

Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

F A C U L T A D D E Q U I M I C A

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA PARA  
ANODIZADO ECONOMICO EN ALUMINIO.

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

p r e s e n t a :

J O R G E C O R I A C A B R E R A



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.

CLAS. Tesis  
AÑO. 1975  
FECHA  
PROC. MLT-77




QUIMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

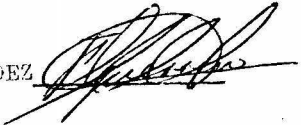
PRESIDENTE: I. Q. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ  
VOCAL: I. Q. EDUARDO ROJO Y DE PEGU  
SECRETARIO: I. Q. ESPERANZA SCHROEN FUTIERREZ  
1er. SUPLENTE: I. Q. CUTBERTO RALIREA CASTILLO  
2o. SUPLENTE: I. Q. LARIO RALIREA Y OTERO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:  
COMPAÑIA "A.CDIK, S.A."

SUSTENTANTE:

JORGE CORTA CABRELA 

ASESOR DEL TEMA:

I. Q. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ 

*Vo Bo*  


A mis Padres

Con todo mi cariño y eterno agradecimiento

A ROSA MARIA

Mi mejor amiga, compañera y adorable Esposa

Con todo mi amor

A mis hijas KARINA Y TATHIANA

Mis pequeñas conejitas

A mis queridos Hermanos  
CARLOS, VIRGINIA, ALEJANDRO y BETY

A mis maestros

A la FACULTAD DE QUIMICA

Al Ing. JOAQUIN ALBA M.  
Con afecto y profundo agradecimiento

Al Ing. MANUEL F. GUERRERO  
Por su ayuda y comprensión

AL GRUPO HYDROXILO

## I N D I C E

CAPITULO I	INTRODUCCION.....	2
CAPITULO II	PROCESOS DE ANODIZADO.....	6
	2.1. Características del aluminio.....	6
	2.2. Antecedentes.....	7
	2.3. Procesos convencionales.....	10
	2.3.1. Baños.....	11
	a) Desengrase.....	12
	b) Matizado.....	12
	c) Decapado.....	13
	d) Anodizado.....	13
	e) Sellado.....	16
	2.3.2. Condiciones de operación.....	17
	a) Desengrase.....	18
	b) Decapado.....	19
	c) Matizado.....	19
	d) Anodizado.....	20
	e) Sellado.....	28
	2.3.3. Equipo.....	28
	a) Tanques.....	29
	b) Equipo eléctrico.....	37
	c) Equipo de refrigeración y calentamiento....	40
	d) Equipo para tratamiento de agua.....	42
	e) Varios.....	44
CAPITULO III	PROCESO PROPUESTO.....	47
	3.1 Consideraciones teóricas.....	48
	3.2 Resultados experimentales.....	53
	3.3 Observaciones.....	61



CAPITULO IV	CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....	65
4.1	Instalación de una planta para anodizado económico en aluminio.....	65
4.2	Integración del proceso de Anodizado Económico a una planta de anodizado convencional.....	75
CAPITULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA	.....	82

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

## INTRODUCCION

El aluminio posee una gran versatilidad de posibles aplicaciones y usos, debido a lo cual se convierte en un elemento significativo para la solución de muy diversos satisfactores.

En el ramo específico de la construcción, el aluminio ocupa un lugar importante en razón de sus características de ligereza, resistencia, aspecto etc., y en el caso de puertas, ventanas, rejas, barandales y cancelería en general, tiende prácticamente a eliminar el uso del fierro. Es el tratamiento electrolítico para protección y embellecimiento del aluminio, llamado ANODIZADO, lo que nos ocupa en el presente trabajo. Siendo el anodizado de aluminio un proceso de maquila, ésta industria marcha paralelamente con la producción de aluminio extruido dirigido al ramo de la construcción, el cual constituye su principal suministro de trabajo.

En México, hace alrededor de diez años, el empleo del aluminio en la fabricación de elementos que se utilizan en la construcción era visto con reserva y desconfianza y el uso del fierro para la fabricación de puertas, ventanas etc., era prácticamente obligado. Las ventajas del aluminio empezaron a cobrar fuerza y en diversas obras fué empleado para ventanería, fachadas, cancelería y otros elementos con un éxito rotundo. Sin embargo, existía un factor que eliminaba al aluminio anodizado en competencia con el fierro: el precio. Aún cuando era -

evidente que el aluminio presenta mayores ventajas en su empleo que el fierro, sólo era utilizado como un elemento de lujo. No obstante, la industria del anodizado era un negocio productivo y las inversiones en plantas de anodizado tenían garantizada una alta rentabilidad.

La producción de aluminio en los último diez años, ha observado un aumento considerable y el aluminio extruído empleado en la construcción, es el renglón que ha reflejado el desarrollo más notable. Sin embargo la industria del anodizado no ha tenido precisamente el éxito económico que se pudiera suponer. Conforme el precio del aluminio ha ido en aumento, el precio por concepto de anodizado ha tenido que permanecer prácticamente estático para poder mantener el aluminio anodizado en competencia. Los aumentos en los costos de mano de obra, materias primas, etc., han disminuído notablemente el margen de utilidad, pudiendo sólo en parte contrarrestar ésta situación con los aumentos registrados en la demanda. El problema ha sido menor para aquellas empresas que habiendo sido planeadas con previsión, tienen una capacidad instalada que les permite absorber mayores volúmenes de producción y aún así, han tenido que adoptar -en lo posible- medidas drásticas de reducción en sus costos variables. Otras con menor capacidad han recurrido a la fusión para poder mantenerse a flote, y algunas plantas pequeñas que no han contado con elementos para resolver la crisis, han tenido que suspender sus actividades.

Ante ésta situación, éste trabajo tiene como objetivo, el encontrar mejoras técnicas al proceso convencional de anodizado en aluminio, a lo cual se nombra ANODIZADO ECONOMICO EN ALUMINIO, que permitan disminuir sustancialmente los costos de producción y aún pudieran conducir a una disminución del precio de venta en el anodizado, pudiendo de ésta manera reforzar económicamente a la industria del anodizado en México, - abrir nuevos mercados al aluminio en competencia con el fierro y con - - ésto, favorecer la divulgación, uso y aprovechamiento de éste metal.

CAPITULO II

PROCESOS DE ANODIZADO

## PROCESOS DE ANODIZADO

Este capítulo para su desarrollo, será dividido en tres partes fundamentales:

### 2.1 CARACTERISTICAS DEL ALUMINIO

### 2.2 ANTECEDENTES

### 2.3 PROCESOS CONVENCIONALES

#### 2.1 CARACTERISTICAS DEL ALUMINIO

El aluminio es ligero.-Esta es la primera característica que llama la atención, ya que 1 cm<sup>3</sup> de aluminio pesa 2.70 g; éste mismo volumen de acero pesa 71.86 g. de cobre 8.92 g., de plomo 11.34 g. y de zinc - - 7.13 g.

El aluminio es altamente resistente a la corrosión de la atmósfera del agua, y de muchos agentes químicos, propiedad que se aprovecha para el empaque de alimentos y el manejo de ácidos y solventes. Esta propiedad se ve aumentada por la formación espontánea de una película protectora de óxido de aluminio al contacto con el aire.

El aluminio es un excelente conductor de la electricidad. La conductividad del aluminio es de aproximadamente 61% con relación al cobre, de aquí que como el aluminio pesa menos de la tercera parte que el cobre, kilo por kilo es dos veces más efectivo como conductor eléctrico.

El aluminio es un excelente conductor del calor. Debido a la rapidez y uniformidad con que se transmite el calor a través del aluminio,

Se ha convertido en el metal preferido, por la gran variedad de usos, - pasando desde gigantescos intercambiadores de calor, hasta utensilios - de cocina.

El aluminio es anti-magnético. Debido a ésta propiedad, el aluminio es usado para gabinetes de conductores eléctricos, estructuras marinas, equipos automáticos de radio y en cualquier parte donde el magnetismo es un factor negativo.

El aluminio es un magnífico reflector de la luz. El aluminio - puede dar superficies con una alta reflectividad, comparable con espejos de plata. Esta cualidad lo convierte en la materia prima indispensable para la fabricación de todo tipo de reflectores para alumbrado público.

El aluminio tiene una excelente apariencia natural. En muchas - aplicaciones el aluminio puede usarse aún sin acabados, pero tratándose de darle una mayor vista, es el metal que más fácilmente acepta los acabados electrolíticos y al que se le puede dar mayor gama de coloraciones.

además de las propiedades indicadas anteriormente, pueden mencionarse la de que no es tóxico, la de que es fácil de trabajar y ensamblar y muchas más que constantemente se están descubriendo.

## 2.2 ANTECEDENTES

Como es sabido, el óxido que se forma en las superficies de las -



piezas de acero ó de hierro fundido expuestas al aire, ocasiones considerables pérdidas. Lo mismo sucede aunque en bastante menor grado con las piezas de cobre y de aleaciones de cobre (latón, bronce), que se oxidan y cubren de verdín. Los objetos de zinc se cubren de una capa azulada de óxido, y por su parte el aluminio más ó menos rápidamente se cubre también de una capa grisácea, (el aluminio, aún en contra de la creencia común de que en éste caso no sucede, se oxida) pudiendo incluso a veces advertirse con el tiempo importantes deterioros en las piezas construidas con éste material. Todo ello obliga, cuando menos en lo que respecta a los objetos decorativos, a llevar a cabo frecuentes limpiezas.

Si se desea obtener piezas no alterables por la acción de la interperie, ó de un empañamiento muy lento, ó piezas, en cualquier caso, fáciles de conservar, puede adoptarse como solución el empleo de metales y de aleaciones inoxidables ó prácticamente inoxidables, como los cupro-aluminios, las alpacas y sobre todo las aleaciones de hierro-níquel-cromo del tipo acero inoxidable; existe sin embargo y ya desde hace bastante tiempo otra solución. Se comprobó que un recubrimiento por inmersión ó por vía electrolítica podía constituir una eficaz protección para cualquier tipo de metal.

Es conveniente analizar el comportamiento del aluminio en el medio ambiente, para lo cual dividiríamos éste en tres tipos: rurales, industriales y marinos; naturalmente que existen ambientes donde se

combinan éstos tipos. En los ambientes rurales podemos considerar a las poblaciones donde la atmósfera es bastante pura.

