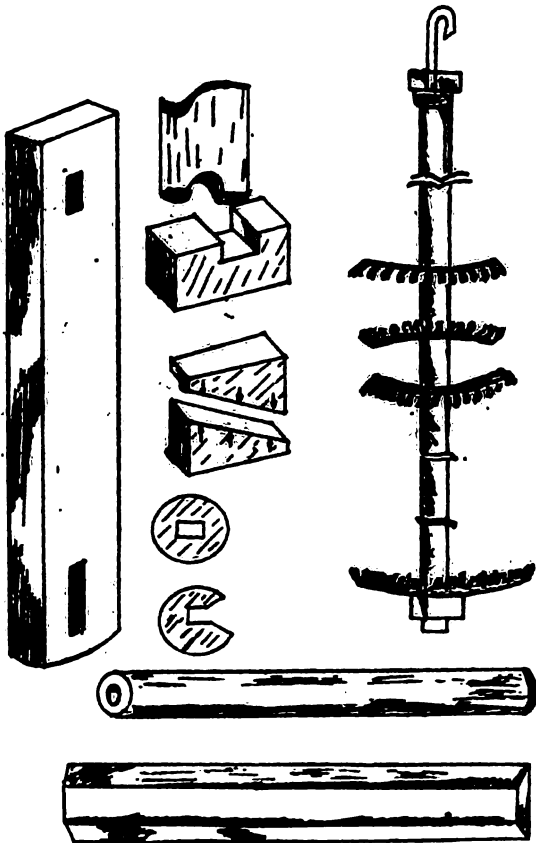
Rectificador de
corriente continua
para la formación
de capa anódica.

UNAM	FESC	QUIM.
Manual de Anodizado.		
Tercer Edición MAYO 1981		
Código UNAM 171810-2		



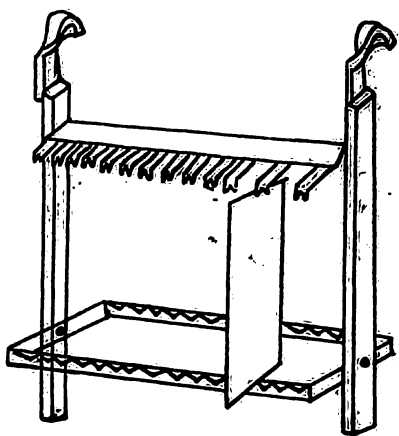
Gancho para perfiles grandes, ya sea de 3.66 a. 6 mts., empleados en el proceso de anodizado.

UNAM	FESC	QUIM
Manual de Anodizado.		
Elaborado por:		MAYO 1991
Instituto de Estudios F.C.S. S.C.		

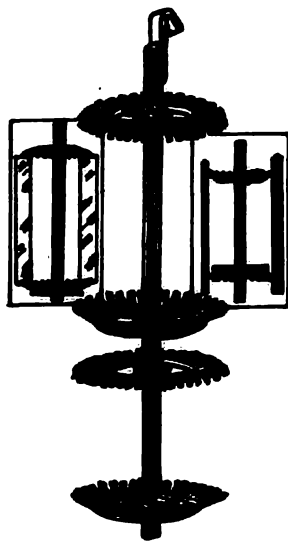


SANCHOS PARA ANODIZADO DE PIEZAS CHICAS
Y PERFILES DE 1.50 MTS. DE LARGO.

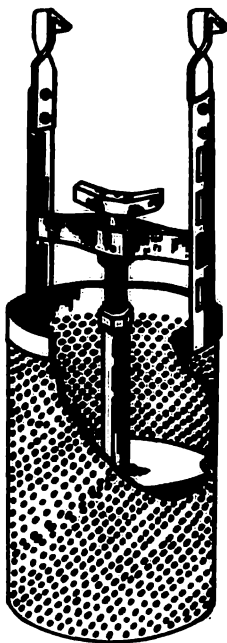
UNAM	FESC	QUIM.
Manual de Anodizado		
Fecha Publicación MAYO 1961		
Colección SIBZ 7 FIG. 10.5.8		



**GANCHO DE ANODIZADO
DE PIEZAS CHICAS**



**GANCHO PARA ANODIZADO DE
PIEZAS MENORES DE 1.5M
DE LARGO**



Gancho para ánodo a granel.

metros de largo y en la figura 10.3.5 se muestra un gancho para anodizar a granel piezas muy pequeñas como son, tornillos, tuercas, etc.