Los industriales son los ambientes de zonas fabriles, donde la atmósfera está contaminada con polvos y partículas ácidas ó cáusticas, siendo éste ambiente mucho más severo. ambientes marinos son aquellos - donde existe humedad salina.

Expuesto el aluminio sin anodizar a cualquiera de éstos ambientes, en un tiempo más o menos corto, perderá su apariencia original tornándose poco a poco a color gris sin brillo en unos casos, adquiriendo una superficie áspera como de piedra en otros, ó como en el caso del ambiente marino, tomará un color gris y aparecerán cavidades de corrosión.

El aluminio anodizado expuesto a un ambiente rural, mantendrá su apariencia a través de los años.

Expuesto el aluminio a condiciones más severas de ataque como lo son los ambientes industrial ó marino, el aluminio mantendrá su apariencia original, si se sigue un método simple de limpieza.

La capa de óxido de aluminio formada naturalmente por combinación con el oxígeno del aire, puede alcanzar hasta una micra ó quizás dos si las condiciones de humedad y temperatura del ambiente son favorables.

El óxido de aluminio tiene características físicas y químicas específicas: es abrasivo, por tanto resiste ciertas fricciones y sus cualidades químicas lo hacen resistente a ataques del medio ambiente; no -

obstante, ésa capa de óxido de aluminio producida en forma espontánea - no es suficiente para preservar las características y apariencia del aluminio expuesto a los diferentes ambientes. Debido a lo anterior se buscó la forma de obtener una capa de óxido de aluminio de manera artificial - que permitiera proteger al aluminio pudiendo ser controlado el espesor - de ésa capa, su dureza y apariencia. -

### 2.3 PROCESOS CONVENCIONALES

El método encontrado consiste en someter al aluminio el paso de corriente eléctrica directa dentro de un electrolito situando al aluminio en el ánodo ó polo positivo, de aquí el nombre de ANODIZADO. El medio altamente oxidante que rodea el ánodo, convierte durante la electrólisis, la superficie de aluminio metálico en óxido de aluminio fuertemente adherido a la superficie que lo genera.

La capa de óxido de aluminio obtenida aparece al microscopio como una infinidad de celdillas ó poros semejando un panal; éstos poros - permiten que por medio de colorantes ó anilinas ésa capa sea teñida de muy diversos colores antes de que el aluminio sea sellado, paso último del proceso en el cual los poros se cierran, mediante un proceso de hidratación de las moléculas de óxido de aluminio que son formadas elec-trólicamente como óxido de aluminio anhidro. -

Es de importancia describir con más detalle todos los pasos del proceso de anodizado así como las condiciones de operación y equipo -

requerido, para que una vez que sea planteado el proceso, se puedan analizar los pasos ó condiciones que requieran ser modificados para su optimización.

Con el objeto de lograr una mejor comprensión del proceso, éste para su explicación, será dividido en tres partes fundamentales.

2.3.1. BAÑOS.-Explicación de las diferentes inmersiones que requiere el aluminio previamente, durante y posteriormente al anodizado - en sí según el acabado final que se ha requerido.

2.3.2. CONDICIONES DE OPERACION.-Los diferentes baños en su mayoría requieren condiciones específicas para que el proceso tenga óptimos resultados.

2.3.3. EQUIPO.-Este tema pueda ser tan extenso como se quiera - en base a que cada parte del equipo requerido para anodizar puede por sí sólo ser materia de amplio estudio y comentario, sin embargo, analizaremos el equipo más comunmente utilizado a manera descriptiva en virtud de que el proceso propuesto no tiene realmente variaciones en cuanto a necesidades de equipo con respecto a un proceso convencional. \*

El equipo analizado será aquel que interviene de manera directa - en la parte del proceso que se propone modificar.

#### 2.3.1. BAÑOS

Aún cuando existen algunas variantes entre unas plantas de anodi - zado y otras con respecto a la preparación del aluminio antes de ser - -

anodizado, así como en el tipo de productos empleados, de una forma más o menos general, los baños requeridos son los siguientes:

2.3.1.a).-Desengrase ó jabón. Existe una gran variedad de productos químicos para éste baño, pero su uso general es de limpiador de aluminio antes de grabar (matizado), anodizar, abrillantar, etc. Se requiere que sea neutro, esto es que no ataque a la superficie del aluminio, debido a que éste, generalmente se pule mecánicamente antes de ser procesado en baños, y en el caso de un acabado brillante por ejemplo, la superficie así obtenida del pulido requiere de ser conservada con brillo. Fundamentalmente el objeto de este baño de jabón es el remover aceites como grasas, partículas adheridas, etc.

Este baño requiere tener junto a él un tanque con agua limpia para enjuagar el material antes de que éste pase a algún otro tanque y así evitar arrastres que ocasionan variaciones en la formulación (contaminaciones), cambios de pH, cambios de concentración etc.

2.3.1.b).- Matizado. En éste baño, aún cuando también existen diversos productos que lo componen, está básicamente formado por soluciones cáusticas con algunos aditivos que regulan ésta acción y cuyo objetivo es atacar la superficie ya limpia del aluminio quitándole por lo mismo, el brillo natural al metal ó el brillo suministrado por el pulido mecánico para eliminar asperezas profundas que se hallan producido, y por tanto a éste grabado obedecen los acabados mate del aluminio anodizado.

Este baño también va acompañado de un enjuague.

2.3.1.c).- Decapado. Este término es equivalente al de eliminación de óxido, por lo que a este baño también se le llama desoxidante y está compuesto de un ácido fuerte diluido que comunmente es ácido sulfúrico ó nítrico. El uso de ésta solución es múltiple pues lo mismo se utiliza antes del matizado para eliminar la capa natural de óxido de aluminio en el metal, la cual es fácilmente removible y asimismo reblandecer ó aflojar la superficie del metal para disponerlo a un ataque cáustico más uniforme y también se utiliza este baño para remover el Smut formado después del matizado y paralelamente ésta solución sirve para neutralizar totalmente el aluminio después del baño cáustico bajando el pH de trabajo para así ser afín con el baño siguiente que es el de anodizado.

Según recientes investigaciones a este respecto, lo ideal es utilizar para la preparación de este baño, ácido que haya sido utilizado para anodizar, pues el contenido de sulfato de aluminio de ésta solución, cataliza sus funciones. No requiere enjuague.

2.3.1.d).- Anodizado. En este baño intervienen dos factores:

- a) Corriente eléctrica
- b) Electrolito

a).- Al hablar de equipo se profundizará sobre este tema pero por el momento cabe sólo mencionar que se requiere, como antes se dijo, del paso de corriente directa situando al aluminio en proceso como polo positivo.

b).- Para oxidación anódica de aluminio, la literatura de patentes incluye como electrolitos al hidróxido amónico, sulfuro amónico, boratos, fosfatos, tartratos, oxalatos y sus correspondientes ácidos, ácido crómico, cromatos, ácido sulfúrico, sulfatos y otros. Pocos de ellos han encontrado aplicación comercial. Los procedimientos comerciales son los que utilizan como electrolito ácido crómico ó sulfúrico. El de ácido crómico da revestimientos resistentes a la corrosión y el de ácido sulfúrico constituye la base del aluminio coloreado. Como éstos baños son altamente corrosivos, actúan sobre la película de óxido que está en formación, y de éste modo la película finalmente obtenida es el resultado del equilibrio entre la oxidación anódica y la disolución química que ejerce el baño. Analizando un poco más éste fenómeno, lo que sucede es que parte del óxido en la interfase óxido-electrolito se disuelve, y como la película de óxido no es completamente uniforme en su reactividad química, se generan poros, la corriente fluye por el interior de éstos poros y el proceso continúa. A medida que progresa la reacción, el revestimiento de óxido va creciendo hacia el interior del metal hasta que se llega a un estado de equilibrio dinámico, en el cual el espesor de la capa de óxido de aluminio que se disuelve es la misma que se genera, ocurriendo ésto al cabo de cierto tiempo dependiendo del tipo de electrolito empleado.

El último óxido que se forma, llamado capa-límite ó capa-barrera, no es poroso en la zona de separación del metal y su espesor es función de la tensión ó voltaje y del tipo de electrolito.

En términos generales se considera que la capa anódica formada es esencialmente de óxido de aluminio aunque existen evidencias de que los aniones de ciertos electrolitos pueden ser absorbidos e integrados a la capa.

De los procesos de oxidación electrolítica ó anodizado, aquel que se lleva a cabo con ácido sulfúrico diluido, es el más difundido comercialmente por sus características y éste proceso ofrece una capa hasta de 24 micras, transparente e incolora.

Algunos puntos importantes que conducen a elegir ácido sulfúrico en lugar de ácido crómico, son los siguientes:

En general, los recubrimientos formados en ácido crómico son más delgados que los formados en una solución de ácido sulfúrico.

Los poros formados en ácido crómico son menores en número - pero más grandes en diámetro y de gran resistencia a la abrasión, lo cual probablemente se debe a la presencia de cromatos en combinación con su capa-límite, no obstante, el proceso con ácido crómico requiere 40 volts mientras que el proceso con ácido sulfúrico requiere 15 a 20 volts, lo cual hace a éste último más económico en cuanto a consumo de energía eléctrica. El empleo más común de ácido crómico -



para anodizar aluminio es en el caso de procesar materiales difíciles de lavar ó que tengan partes unidas, remachadas, etc., porque el ácido sulfúrico remanente, como tal, ataca al aluminio en tanto que el ácido crómico no. Al hablar más adelante de condiciones de operación del proceso, se hará un análisis comparativo del proceso de anodizado con diversos electrolitos con respecto al que utiliza ácido sulfúrico.

Debido a la gran acidez del baño, es recomendable que cada tanque de anodizado cuente con dos baños de enjuague posteriores, ya que uno solo rápidamente adquiere un pH ácido por arrastre y el segundo - baño actúa realmente como neutralizante de esa acidez, debido a que el aluminio después de anodizado ya sea para colorearse ó para ser sellado, requiere un pH de 5.0 a 6.0.

2.3.1.e).- Sellado.- Como regla general, la mayor parte de los recubrimientos de óxido de aluminio se sellan para hacerlos no-adsorbentes. Se convierte el óxido anhidro en monohidratado con un subsecuente aumento en volumen cerrando los poros y convirtiéndolos en no-adsorbentes ó sellados. El sellado se lleva a cabo en un baño de agua casi a la temperatura de ebullición.