Todos estos ganchos son empleados en las plantas para anodizado de poca capacidad.

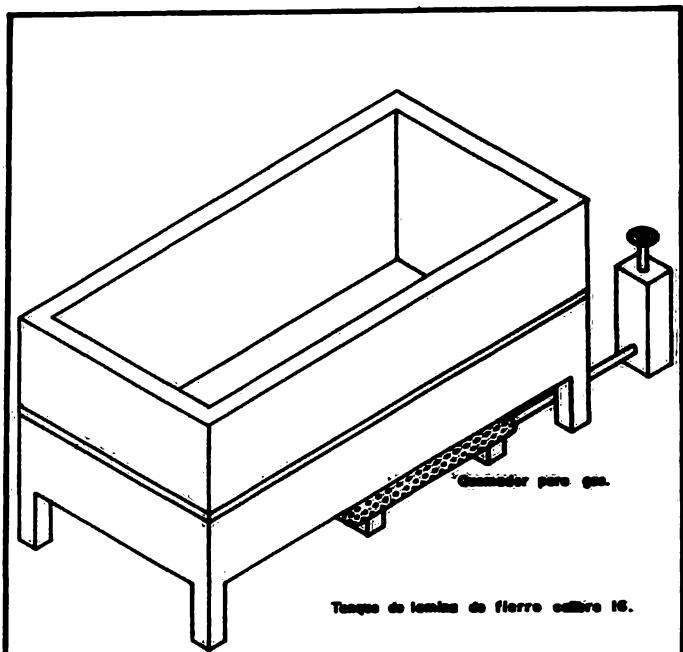
10.4 Tinas.

Las tinas o tanques son las destinadas para llevar a cabo cada paso del proceso de anodizado. Se tienen tinas para enjuague, neutralizado, desengrasado, decapado, abrillantado químico, matizado químico, anodizado, teñido y sellado.

En lo que se refiere a las tinas de desengrase con detergente y las de matizado con hidróxido de sodio y sus respectivos enjuagues son construidas de lámina de fierro calibre 16. (Ver figura 10.4.1).

Para las tinas de enjuague que se usan después del teñido, del sellado, del decapado con ácido crómico, del neutralizado con bicarbonato de sodio y sus respectivos enjuagues son construidas de lámina de fierro calibre 16, forradas con resina poliéster y fibra de vidrio, para protegerlos de la acción corrosiva de los ácidos y sustancias ligeramente ácidas como son los colorantes para teñir y el sellador de acetato de níquel. (Ver figura 10.4.2).

Tanque de abrillantado químico. Esta tina es de lámina de acero inoxidable calibre 16, se calienta con un quemador para

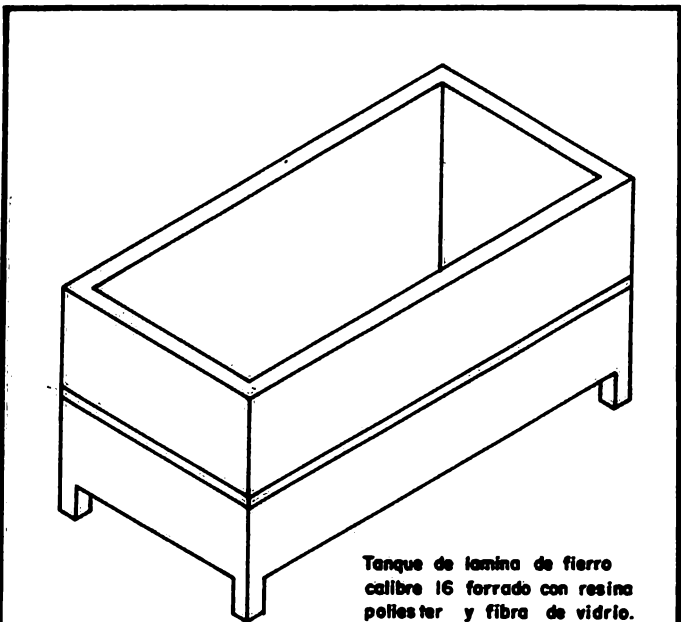


Controlador para gas.

Tanque de laminas de fierro calibre 16.

Tanque para el proceso de matizado.

UNAM	FESC	QUIM
Manual de Anodizado.		
Fecha Publicación: MAY 21 1981		
Código SNUB: F 729.10.4.1		



Tanque de lamina de fierro
calibre 16 forrado con resina
poliester y fibra de vidrio.

Tanque para el proceso de enjuague.

gas y de esta manera se logra la temperatura que se requiere. La tina para enjuague es del mismo material que para el tanque de abrillantado. (Ver figura 10.4.3).

Tanque de teñido. Debido a que algunos colorantes están en medio ácido se pueden corroer los tanques, si se emplean de hierro, además estando o no en medio ácido la solución colorante es delicada, puesto que se contaminaría con el fierro al oxidarse es preferible emplear tinas de acero inoxidable, si los colorantes requieren calentamiento, se hace por medio de un quemador para gas y se forran exteriormente con lana mineral para evitar pérdidas de calor. (Ver figura 10.4.4).

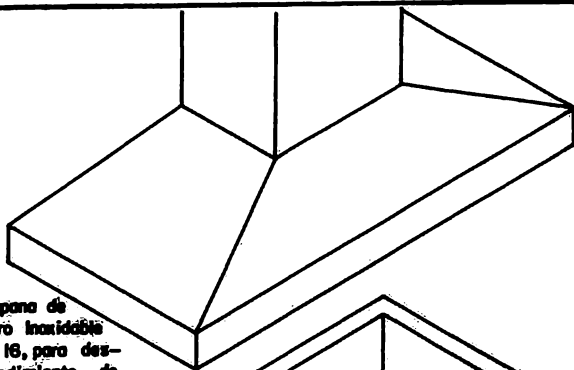
Tanque de Sellado. Dado que este tanque tiene que estar sometido a una temperatura alta y además la solución tiene que estar a un pH ácido, este tanque se construye también con lámina de acero inoxidable y se forra exteriormente con lana mineral para evitar pérdidas de calor y además se recomienda que se conserve tapado para evitar la evaporación de la solución. (Ver figura 10.4.5).

10.4.1 Tanque para anodizar y descripción de la celda.

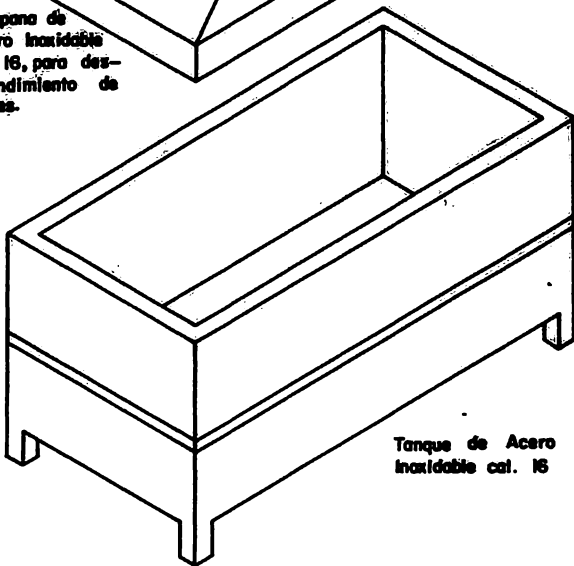
El tanque se construye con lámina de fierro calibre 16 y recubierto con resina poliéster y fibra de vidrio, debido a que el electrolito empleado es ácido.

Descripción de una celda de anodizado.