En el caso de recubrimientos que hayan sido coloreados, debido a que la mayoría de los colorantes son solubles en agua, ocurre - normalmente una pérdida de color ó sangrado cuando la capa se sella con agua caliente, debido a lo cual las capas anódicas teñidas se -

sellan en agua conteniendo una pequeña cantidad de alguna sal que puede ser acetato de níquel -la más usada-, acetato de cobalto, sales de cobre ó algunas otras menos comunes.

Se considera que en los baños de sellado que contienen acetato de níquel ó de cobalto, se llevan a cabo tres diferentes reacciones:

1.- Los poros son cerrados ó sellados debido a la hidratación - de las moléculas de óxido de aluminio.

2.- Debido a la hidrólisi, dentro de los poros se precipitan - - hidróxidos, lo cual previene el sangrado de la materia colorante.

3.- Por la reacción química entre el níquel ó cobalto y las moléculas teñidas, se forma un metal complejo el cual también evita la pérdida de color.

Es práctica común el uso de humectantes de formulaciones patentadas que tienen por objeto hasta donde se conoce, actuar sobre la tensión superficial del aluminio y favorecer la hidratación, al igual que desprender el smut de sales adheridas al metal precipitándolas dentro del baño. La película de smut no puede ser removida totalmente por eficaz que sea - el humectante empleado, sin embargo, su presencia constituye una prueba evidente de que el baño de sellado trabaja normalmente.

### 2.3.2. CONDICIONES DE OPERACION

Como se apuntó anteriormente, es de vital importancia para el - proceso de anodizado, respetar las condiciones de operación que requiere

cada uno de los baños, puesto que de llevarse a cabo correctamente el control de los mismos, prácticamente se garantiza un buen resultado en la obtención de la capa anódica de aluminio.

Cada uno de los baños por los que ha de pasar el aluminio durante su proceso de anodizado, requiere de condiciones específicas de operación y es así como se van a enunciar. En los casos en que así sea, se mencionarán aquellas condiciones que sean comunes a distintos baños ó cuando menos a más de uno de ellos.

2.3.2.a).-Desengrase.-Este baño se prepara a base de un jabón neutro en solución que requiere ser trabajado normalmente a una temperatura de 55°C a 70°C. Existen diversos productos para prepararlo y algunos de ellos trabajan en frío -temperatura ambiente-, pero el proceso convencional sugiere utilizar el tipo de productos que trabajan a la temperatura antes mencionada por garantizar mejor sus resultados. Particularmente en el desengrase de aluminio, los productos que trabajan en frío no son lo suficientemente activos. La concentración requerida varía según el tipo de producto, pero en términos generales puede oscilar entre 30 y 60 gramos por litro. La solución de éstos productos debe hacerse normalmente con agua desmineralizada para evitar contaminaciones de los baños con los elementos que trae consigo el agua común, principalmente el cloro. Debido a que la mayoría de los baños requieren de éste tipo de agua, es necesario contar para un proceso de anodizado técnicamente

aceptable, con un equipo deionizador, ablandador ó desmineralizador de agua.

Cuando el baño haya acumulado por trabajo al cabo de un tiempo, lodo en el fondo, (grasa y partículas desprendibles del aluminio) basta decantar el baño tirar el precipitado, recuperar el nivel con agua desmineralizada y adicionar producto para recuperar la concentración.

Este baño requiere tener anexo un baño de enjuague a base de agua limpia regenerable que no requiere ser desmineralizada ni en éste caso ni en el caso de ningún enjuague. Las inmersiones en el baño de desengrase oscilan, según el producto entre dos y seis minutos de duración.

2.3.2.b).-Decapado.-Este baño aún cuando es muy importante para lograr un buen acabado sobre todo en los de tipo mate, no requiere de condiciones de operación particulares; se trabaja normalmente a temperatura ambiente, sin agitación, su concentración es aproximadamente del 50% de la concentración del baño de analizado y requiere de un enjuague con agua limpia. Su función para lograr buenos acabados es doble, ya que por una parte se debe emplear como desoxidante después de desengrasar y cuando se trata de acabados mate, después del baño de sosa, el decapado sirve para eliminar el smut formado en ése baño y a la vez neutraliza la alcalinidad y evita arrastres al baño de anodizado.

2.3.2.c).-Matizado. Debido a que existen diversos productos que compo-

nen éste baño, cada uno requiere condiciones de operación exclusivas; - como en éste caso se trata de un baño de hidróxido de sodio básicamente, sus condiciones de operación son las siguientes: se prepara a base de - hidróxido de sodio a una concentración de 50 a 60 gramos por litro. La reactividad de éste baño se cataliza por la adición de nitrito de sodio y nitrato de sodio a una concentración de 5 a 6 gramos por litro cada - uno, es decir al 10% del contenido de sosa.

Este baño requiere también de un enjuague posterior de agua -- limpia.

La temperatura de operación es entre 45° C y 60° C; abajo de 45° C, tarda mucho tiempo en matizar y arriba de 60° C existe riesgo - de cristalización de la superficie atacada. Como la reacción en éste baño es exotérmica, se recomienda empezar a trabajar a 45° C y la temperatura del baño se incrementará por sí sola conforma se siga matizando material.

La operación de matizado lleva entre dos y cinco minutos de tiempo dentro de la tina dependiendo de la temperatura y la concentración. - Este baño genera lodos y produce incrustaciones, debido a lo cual hay que limpiar periódicamente el tanque y decantar el baño; siempre que no exista contaminación comprobada, las aguas madres son utilizables. Se sugiere un control diaria de concentración para que ataque al aluminio garantice óptimos resultados.

2.3.2.d).-Anodizado. Este baño, siendo la parte fundamental del proceso, -

requiera de ser controlado estrictamente en sus condiciones de operación.

Los parámetros que regulan la formación de la capa anódica en éste baño - son:

- a) Densidad de corriente
- b) Concentración
- c) Temperatura
- d) Agitación

a) Densidad de corriente.-La densidad de corriente regula la velocidad de formación y el espesor de la capa electrolítica formada. Desde luego ésta debe estar en correlación con las demás condiciones de operación. Entre mayor sea la densidad de corriente, la capa tiende a ser mayor, pero hasta cierto límite puesto que densidades de corriente demasiado elevadas implican el riesgo de obtener capas quemadas, es decir inconsistentes.

La densidad de corriente recomendada es de 1.3 a 1.5 amperes por decímetro cuadrado trabajando a temperaturas entre 18° C y 22° C.

Para un proceso convencional de oxidación electrolítica de aluminio, la densidad de corriente no deberá rebasar la relación 1.75 amperes por cada 10 litros de electrolito. En base a ésta relación se puede calcular la capacidad de la tina de anodizado con respecto a la capacidad del rectificador instalado o viceversa.

- b) Concentración.- El rango de concentración recomendado general

mente es  $H_2SO_4$  de 160 a 200 gramos por litro de solución. De modo general, el aumento en la concentración de ácido permite elevar la densidad de corriente, sobre todo si se combina con una buena agitación, sin embargo arriba del límite mencionado, el exceso de  $H_2SO_4$  aumenta también la sulfatación del aluminio, y si bien el sulfato de aluminio es indispensable en el baño para favorecer la electrólisis, se ha comprobado que - arriba de 14 gramos por litro de sulfato de aluminio se desbalancea el equilibrio electrofítico de los baños de anodizado. Para baños nuevos - se recomienda agregar a la solución de  $H_2SO_4$  cuando menos de 1 a 3 gramos por litro de sulfato de aluminio.

c) Temperatura.- Para el caso específico de anodizado de aluminio, es decir, que en el baño de anodizado no se produzca ningún color integral ó algún otro proceso simultáneo sino exclusivamente la formación de una capa de óxido de aluminio, se recomienda trabajar dentro de un rango de temperatura de 18° C a 22° C, necesitando equipo de refrigeración para mantenerla, en virtud de que la reacción electrofítica es - exotérmica y el proceso es altamente sensible a variaciones de temperatura en éste baño.

d) Agitación.- Es prácticamente indispensable el mantener una buena agitación en el baño de anodizado tanto para la capa en sí obtenida como para ayudar a mantener las demás condiciones de operación. La agitación sugerida es mediante un serpentín de plomo en el fondo del -

tanque que permita por perforaciones la salida de aire que provenga de un compresor. Los principales beneficios de una correcta agitación son:

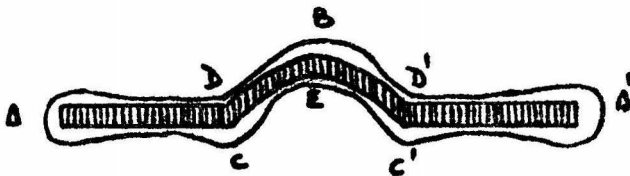
1º.-Mantener homogénea la concentración en cualquier lugar del baño, lo que impide el empobrecimiento de los iones en las zonas de la electrólisis.

2º.- Una buena agitación favorece el control estricto de la temperatura, pues ésta mediante agitación, se mantendrá uniforme y representativa en cualquier parte del baño.

3º.- La agitación previene la adherencia de burbujas gaseosas sobre el ánodo ó material por anodizar, que provocan picaduras.

4º.- El poder de penetración de un baño electrolítico se favorece grandemente con una buena agitación, entendiéndose por poder de penetración la capacidad más ó menos grande del electrolito para repartir con regularidad la capa de óxido de aluminio formada sobre un objeto de formas diversas sobre las partes convexas ó cóncavas al igual que en las aristas. Dichos de otra manera, la capa anódica tiende a formarse no uniformemente sobre el material según se ilustra.

FIGURA No. 1



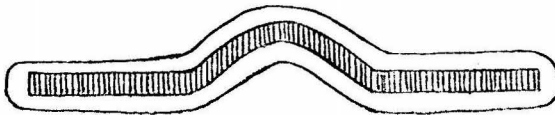
TENDENCIA DE DISTRIBUCION DE LA CAPA ANODICA . \* 5

\*REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



La capa formada tiende a ser más gruesa en A B y C que son las partes convexas ó en relieve y las aristas mientras que el espesor disminuye en las partes cóncavas D y E. Una buena agitación favorece la uniformidad en espesor de la capa anódica formada.

FIGURA No.2



DISTRIBUCION DE LA CAPA ANODICA CON UN ELECTROLITO DE BUEN PODER DE PENETRACION. \* 5

Se ha encontrado que una pobre agitación puede reducir en un 15 a 20 % el espesor de la capa producida.

Por lo que se refiere a los enjuagues del anodizado, se recomienda contar ya sea con dos tanques ó con un tanque doble para enjuagar el material, después de anodizado, dos veces en forma previa a cualquier teñido ó al paso final que es el sellado. Los enjuagues deben de ser dobles pues el primero sirve para remover sólo parcialmente la mayor parte del ácido adherido al material, pero conserva un pH totalmente ácido y es en el segundo enjuague donde se elimina totalmente por lo que tiene la función de neutralizar la capa anódica y evitar arrastres.

Aún cuando el presente trabajo toma como base principal un proceso convencional utilizando ácido sulfúrico como electrolito para

generar la capa anódica en aluminio, a continuación se menciona el proceso con ácido bórico como electrolito y aún con otros electrolitos en lo que se refiere a sus características específicas en el baño de anodizado, con objeto de poder hacer un análisis comparativo más completo.

#### ANODIZADO CON ACIDO CROMICO

Se recomienda una solución al 3 % de ácido crómico libre de sulfatos ó de ácido sulfúrico. La pieza por anodizar, una vez limpia y colocada como ánodo dentro del electrolito, se somete a un voltaje que es elevado gradualmente desde 0 hasta 50 volts durante el transcurso de una hora. En el anodizado de piezas ó partes para avión y dirigibles, la evolución es de 0 a 40 volts durante los primeros quince minutos; el voltaje se conserva a 40 volts durante 35 minutos; luego se eleva hasta 50 volts en el transcurso de 5 minutos manteniéndose en ése punto otros 5 minutos. Se saca el objeto del baño y se seca del modo ordinario. Para obtener la máxima defensa contra la corrosión, se refuerza el recubrimiento de óxido en base a la aplicación de grasa especial en capas delgadas.

TABLA No. 1

MÉTODOS COMPARATIVOS \* 4

	MÉTODO ACIDO SULFURICO		MÉTODO ACIDO CROMICO
A N O D O	Aluminio ó aleación de aluminio		Aluminio ó aleación de aluminio
C A T O D O: MATERIAL FORMA:	Plomo Chapa plana		Grafito Placa Plana
ELECTROLITO: $H_2SO_4$ $CrO_3$	10-70	15	3
TEMPERATURA ° C	15-20	25	40
DENSIDAD DE CORRIENTE amp/dm <sup>2</sup>		1.3	2 - 4
V O L T A J E	10-15	10-20	0-40 (15 min.) 40 (35 min.) 40-50 (5 min.) 50 (5 min.)
TIEMPO DE TRATAMIENTO min.	10-30		60
CONSUMO ENERGETICO Kwh/dm <sup>2</sup>	0.0005-0.02		
ESPESOR DE LA PELICULA mm	0.04 máx.		0.0003-0.002 Prom. 0.0007

TABLA No. 2

OTROS METODOS \* 4

	1	2	3	4
ACIDO BORICO g/l	90			
BORAX g/l	1.88			
ACIDO OXALICO g/l		5-10		
ACIDO FOSFORICO g/l			760-860	
ACIDO SULFAMILICO g/l				48.75-100.5
TEMPERATURA °C	93	29	29-32	49
RANGO DE VOLTAJES	230-250	59-65	5-30	15-25
INCREMENTO DE VOLTAJE	—	sf	sf	sf
DENSIDAD DE CORRIENTE amp/dm <sup>2</sup>	1-4	1.3	1.2	0.6-2
TIEMPO PARA PELICULAS DE ESPESOR 0.00025 mm minutos	15			
TIEMPO PARA PELICULAS DE ESPESOR 0.0025 mm minutos		20	5-15	15
ADSORCION DE TINTE POR LA PELICULA	Ninguna	Mala	Mala	Buena

2.3.2.e). Sellado.—Este baño requiere ser preparado con agua de la más alta pureza y con agua pura queremos decir agua desmineralizada.

La temperatura de operación deberá ser la más alta posible para agua pura (92 °C en el D.F.) debido a que de lo contrario se requiere — aumentar el tiempo de residencia para compensar la diferencia.

En caso de adicionar acetato de níquel al agua de sellado, lo — cual es práctica común, las condiciones serán:

Acetato de níquel - - - - 5 gramos por litro  
pH - - - - - - - - - 5.5 a 6.0  
Tiempo - - - - - - - - - 10 minutos mínimo.

En general, el tiempo de sellado no deberá exceder al doble del tiempo que haya durado el material durante el proceso de anodizado. Esta regla garantiza que el material no será atacado en la capa anódica por — el pH del baño de sellado ó por efecto de su alta temperatura. Este baño requiere también un enjuague posterior con agua limpia.

### 2.3.3. EQUIPO

El equipo básico requerido para anodizar aluminio se puede divi— dir en los siguientes conjuntos:

- a) Tanques
- b) Equipo eléctrico
- c) Equipo de refrigeración y calentamiento
- d) Equipo para tratamiento de agua
- e) Varios

2.3.3.a) Tanques.-- Los materiales más comunmente empleados para la fabricación de tinas ó tanques son:

- 1.-Acero
- 2.-Hierro
- 3.-Ladrillo
- 4.-Concreto
- 5.-Fibra de vidrio
- 6.-Madera

Para la selección de un tanque, hay que tomar en cuenta diversos factores como son:

Tamaño y forma de los materiales por procesar.--

Esto determinará las dimensiones de los tanques en toda la línea. -- A menos que la planta sea diseñada para procesar materiales de línea exclusiva, entre más grandes sean los tanques será mejor desde el punto de vista de que se podrá procesar en ellos una mayor variedad de materiales y a la vez se podrá tener una mayor área anodizable por carga de trabajo. El volumen de los tanques específicamente para anodizado, está en estrecha relación también, con la capacidad de los rectificadores para suministrar la densidad de corriente requerida en el material por anodizar. Es importante mencionar que las dimensiones de los tanques determinarán su espesor mínimo dependiendo del material con que se construyen y el tipo de refuerzos que deberán llevar para evitar flambéo ó distorsión en las paredes de los mismos por columna hidrostática ocasionada por el electrolito.

### Características del líquido alojado en los tanques.-

El tanque de sosa por ejemplo, podrá ser construido de acero dulce, sin ningún riesgo pero nunca de madera ó fibra de vidrio ni aún de ladrillo ó concreto, debido a que éste baño es altamente corrosivo para éstos materiales y además produce incrustaciones, estando por otra parte, sometido a temperaturas más ó menos elevadas. El baño de jabón, aunque es neutro, se recomienda también que sea manejado en tanques de acero dulce, teniendo así la posibilidad de usar desengrase en frío ó en caliente. El tanque de decapado desde luego no podrá ser fabricado con acero, a menos que éste sea recubierto con algún material resistente al ácido, situación que es práctica común, y en éste caso se sugiere que el recubrimiento se aplique también por el exterior aunque con una capa mucho más delgada para evitar al máximo la corrosión provocada por los constantes escurrimientos al secar los bastidores del tanque.

Cabe aclarar que en los casos en los que se pueda alojar un baño en tanques construidos con distintos materiales, aparte del factor económico deben ser tomados en cuenta otros aspectos importantes como son: durabilidad, mayor resistencia a deformaciones, peso, desprendimientos que aún siendo en pequeñas cantidades puedan llegar a contaminar a los siguientes baños y detalles como el hecho de que entre usar un tanque de hierro y uno de concreto, éste último no podrá ser cambiado de lugar a menos que sea destruido y las reparaciones, modificaciones ó su mante

nimiento, tendrá que ser efectuado necesariamente en el mismo sitio de su instalación y si llega a presentarse la necesidad de ampliar la línea, cambiar el orden de los baños, reparar pisos, limpiar drenajes etc., los tanques fijos como los mencionados de concreto, constituyen serias dificultades.

En procesos donde los tanques son pequeños (menos de dos metros de largo y poco profundos) prácticamente los tanques de concreto ó ladrillo no son recomendables.

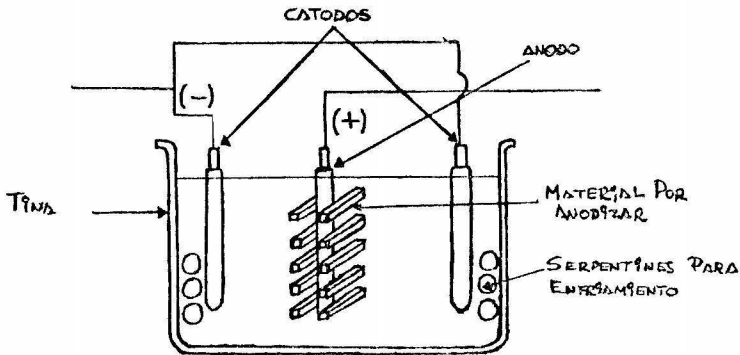
Las tinas para anodizado deberán tener algún tipo de armadura aislante sobre él para soportar las barras conductoras. Se pueden fijar marcos de madera entre la parte superior del tanque y las barras conductoras ó que soporten a las cortinas de plomo (láminas) - empleadas como cátodo.

Aparte del recubrimiento interno de los tanques de hierro ó acero, es usual colocar alrededor y por la parte interior de los tanques, mayas de algún material plástico para aumentar el aislamiento. Como una mayor precaución de aislamiento, es también recomendable que las patas ó fondo de éstos tanques, que están en contacto directo con el piso ó base, asienten sobre placas ó especie de empaques de hule ó de algún otro material de características similares. Generalmente éstos tanques no están provistos de válvulas para desagüe en virtud de que solamente necesitan ser vaciados a periodos regularmente gran



des y en esos casos es preferible bombear la solución; sin embargo si fuera especialmente necesario, se pueden instalar taponos de PVC ó brigas.