1) Se emplea el tanque recubierto con fibra de vidrio.



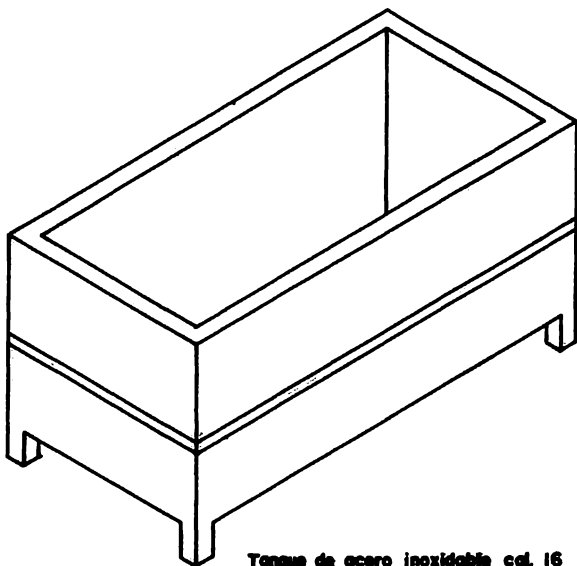
Campana de
Acero Inoxidable
cal. 16, para des-
prendimiento de
gases.



Tanque de Acero
Inoxidable cal. 16

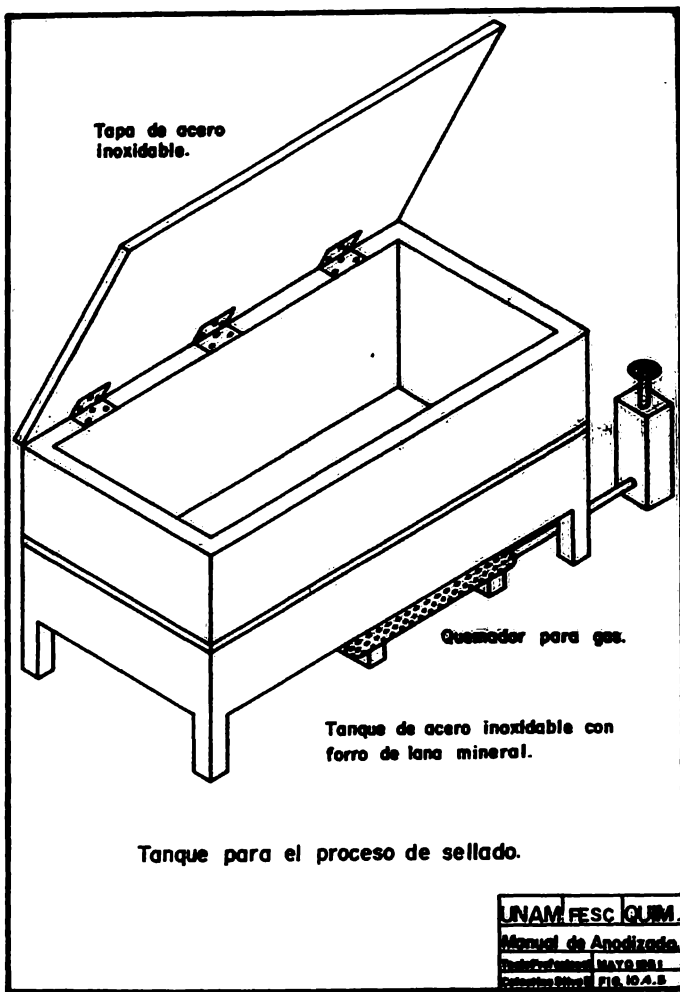
Tanque para el abrillantado químico.

UNAM FESC QUIM.
Manual de Anodizado.
Dada en Ciudad de México, a los 15 días del mes de MAYO de 1981.
Carmelo Díaz P. J. 128. 10.43



Tanque de acero inoxidable cal. 16
• Con aislamiento exterior de lana mineral si requiere calentamiento el colorante.

Tanque para el proceso de teñido de la capa de óxido.

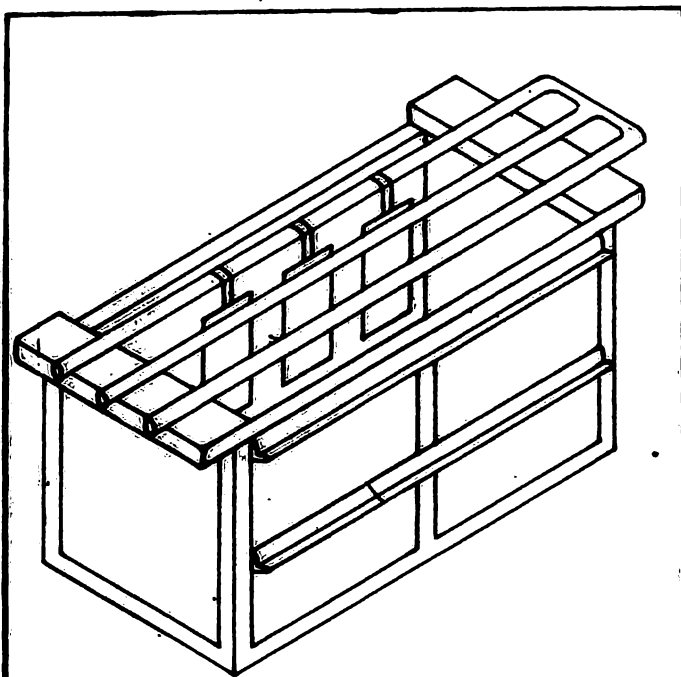


- 2) Electrolito de H_2SO_4 con una concentración del 20%.
- 3) Cátodo de plomo. Placas colocadas a los extremos del tanque y además es el polo negativo.
- 4) Anodo de aluminio. Barra colocada en el centro del tanque éste es el polo positivo. Además es la barra donde se cuelgan los ganchos, en que están colocadas las píasas que van a recibir el tratamiento de anodizado.
- 5) Aislador de porta. electrodos. Por lo regular su finalidad es de separar los electrodos y evitar corto circuito entre ellos.
- 6) Serpientes de plomo con diámetro de 1 1/2 " con el fin de contrarrestar el efecto térmico producido por la reacción de oxidación.
- 7) Serpientes de P.V.O. de 3/4 " perforados, empleados para llevar aire y tener agitación constante. (Ver figura 10.4.1.1 y 10.4.1.2).

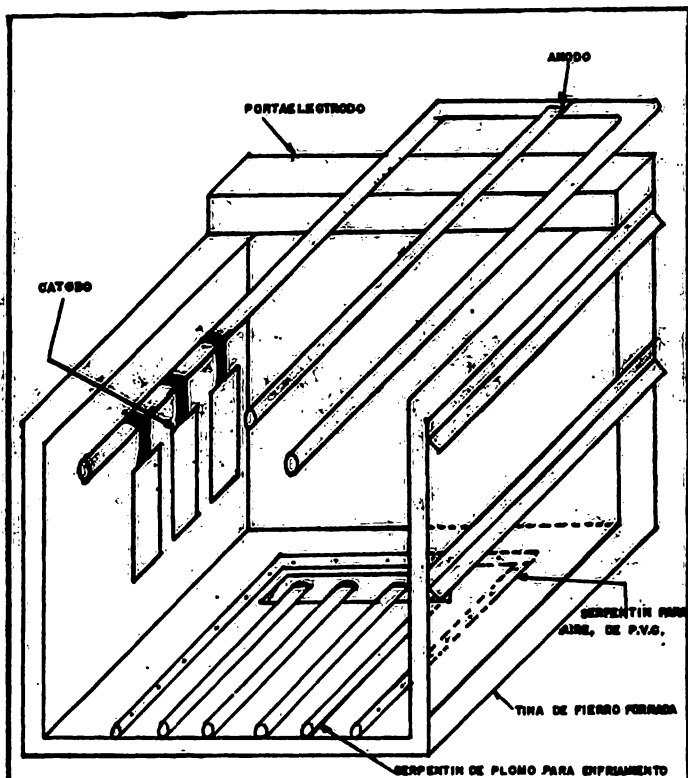
Si se emplea como electrolito ácido oxálico no se hace ninguna modificación, pero si se emplea como electrolito ácido crómico se tienen que cambiar los cátodos de plomo por cátodos de aluminio y los serpientes empleados de plomo se cambian por P.V.O., debido a que el ácido crómico reacciona con el plomo, formando una película de cromato de plomo.