FIGURA N<sup>o</sup>. 3



TANQUE Y ELEMENTOS PARA ANODIZADO DE ALUMINIO. \* 9

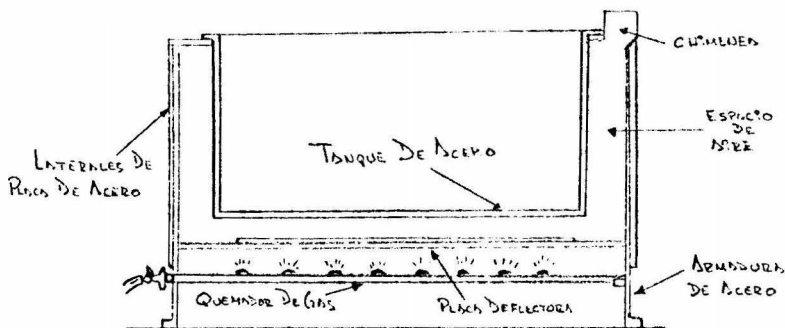
Los tanques para teñido y sellado deberán ser construídos con acero inoxidable, debido a que en primer término estarán sometidos a elevaciones de temperatura bastante considerables lo cual impide el uso de recubrimientos comunes y en segundo lugar a que éstos baños no son neutros, por lo que los tanques de acero se oxidan fácilmente produciendo contaminaciones que perjudican la operación de sellado.

El tanque para sellado deberá estar acondicionado especialmente para conservar la elevada temperatura que se requiere, siendo recomendable recubrirlos por fuera con aislamiento térmico, abatiendo el consumo de energía térmica.

Tanques que son calentados.—Las tinas de acero tienen la ventaja de que pueden ser calentadas directamente por medio de flama proveniente de quemadores de gas ó petróleo que es común colocar debajo de las mismas. Sin embargo, se ha encontrado que en muchos casos, cuando la flama toca el fondo de los tanques, éste se corroe con bastante rapidez, siendo conveniente colocar una pequeña placa de acero que actúa como difusor de los gases de combustión precisamente sobre las flamas de gas, para que éstas no toquen el fondo del tanque.

Para conservar calor se provee a la tina con una chaqueta de acero dispuesta en tal forma que permita la circulación de aire caliente alrededor de la tina y ésta chaqueta puede ser forrada con materiales aislantes como fibra de vidrio ó otros.

FIGURA No. 4



TINA ENCHAQUETADA PARA CALENTAMIENTO A GAS. \* 2

Por razones obviamente económicas, se han generalizado cada vez más el uso de vapor para el calentamiento de baños, en cuyos ca sos, los tanques deben ser provistos de ser serpentines colocados en el fondo. En algunos casos puede ser ventajoso calentar las tinas - por medio de camisas de agua, calentadas a su vez por serpentines - para vapor sumergidos en ellas.

En el caso de tanques pequeños puede resultar sencillo calen tar los tanques con calentadores eléctricos de inmersión, a base de resistencias, y en éstos casos habrá que tener cuidado de uniformizar la temperatura debido a que éstos elementos calefactores forman puntos calientes alrededor de ellos que pueden incluso quemarlos.

Las tinas calentadas directamente por medio de serpentines - para vapor ó por calentadores eléctricos, pueden ser aisladas en su parte exterior para conservar el calor. Aunque lo anterior es venta joso, la mayor parte de la pérdida de calor se debe a la evaporación del líquido por la superficie de la tina, por tanto es ideal colocar algún tipo de cubierta para atenuar éste efecto mientras no se saque o meta material al baño ó incluso para mantener el baño caliente du rante periodos extensos, en los casos en los que la tina no esté en uso.

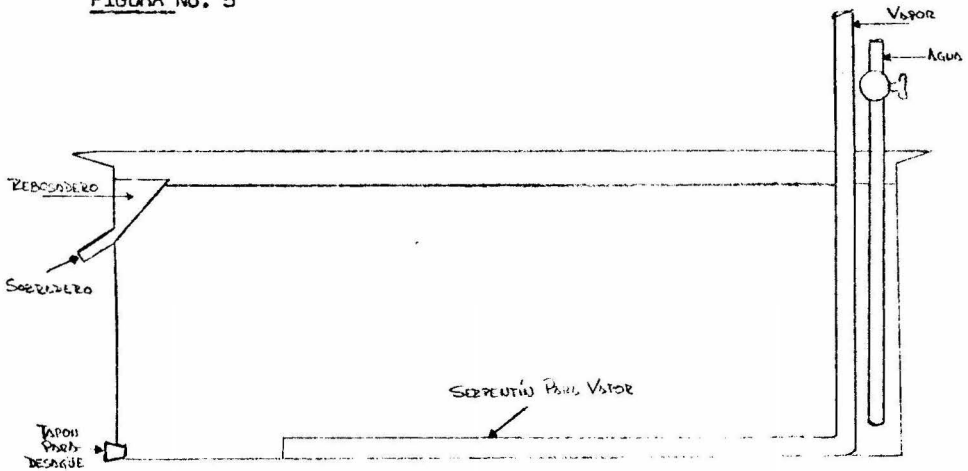
Enjuagues.- Las tinas necesarias para enjuagar los materia- les después de los procesos básicos, pueden ser construidas de - -



diferentes materiales pudiendo ser incluso de ladrillo ó concreto en virtud de que el agua es renovable, sin embargo en el caso de enjuagues ácidos ó alcalinos, se sugiere recubrir éstos con materiales anticorrosivos como fibra de vidrio ó poliéster. Hay que recordar que los tanques para enjuague están constantemente sujetos a arrastres y salpicaduras de los baños que les preceden. Es usual disponer en éstos tanques de un tapón para desagüe, de una salida para derramas en un extremo del tanque y una entrada de agua en el otro.

Los tanques que han de usarse con limpiadores alcalinos -- están provistos a menudo de un rebosadero colocado en un extremo y conectado a un tubo de desagüe.

FIGURA No. 5



TANQUE DE LIMPIEZA. \* 2

Esta disposición se hace para facilitar la eliminación de la película de grasa que se forma y flota en la parte superior del líquido limpiador cuando se permite que se enfríe. El tanque limpiador se suele dejar en reposo durante la noche y se encontrará al día siguiente que gran cantidad de grasa se concentra en la superficie del líquido en forma de nata. Si se introduce una determinada cantidad de agua desde un extremo del tanque, la nata será empujada sobre el rebosadero y finalmente extraída por éste.

La toma de agua puede ser hecha por medio de una válvula colocada sobre el nivel del tanque ó puede colocarse también una tubería sumergida en el líquido del mismo en tal forma que el agua clara penetre al fondo. Las tinas para enjuague están provistas a veces, de dos ó tres compartimentos con una placa divisoria entre ellos, para que el agua limpia fluya desde un extremo y entonces, gradualmente, pase desde una placa hasta la otra. El material se sumerge primero dentro de la parte de salida del tanque de enjuague y a continuación en el extremo limpio y de ésta forma la disposición funciona prácticamente como dos tinas de enjuague separadas.

Con el propósito de facilitar el enjuague, se pueden colocar tuberías ó serpentines para agitar la solución por medio de aire. También se llegan a emplear en las orillas superiores de los tanques, tuberías perforadas o con espumas para dar un último baño de agua -

limpia tipo rocío al artículo, mientras es sacado finalmente del tanque de enjuague.

Tinas de madera.- Las tinas para las soluciones ácidas se hacían originalmente de madera y en algunos casos aislados se utilizan todavía para éste depósito. Estos tanques deberán ser contruídos de maderas se cas, siendo apropiadas las de pino. Los laterales se hacen algo más lar gos que las medidas anteriores y los extremos se ranuran y ensamblan, y el conjunto se asegura con tornillos colocados en los dos extremos. Las tinas más largas necesitan más refuerzo en el centro; deben colocarse - tornillos sujetadores cerca de la parte superior. Si estos entorpece la entrada y salida del material, deberá colocarse algún tipo de marco me tállico en la parte exterior, de otra manera, la tina se alabeará consi derablemente y llegará a quedar inservible.

En la mayor parte de los casos, las tinas de madera deberán ser forradas en virtud de que hay siempre una cierta cantidad de material - resinoso en la madera que puede contaminar e interferir en los baños.

Las tinas de madera conservan bastante bien el calor y pueden ser calentadas indistintamente por medio de calefactores de inmersión- ó por serpentines para vapor.

2.3.3.b).-Equipo eléctrico.-Para la obtención de recubrimientos electro líticos en general, es necesario disponer de corriente continua; para - ello, lo más conveniente es transformar la corriente alterna de 110,220

ó 440 volts en corriente continua de bajo voltaje.

Para ésta transformación se emplean grupos convertidores ó rec  
tificadores de corriente, llamados dínamos en un caso y rectificadores  
en el otro.

La dínamo de electrólisis suministra elevadas intensidades de -  
corriente bajo una débil fuerza electromotriz, condiciones idóneas para  
los trabajos de electrólisis. Según los dínamos, los amperajes produci  
dos, pueden ser de 15 a 5000 amperes y la fuerza electromotriz de 6 a -  
15 volts. Este tipo de aparato se emplea con mucha más frecuencia en -  
talleres de cobreado, cadmiado y cromado, aunque también ahí está siendo  
desplazado éste equipo por el empleo de rectificadores.

En el caso del anodizado en la actualidad, se emplean ampliame  
nte rectificadores para proporcionar la corriente continua a bajo volta  
je. Sus principales ventajas sobre el dínamo son que no tienen partes -  
móviles y que son completamente herméticos, por lo que pueden ser insta  
lados tan cerca como sea necesario de la línea de tanques independiente  
mente de la atmósfera en ésa área, por otra parte, éstos aparatos requie  
ren de mucho menos mantenimiento que los primeros.

Un rectificador se halla construido por un transformador cuyo -  
primario está alimentado por corriente alterna de bajo voltaje y por el  
rectificador propiamente dicho, que no deja pasar la corriente sino en  
un sólo sentido. Un rectificador está constituido por células rectifica

doras, las más antiguas construídas a base de placas de óxido de cobre, mientras que las modernas son de germanio, selenio ó silfcao.

Rectificadores de Óxido de cobre.-Fueron éstos los primeros que se utilizaron (1930) para proporcionar la cantidad necesaria de corriente continua a bajo voltaje. Al principio las unidades eran refrigeradas por medio de ventiladores, pero después fueron sustituídas por rectificadores de selenio refrigerados primero por aceite y actualmente por aire.