10.5 Sistema de refrigeración.

Para mantener la temperatura de 20°C del electrolito del



PARTE EXTERIOR DEL TANQUE PARA LA CELDA ELECTROLITICA
DE ANODIZADO



**CORTE TRANSVERSAL DEL TANQUE PARA
LA CELDA ELECTROLITICA DE ANODIZADO**

baño de amodizado se requiere un sistema de refrigeración, empleando como elemento refrigerante al freón 12, ya que es el más recomendado para éste proceso.

10.6 Agitación.

Para mantener homogéneo el baño de amodizado se necesita agitación, para ello se utiliza una compresora para aire.

11.- Conclusiones.

En relación a los objetivos propuestos considero que los objetivos particulares mencionados anteriormente si se han logrado a través de la recopilación de información bibliográfica. Incluso en el aspecto de equipo se han mencionado datos que son producto de mi experiencia en este tipo de industria.

Será posible evaluar si se alcanza el objetivo general sólo a largo plazo, mediante una distribución de este trabajo en diversas industrias mexicanas y entrevistas con sus trabajadores para conocer sus opiniones respecto a la actividad de esta información.

Durante la recopilación que lleve a cabo para la tesis, encontré que había algunos aspectos no tratados en algunas fuentes de información, como eran por ejemplo datos y resultados experimentales no actualizados e información confusa.

Por estas razones sugiero que para cubrir estas deficiencias es necesario efectuar investigación experimental que enriquezca la información disponible.

.

APENDICE A : GLOSARIO

- ABRASIVO** ----- Sustancia que tiene por objeto provocar un desgaste a una superficie por fricción.
- ABRILLANTADO O**
- PULIDO QUIMICO** ---- Proceso que se le da al aluminio con el fin de obtener un brillo apropiado a base de ácidos.
- ALEACION** ----- Sustancia metálica que se compone de más de un metal y son consideradas soluciones complejas sólidas de metales o no metales y en algunos casos son compuestos metal-metal o metal-no metal. Las aleaciones tienen propiedades diferentes de los metales de donde provienen.
- AMPERE** ----- Unidad de la medida de la corriente eléctrica que pasa por un conductor.
- ANIONES** ----- Son los iones que se desplazan hacia el cátodo.
- ANODIZADO DURO** ---- Tratamiento similar al del anodizado pero en condiciones especiales de temperatura (baja) y de tensiones o voltajes (altos) que dan por resultado una gran dureza a la capa de óxido obtenida.

ANODIZADO ----- Proceso que se le da al aluminio para formar una capa de óxido por medio de un proceso electrolítico.

ANODO ----- Electrodo positivo de la cuba electrolítica en el que se dirigen los aniones y en donde tienen lugar las reacciones de oxidación.

CAPA DE OXIDO O

PELICULA ANODI-

GA DEL 'ALUMI-

NO. ----- Es la capa formada al efectuarse una oxidación en la superficie del aluminio formándose un óxido de aluminio. La oxidación del aluminio puede ser natural, es decir si la superficie del aluminio se expone a la interperie se le forma una capa, llamándose esta capa de óxido natural y si la oxidación del aluminio se hace por medio de una electrolisis, la capa formada se llama capa de óxido artificial.

CATIONES ----- Son los iones que se desplazan al cátodo.

CATODO ----- Electrodo negativo de la cuba electrolítica en el que se dirigen los cationes y tienen lugar las reacciones de reducción.

CELDILLA ----- Agrupamiento de los poros formados durante el proceso de anodizado y que por su colocación forman un prisma exagonal.

COMPUESTO COLOI-

DAL ----- No son consideradas soluciones y no son verdaderas dispersiones moleculares. El tamaño de sus partículas son bastante grandes en comparación con las de las soluciones y son capaces de dispersar la luz visible. Siendo el diámetro promedio de las partículas para las soluciones de $0.5 - 2.5 \times 10^{-8}$ cm y para las partículas coloidales es de $10^{-7} - 10^{-5}$ cm.

DENSIDAD DE

CORRIENTE ----- Es el cociente entre la intensidad de la corriente por unidad de superficie.

DECAPADO ----- Es el proceso que sirve para limpiar las superficies metálicas con impurezas sobre todo de óxido.

DIFERENCIA DE

POTENCIAL ----- También llamado tensión o voltaje representado por (E) y la diferencia de potencial es lo que provoca el flujo de corriente eléctrica. También la diferencia de potencial origina una tendencia de la cor-

frente eléctrica a circular, del punto de potencial más elevado al del potencial más bajo, su unidad es el volt.

- ELECTRODO** ----- Es un punto de contacto entre el conductor metálico y la solución. Además es por donde entra o sale la corriente eléctrica en la celda electrolítica.
- ELECTROLITO** ----- Sustancia que permite el paso de la corriente eléctrica debido al movimiento de los iones. Casi siempre es una solución acuosa de ácidos, sales o bases aunque puede ser también una sal fundida.
- ELECTRONEGATIVO** ---- Se define como la facilidad relativa que un átomo tiene para atraer electrones de un enlace.
- IONES** ----- Son las partículas que se dirigen en direcciones opuestas durante la electrolisis. Hay aniones y cationes.
- MATE** ----- Falta de brillo.
- MATIZADO** ----- Es el proceso que se le da al aluminio con el objeto de darle un acabado opaco, pudiendo ser mecánico o químico.
- NEUTRALIZADO** ----- Proceso empleado para eliminar residuos de ácido provenientes del baño de anodizado mediante una base.

OXIDACION ANODI-

Ca. ----- Es el proceso de oxidación que sufre el aluminio para obtener una capa de óxido o anódica, ya sea por medios naturales o por medios electrolíticos.

POROSIDAD ----- Particularidad de una superficie de poseer orificios más o menos grandes, en mayor o menor número.

PULIDORA ----- Es la maquinaria empleada para darle brillo a las superficies metálicas (proceso mecánico).

PULIR ----- Es el proceso mecánico que se le da a las superficies metálicas para darle brillo.

RECTIFICADOR DE

CORRIENTE ----- Aparato eléctrico que recibe corriente alterna y suministra corriente continua gracias al empleo de celdas rectificadoras o diodos que tienen la característica de no permitir el paso de la corriente más que de un solo sentido.

SELLADO ----- Paso final en el proceso de anodizado y es en donde se sellan los poros de la capa anódica, hidratándolos con sales metálicas, usando de preferencia sales de níquel.

SOPORTE O GANCHO

(BACK) ----- Es el material que se emplea para enganchar o ensamblar las piezas de aluminio que se quieren anodizar, pero este material debe ser de aluminio y pueden ser soleras, tornillos, remaches, o alambre. Otro material que puede emplearse para enganchar y ensamblar las piezas es el titanio, pero debido a su alto costo no se emplea.

TEMPLE ----- El temple consiste en enfriar un metal bruscamente después de haberlo puesto a una temperatura bastante elevada. El temple se realiza de forma diferente según la calidad del metal sobre el cual se trabaja y según las propiedades que se desean obtener.

TENSION ----- La tensión conocida también como tensión de descomposición y es la diferencia de potencial mínima necesaria para que se descarguen los primeros iones sobre los electrodos.

VOLT ----- Unidad de medida de la tensión o diferencia de potencial entre dos puntos.