El rectificador más comunmente empleado en el proceso de anodizado es el de placas de selenio en base a las consideraciones siguientes:

Un rectificador de germanio puede producir corriente continua - de 25 a 50 volts con un rendimiento de alrededor de 90 %, aunque si funciona a 12 volts su rendimiento se reduce al 93 %. Rectificador de silfceo puede entregar corriente continua a 100 volts con un rendimiento de 97 %, en tanto que a 12 volts será su rendimiento de cerca de 90 %.

Un reciticator de selenio produciendo corriente continua a 12 volts tendrá un rendimiento de 90 %. Como éstos datos de eficiencia se refieren al rectificador en particular, se debe considerar cierta tolerancia por las pérdidas en el regulador, transformador, barras conductoras y derivaciones, lo que representa en sí un rendimiento aproximado, para los tres tipos de rectificadores, del 90 %.

El rectificador de selenio tiene mayor duración cuando se le hace trabajar a 60-70°C. Esta temperatura no debe ser excedida por el rectifi



cador de germanio, en tanto que el rectificador de silíceo puede trabajar a 150°C ; éstas temperaturas se refieren a la placa rectificadora - en particular.

El rectificador de selenio posee una gran masa térmica que le - permite soportar corto-circuitos de 10 tantos de la carga plena, durante un segundo poco más ó menos, sin sufrir daños. Tales corto-circuitos pueden producirse durante la carga y descarga de los baños, cuando las piezas toquen accidentalmente la barra del cátodo ó si éstas llegasen a caer dentro del mismo baño. Tanto rectificador de germanio como el de - silíceo son incapaces de soportar sobrecargas de este orden por más de unos cuantos milésimos de segundo sin sobrecalentarse, en cuyo caso el rectificador generalmente sufre daños de consideración y puede quedar - destruído totalmente.

Para corriente de poca intensidad se utiliza refrigeración de - aire por convección natural, mientras que para corrientes sobre 500 amperes se prefiere el enfriamiento por medio de ventiladores, ó sea de - circulación forzada.

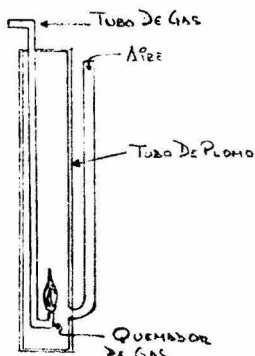
2.3.3.c).-Equipo de refrigeración y calentamiento.- Al hablar de tinas, su construcción y principales características, se mencionó aunque de manera muy superficial las principales instalaciones tanto para el enfriamiento como para el calentamiento de los baños.

De entre los equipos de refrigeración más empleados en la indus

tria del anodizado se encuentran básicamente los que operan con gas - Freón y los de enfriamiento por medio de amoniaco, de los cuales éste último resulta el más ventajoso económicamente hablando, sin embargo, para procesar piezas relativamente pequeñas, ó en otras palabras, para plantas pequeñas, un compresor a base de gas freón satisfase convenientemente las necesidades de refrigeración. Como se mencionó anteriormente, el agua enfriada por éstos equipos, es circulada a través de serpentes instalados dentro de las tinas. Las características de éstos equipos de refrigeración como capacidad, y volumen de agua requerido, características de los serpentines, etc., dependerán de diversos factores - específicos como son la capacidad de los rectificadores, volumen del líquido contenido en los tanques, concentración promedio de operación, material de construcción de las tinas, etc.

Por lo que respecta a los equipos de calentamiento, también están éstos en relación directa con el tipo de materiales por anodizar, siendo recomendable por un lado, el empleo de elementos calefactoras de corriente eléctrica ó aún el empleo de quemadores a gas, sin embargo, esto resultaría del todo anti-económico tratándose de baños para materiales de grandes dimensiones como el material arquitectónico que ocupa el primer lugar en lo que se refiere a aluminio anodizado, en cuyo caso lo recomendable es calentar por medio de generadores de vapor.

FIGURA No. 6



CALEFACTOR DE INMERSION A GAS. \* 2

2.3.3.d).-Equipo suavizador (desmineralizador) de agua.- Como el agua es uno de los elementos más importantes en el proceso, tanto para la producción de soluciones como para el enjuagado, la composición de la misma es de gran importancia. Al proyectar la instalación de una planta de anodizado, deberá obtenerse una muestra del agua disponible para su análisis y comprobar si es satisfactoria para ser usada sin tratamiento para los dos propósitos mencionados. El análisis del agua mostrará las impurezas, siendo las más comunes: Amoniaco, nitratos, cloruros, sales de sodio y sales de calcio y magnesio que producen la dureza del agua. Algunas veces el agua potable es tratada con cloro lo - - cual produce cloruros e incluso pequeñas cantidades de ácido clorhídrico libre. Aunque es difícil establecer cifras, se proporcionan dos análisis que indican lo que puede considerarse como una muestra de agua - buena y otra mala.

TABLA No. 3	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
Análisis comparativo	FACULTAD DE QUIMICA	1975
de calidad de agua	TESIS PROFESIONAL	INGENIERO QUIMICO
	JORGE CORIA CABRERA	
	BUENA	MALA
pH	7.6	7.9
Materia sólida total	5	20
Amoniaco albuminiforme	.005	.1
Cloruros	1	5
Nitratos	.05	1
Dureza temporal	0	10
Dureza permanente	2	6

El uso de agua dura ocasionará dificultades en muchos casos, por ejemplo, al preparar soluciones, pues con tal tipo de agua las sales de calcio tienden a acumularse y después de algún tiempo a precipitarse, depositándose sobre los materiales al enjuagar éstos en agua dura. Especialmente cuando se les acaba de sacar de una solución alcalina, es común la producción de una delgada película sobre la superficie de los mismos, que puede alterar la capa anódica.

En consecuencia, se verá que cuando el agua de suministro posee estas impurezas para el proceso, hay que tomar en consideración la instalación de un equipo para tratamiento de agua ó si es imposible

por su costo, usar una sustancia suavizadora tanto para las solucio  
nes como para el agua de enjuague.

La mayoría de los suavizadores para agua, funcionan sobre la base del cambio catiónico. El suavizador ó desmineralizador consiste en un depósito cilíndrico, fabricado generalmente de acero, en el cual hay una cama de resina especial. Este material tiene la propiedad de tomar los iones de calcio y de magnesio de las sales disueltas en el - agua y reemplazarlas por iones de sodio. Después de cierto tiempo la resina llega a saturarse, siendo necesaria su regeneración. Este proceso se logra tratándola con una solución concentrada de sales de - - sodio, generalmente cloruro de sodio ó carbonato de sodio, que suminis  
tran los iones sodio que substituirán a los iones de calcio y de magne  
sio capturados por la resina, iniciándose un nuevo ciclo de operación.

2.3.3.e).-Varios.- La instalación de una planta de anodizado debe - - incluir una serie de equipos adicionales cuya existencia ó caracte~~rís~~  
ticas en caso de su instalación ó uso, dependerán de las necesidades -  
mismas de la planta. Por mencionar algunos de éstos equipos se tiene:  
compresores para agitación de soluciones con aire, grúas ó polipastos  
para el transporte de materiales entre las tinas, soportes del material  
como barras conductoras de corriente, bastidores, bastones, etc., que -  
servirán para sujetar y a la vez para hacer contacto eléctrico con el  
material durante el proceso de inmersión en los diferentes tanques, -

carros para movimiento interno de materiales, etc.

El equipo para pulido mecánico no se menciona debido a que - aún cuando prácticamente todas las plantas de anodizado cuentan con él, el presente trabajo se refiere fundamentalmente al tratamiento - electroquímico del aluminio y no tiene relación alguna con el tratamiento mecánico previo al mismo.

C A P I T U L O   I I I

P R O C E S O   P R O P U E S T O

## PROCESO PROPUESTO

Un análisis más ó menos profundo de los parámetros que gobiernan la formación de la capa de óxido de aluminio en la tina de anodizado, permite suponer que la creación de dicha capa puede ser mejorada por lo que respecta a tiempo de residencia requerido, espesor, durza, etc., en base a modificar las condiciones de operación para un proceso convencional. No se puede sin embargo, pensar en la modificación aislada de una de las condiciones de operación solamente, manteniendo fijas las otras, así como tampoco es posible esperar que sólo una de las características de la capa producida cambie. Tanto las condiciones de operación como las características del recubrimiento formado son - parámetros con una estrecha inter-relación y unos modifican a los - - otros.

Se pensó entonces en buscar el arreglo adecuado de las condi-ciones de operación bajo las cuales trabaja el baño de anodizado, in-tentando lograr la formación de una capa de óxido de aluminio con un - espesor aceptable en el menor tiempo posible, obteniendo consecuentemente un aumento en la capacidad de producción para un proceso convencional, lo cual debe producir aluminio anodizado comercial y económico.

Para detallar ordenadamente el proceso propuesto, éste capítulo se dividirá en tres partes fundamentales:



### 3.1 CONSIDERACIONES TEORICAS

### 3.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 3.3. OBSERVACIONES

#### 3.1 Consideraciones teóricas.

Un factor determinante en la formación de la capa anódica de óxido de aluminio es, como se ha anotado antes, la densidad de corriente.

La siguiente tabla nos muestra los diferentes tiempos que se requieren para obtener un mismo espesor de capa, en función de un incremento en la densidad de corriente:

TABLA No. 4 \* 3

ESPESOR DE OXIDO EN MICRAS	DENSIDAD DE CORRIENTE EN amp/dm <sup>2</sup>				
	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
5	14'	13'	12'	11'	10'
10	28'	26'	24'	22'	20'
15	42'	39'	36'	33'	30'
20	56'	52'	48'	44'	40'
25	70'	65'	60'	55'	50'

Al existir relación entre el aumento de la densidad de corriente y la disminución del tiempo requerido para lograr el mismo espesor de capa, se puede entonces suponer que el incremento en la densidad de corriente nos puede dar la solución, en parte, para lograr nuestro -

objetivo ó sea reducir al mínimo el tiempo de proceso. Sin embargo, la obtención de una misma capa no se logra de manera tan sencilla como la tabla nos lo puede hacer suponer. Manteniendo fijos los demás paráme - tros de operación, el incremento en la densidad de corriente arriba de  $1.7 \text{ amp/dm}^2$  nos produce inevitablemente una capa quemada, es decir - pulverulenta y sin consistencia, fenómeno esperado en base a lo que se asentó a éste respecto en el capítulo II. Queda de cualquier manera de finido que un aumento en la densidad de corriente nos reduce notable - mente el tiempo de anodizado.

Si partimos de la base de que el aumento en la concentración - del electrolito nos permite elevar la densidad de corriente debido en parte a que incrementa la conductividad del baño, podemos suponer, que un aumento en el rango de concentración por favorecer el incremento en la densidad de corriente, puede ayudar también a reducir el tiempo de proceso.

Al eumentar la densidad de corriente ( $\text{amp/dm}^2$ ) aumentará el - voltaje requerido para suministrar el amperaje necesario. Es importan - te detenernos en ésta consideración para asentar lo siguiente:

La última capa formada de óxido de aluminio es extremadamente delgada y no porosa. Esta capa se conoce como capa-barrera ó capa-límite, según se anotó en el capítulo anterior, y está localizada en la interfa - se del metal. La concentración del electrolito y el voltaje de formación

afectan al espesor de ésta capa. Teóricamente, por cada volt empleado la capa límite adquiere un espesor de 10 a 14 micras. El espesor de ésta capa límite es sumamente delgado comparado con el espesor de óxido formado, sin embargo tiene un efecto muy significativo en cuanto a la resistencia a la corrosión y a las propiedades eléctricas del recubrimiento.

Al analizar más profundamente la porosidad del recubrimiento anódico entre la capa límite y la primera capa de óxido formada, se ha determinado que los poros en ésta región son en número y tamaño bien definidos, dependiendo ésto de algunas variables como el voltaje y la concentración empleada de electrolito. Se ha reportado que hay - billones de poros por pulgada cuadrada y consecuentemente el diámetro de ellos es muy pequeño

TABLA No. 5 \* 1

NUMERO DE POROS EN LA CAPA DE  
OXIDO DE ALUMINIO

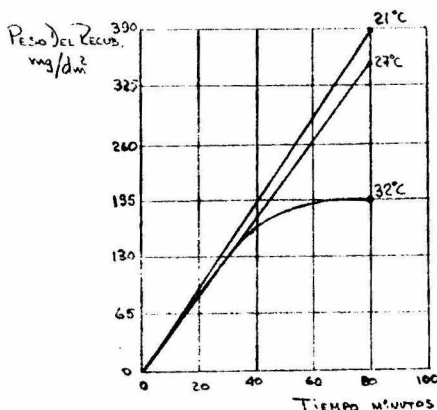
ELECTROLITO	VOLT	No. POROS X in <sup>2</sup> X 10 <sup>9</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	498
	20	334
	30	179
CrO <sub>3</sub>	20	140
	40	52
	60	27

De la tabla anterior se observa que conforme el voltaje se incrementa, el número de poros decrece y según se ha podido determinar, al aumentar el voltaje, también disminuye el diámetro de los poros con lo cual la capa obtenida en éstas condiciones tendrá un mayor peso por unidad de área. El peso del recubrimiento por unidad de área nos revela una serie de características importantes de la capa y depende desde luego del espesor de la misma y de la porosidad de ella.

Lógicamente, la porosidad de éstos recubrimientos determina - las características de adsorción de colorantes así como la resistencia a la abrasión. Aquellos recubrimientos que tengan poca cantidad de poros y éstos de diámetro pequeño, tendrán una mayor resistencia a la - abrasión que los que tengan un gran número de poros con diámetros mayores. Esto se debe a que como la densidad aumenta, la cantidad de - óxido formado es también mayor por lo cual la resistencia a la abra - sión se incrementa.

GRAFICA No. 1

EFFECTO DEL TIEMPO DE OXIDACION ANODICA SOBRE EL PESO DEL RECUBRIMIENTO



Podemos concluir de todo lo anterior, lo siguiente:

1.- Elevar la densidad de corriente lo más posible, nos conducirá a reducir al mínimo el tiempo requerido para obtener una capa determinada.

2.- Elevar la temperatura nos aumenta la conductividad del electrolito, lo cual permite trabajar con intensidades de corriente más elevadas. Es de esperarse, que al elevar la temperatura del proceso, se disminuya la resistencia a la abrasión por reducirse la densidad de la capa, sin embargo éste efecto se puede reducir si el voltaje de operación y la agitación son aumentados.

3.- Aumentar la concentración permite elevar la densidad de corriente al igual que aumenta la reactividad del baño, fortaleciendo la capa-límite.

4.- Se deberá requerir de una drástica agitación, mayor aún que la empleada para un proceso convencional, a objeto de uniformizar las condiciones del baño en todos los puntos del tanque.

Se deduce que el método a seguir en la práctica para lograr reducir significativamente el tiempo de anodizado y elevar consecuentemente la capacidad de producción de un proceso convencional, deberá ser a base de:

- a).-Aumento en la densidad de corriente.
- b).-Aumento en el límite de concentración del electrolito.

c).-Aumento en la temperatura de trabajo

d).-Agitación severa.

### 3.2 Resultados experimentales

Las pruebas se realizaron a nivel de laboratorio, ajustándose en los tratamientos previos como posteriores al nodizado, según lo indica el proceso convencional. La tina de anodizado empleada tiene una capacidad de 300 litros, hecha de acero recubierto en su interior con fibra de vi - drio, con cátodos de plomo y teniendo como fuente de poder un rectificador con capacidad de 1,000 amp. y 30 volts. El tanque está provisto de - agitación por aire a base de un serpentín de plomo perforado colocado en el fondo y conectado a un compresor.

Inicialmente se llevó a cabo una partida de pruebas trabajando a 200 g/l de ácido sulfúrico, manteniendo la temperatura constante y elevando la densidad de corriente. Los resultados en espesor se muestran en la siguiente tabla :

TABLA No. 6		PRUEBA No. 1		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO JORGE CORIA CABREHA		
BAÑO No.	CONCENTRACION	DENSIDAD DE CORRIENTE (amp/dm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	ESPESOR DE LA CAPA (micras)	
1	200	2	22	10	7	
2	200	2.5	21	10	7	
3	200	3	22	10	8	
4	200	3.5	22	10	8	
5	200	4	22	10	9	
6	200	4.5	21	10	8	
7	200	5	21	10	8	
8	200	5.5	22	10	8	

Los valores reportados en espesor de capa anódica son valores promedio en virtud de que en cada baño se procesaron tres muestras de aluminio (un perfil arquitectónico, una solera y una lámina) y a cada una se le hicieron cuatro mediciones de capa.

La segunda partida de pruebas se realizó también con una concentración de 200 g/l de electrolito, manteniendo ahora constante el valor de la densidad de corriente en 4 amp/dm<sup>2</sup> en virtud de que a esa densidad de corriente se obtuvo la capa más gruesa en las pruebas anteriores, y se incrementó la temperatura gradualmente. Los resultados fueron como se anota a continuación:

TABLA No. 7		PRUEBA No.2		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO JORGE CORIA CABRERA	
BAÑO No.	CONCENTRACION (g/l)	DENSIDAD DE CORRIENTE (amp/dm <sup>2</sup> )	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	ESPESOR DE LA CAPA (micras)
1	200	4	10	25	9
2	200	4	10	30	9
3	200	4	10	35	10
4	200	4	10	40	11
5	200	4	10	45	11
6	200	4	10	50	10
7	200	4	10	55	8

Es importante anotar que conforme la temperatura del electrolito se iba aumentando, era cada vez más difícil mantenerla dentro del rango especificado para cada experimento. Los baños de la PRUEBA No. 2 originalmente fueron planeados de tal manera que el aumento de temperatura fueran de dos en dos grados centígrados, sin embargo en la práctica, al operar de 35 °C en adelante el electrolito tiende a bajar por - sí sólo su temperatura tal vez por efecto de la agitación. Se decidió entonces ampliar la diferencia de temperaturas entre un baño y otro.

Para la tercera partida de baños, habiendo obtenido a 200 - g/l una temperatura óptima de trabajo de 40 a 45 °C con una densidad de corriente de 4 amp/dm<sup>2</sup> se modificó la densidad de corriente una - -



vez más con objeto de investigar si un aumento en la densidad de co rriente operando a 40 °C nos permitía obtener un mayor espesor de - capa, sin embargo no sucedió así.

El siguiente paso fué mantener fijos los parámetros ópti mos ya obtenidos -densidad de corriente a 4 amp/dm<sup>2</sup> y temperatura a 40 °C - y ahora incrementar la concentración. Los resultados de éstas pruebas fueron negativos, ya que al aumentar la concentración del ba ño, el espesor de la capa disminuyó notablemente.

Los resultados hasta éste momento eran los siguientes:

TABLA No.8	U N A M FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL I.Q. JORGE CORIA CABRERA
CONCENTRACION	200 g/l
DENSIDAD DE CORRIENTE	4 amp/dm <sup>2</sup>
TEMPERATURA	40 - 45 °C
TIEMPO	10 minutos
ESPESOR DE LA CAPA ANODICA	11 micras

De acuerdo a los datos anteriores, se había obtenido ya un - incremento de capa de 1.1 micras por cada minuto de proceso, lo cual cons tituye en sí un aumento en la velocidad de formación de la capa.