WATT ----- Es la unidad de medida de la potencia de

- 95 -

una corriente eléctrica de un volt que tiene
ne una intensidad de un ampere.

$$\text{WATT} = \text{VOLT} \times \text{AMPERE}$$

BIBLIOGRAPHIA

- 1) Holson, G.D. and Knapp, C.J. How to control the Aluminum Bright Dipping Process. Modern Metals. September 1961.
- 2) Kiesner, J.H. and Keers, A.H. Hard anodising of aircraft fuel metering components. Technical Proceedings. 45, 3-15 (1958).
- 3) Blumenfeld, A.K. and Schring, F.W. Constant wattage hard anodising of Aluminum. Plating Magazine. October 1960, 2-8.
- 4) Sacchi, F. Obtaining a hard surface by anodic oxidation of Aluminum. Aluminum. vol. 24 No. 1, p 5-15 (1955).
- 5) Herrmann, E. Production of hard oxide films on aluminum and its alloys. Galvanotechnik. 51 (1960) 8, p 387-392.
- 6) Welch, J.E. Continuous electrolytic oxidation of aluminum wires, coiled sheets and foils. Products Finishing. 29 (1964) 3, p 36-42.
- 7) Alcoa Finishes. Duranodic Finishes for Architectural Applications. Aluminum Company of America. May 1959, Bulletin No. 13.
- 8) Alcoa Finishes. Hard Anodic Coatings for Aluminum Alloys. Aluminum Company of America. July 1960, bulletin No. 14.
- 9) Alcoa Finishes. Alcoa R 5 Bright Dip. Aluminum Company of America. May 1950, bulletin No. 2.
- 10) Alcoa Alzak process. Aluminum Company of America, 1057.
- 11) Aluminum Dyestuffs
Durand & Huguenin S.A.
F-32 4rd edition
printed in Switzerland

April 1967.

12) Aluminio

Unipon S.A.

Catálogo 104

Edición Febrero 1970.

13) Aluminio

Salvador Días Du-Pont, S.A.

Catálogo No. 12

Edición noviembre de 1971.

14) Alcomex. Tubos y perfiles de Aluminio.

Alcomex, S.A.

Fabricantes de tubos y perfiles de Aluminio.

Representantes de Alcoa Internacional.

15) Aluminio en todas sus formas.

Almaza S.A.

Aluminio Industrial Mexicano S.A.

Fabricantes Nacionales de Aluminio.

Catálogo No. 303.

16) Catálogo de Perfiles Standar

Aluminio Conesa.

Compañía Nacional de Extrusiones S.A. de C.V.

Enero 1970.

17) Silman H.

Acabado Químico y Galvanoplástico de los Metales. Cromados,
Niquelado, Plateado, Dorado, Anodizado y coloración por pro-

edificios modernos.

Editorial José Montese

Barcelona, España, 1955.

18) Mantell L.C.

Ingeniería Electroquímica.

Información exhaustiva de la teoría y práctica de los procesos electroquímicos industriales de sus aplicaciones y productos.

Editorial Reverte S.A.

Barcelona España, 1962.

19) Ganning, W. LTD

The Canning Handbook on Electroplating.

Including sections on Polishing, Electroplating, Anodizing, Lacquering, Bronzing.

Twenty second edition

Editorial Ganning

London, England, 1978.

20) Fernick, S.

Acabados y tratamientos superficiales del aluminio y sus aleaciones.

segunda edición

Editorial River S.A.

Madrid, España, 1966.

21) Wernick, S. and Pinner, R. Coloring anodic coatings. Metal Finishing (1956), 54, No. 7, 43-53.

22) Annual Book of ASTM Standards

Part 7

Copyright American Society for Testing and Materials

printed in Easton, Md. U.S.A., 1980.

23) Fedotiev, N.P.

Electropulido y Anodización de Metales

Editorial Gustavo Gili, S.A.

Barcelona, España, 1972.

24) Langford, E.

Análisis de Baños Electrolíticos

segunda edición

Editorial Aguilar S.A.

Madrid, España, 1963.

25) Massuet, G.V.

Anodizado y Coloreado del Aluminio y sus aleaciones

tercera edición

Ediciones Cedel

Barcelona, España, 1967.