Analizando comparativamente la capa de óxido de aluminio - - -

obtenida a partir de un baño de anodizado operando bajo condiciones -  
convencionales, contra la capa registrada bajo las condiciones experimen-  
talmente encontradas, tenemos:

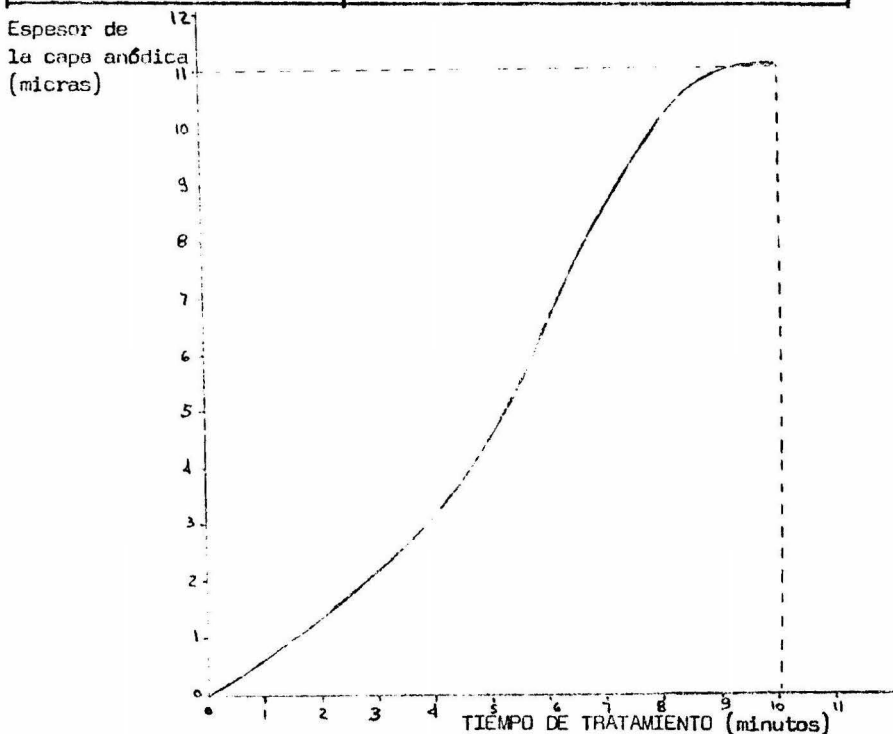
TABLA No.9 DATOS DE OPERACION EN EL BAÑO DE ANODIZADO DE ALUMINIO		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO JORGE CORIA CABRERA	
	CONDICIONES NORMALES	CONDICIONES PROPUESTAS	
DENSIDAD DE CORRIENTE amp/dm <sup>2</sup>	1.3-1.5	4	
TEMPERATURA - °C	18 - 22	40 - 45	
CONCENTRACION g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	160 - 200	190 - 200	
TIEMPO (minutos)	30 - 27	10	
AGITACION	NORMAL	SEVERA	
ESPESOR (micras)	11 prom.	11 prom.	
VELOCIDAD DE GENERACION DE LA CAPA (micras/minutos)	0.39	1.1	

Los datos obtenidos hasta éste momento nos indican una reduc-  
ción del tiempo de anodizado en casi una tercera parte del tiempo requere-  
do para anodizar aluminio en condiciones normales, sin embargo se lle-  
varon a cabo algunas pruebas adicionales que aportaron resultados aún -  
más satisfactorios.

Las siguientes pruebas se realizaron midiendo minuto a minuto  
el espesor de la capa de óxido de aluminio generada bajo las condiciones

óptimas encontradas. Los resultados se representan en la siguiente gráfica:

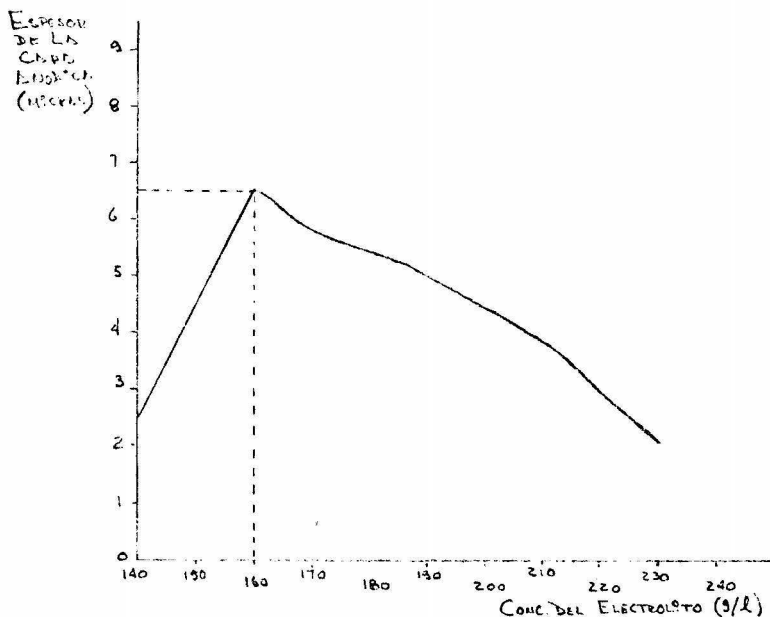
GRAFICA No.2	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
CONCENTRACION 200 g/l $H_2SO_4$	FACULTAD DE QUIMICA 1975
TEMPERATURA 40 - 45 °C	TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO
DENSIDAD DE CORRIENTE - 4 amp/dm <sup>2</sup>	JORCE CORIA CABRERA



Posteriormente se hicieron pruebas reduciendo el tiempo de tratamiento a 5 minutos y modificando de nuevo cada una de las condiciones de operación del baño, de las cuales solamente la variación -

de la concentración del electrolito registró resultados favorables. Se observó que al aumentar la concentración de 200 g/l de electrolito, el espesor de la capa anódica disminuye pero al operar a concentraciones abajo de 200 g/l de ácido sulfúrico, la velocidad de formación de la capa aumentó considerablemente, efecto que se detalla en la gráfica siguiente, según los datos obtenidos.

<b>GRAFICA No. 3</b> DENSIDAD DE CORRIENTE (amp/dm <sup>2</sup> ) - 4 TEMPERATURA 40-45 °C TIEMPO - 5 minutos	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO JORGE CORIA CABRERA
---	---



El espesor máximo obtenido a los 5 minutos de iniciado el proceso, fué de 6.5 micras -según se puede apreciar en la gráfica- y la concentración para obtenerlo fué de 160 gramos por litro de ácido sulfúrico.

La relación micras de óxido/minuto en éste caso, fué de 1.3 micras/minuto con lo cual se mejora en un 18% la obtenida anteriormente que era 1.1 micras/minuto.

Una tabla comparativa entre las condiciones de operación para un proceso tradicional de anodizado en aluminio y las condiciones óptimas logradas queda de la siguiente manera:

TABLA No. 10	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 1975 TESIS PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO JORGE CORIA CABRERA	
	CONDICIONES DE OPERACION	
	PROCESO CONVENCIONAL	PROCESO PROPUESTO
CONCENTRACION g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	160 - 200	155 - 165
DENSIDAD DE CORRIENTE amp/dm <sup>2</sup>	1.3 - 1.5	4
TEMPERATURA (°C)	18 - 22	40 - 45
TIEMPO (minutos)	27 - 30	5
AGITACION	NORMAL	SEVERA
ESPESOR (micras)	11 prom.	6.5 prom.
VELOCIDAD DE GENERACION DE LA CAPA (micras/minuto)	0.39 prom.	1.3 prom.

No se desarrollaron pruebas a mayores tiempos de operación bajo las condiciones de concentración, temperatura y densidad de corriente encontradas, debido a que la intención de éste trabajo, como ya se mencionó antes, era encontrar un método para anodizado de aluminio que de alguna manera permita elevar la capacidad de producción favoreciendo por ello abatir los costos de fabricación y consecuentemente el precio de venta.

### 3.3 Observaciones

Al principio de éste capítulo se anotaron diversos tiempos para obtener un mismo espesor de capa en función de variaciones en la densidad de la corriente y al realizar el primer grupo de pruebas, los espesores de las capas obtenidas no fueron los esperados. Esto se debió sin duda a que, como también se mencionó, al elevar la densidad de corriente y trabajando a una concentración más ó menos elevada, existió una mayor disolución de la capa que se generaba, debido a lo cual se obtuvo un espesor de 9 micras en diez minutos operando a una densidad de corriente de  $4 \text{ amp/dm}^2$ , cuando lo teóricamente esperado debía ser que el espesor obtenido fuera considerablemente mayor.

El segundo grupo de pruebas también nos mostró un efecto semejante pero ésta vez con respecto a la temperatura, encontrándose que arriba de  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  se obtenían capas quemadas debiso probablemente al crecimiento exagerado del diámetro de los poros superficiales.

El efecto que presentó la concentración en el espesor de la capa, es normal bajo condiciones de operación convencionales pero realmente no era de esperarse en condiciones tan severas de temperatura y densidad de corriente, sin embargo hay que recordar que la porosidad de la capa es producto de la acción solvente del electrolito, por lo que al elevar la temperatura el efecto puede no sólo ser de formación de poros sino de destrucción de la película superficial de óxido con lo cual al mismo tiempo que la capa anódica es generada, ésta se va disolviendo en la misma proporción. Adicionalmente MANTELL \* 4 menciona que "en ocasiones se obtienen mejores resultados con electrolitos diluidos cuando se opere a voltajes elevados, lo cual a su vez resulta de elevar la densidad de corriente".

Al observar la última tabla comparativa entre los datos de operación de un proceso convencional y los datos obtenidos experimentalmente, nos encontramos con que el espesor máximo, bajo condiciones modificadas, fué de 6.5 micras, contra 10 que garantiza el proceso tradicional. No obstante, de acuerdo con los datos asentados en las consideraciones teóricas, ésa diferencia en espesor puede contrarrestarse por el supuesto de que al haber aumentado la densidad de corriente, el espesor de capa-barrera también debió haber aumentado, con lo cual se puede suponer una mayor resistencia a la corrosión.

Finalmente cabe aclarar que lo que en éste trabajo se ha -

desarrollado, no es un proceso de anodizado diferente al que existe ya a base de ácido sulfúrico. Los principios son los mismos, las - materias primas también al igual que los pasos que hay que seguir en el proceso son exactamente iguales. Es evidente que al existir modificaciones en las condiciones de operación en el baño de anodizado, éste tendrá que contar con los elementos necesarios para lograr tales modificaciones, sin embargo el proceso no deja de ser esencialmente el mismo.



C A P I T U L O I V

C O N S I D E R A C I O N E S E C O N O M I C A S

## CONSIDERACIONES ECONOMICAS

El anodizado económico en aluminio, tal como se ha propues-  
to, puede tener dos posibles aplicaciones en la industria del anodi-  
zado:

4.1. Instalación de una planta para anodizado económico en  
aluminio.

4.2. Integración del proceso de anodizado económico a una  
planta de anodizado convencional.

4.1. Instalación de una planta para anodizado económico en  
aluminio.

En el primer caso necesariamente se involucran los elemen-  
tos de planeación para cualquier empresa industrial. Se considera de  
importancia mencionar algunos aspectos tanto de consideraciones pre-  
liminares como de mercado.

La empresa en cuestión es una planta de maquila, por lo tan-  
to sujeta en su productividad a las fluctuaciones del mercado. Al refe-  
rirnos a fluctuaciones del mercado queremos decir producción de alumi-  
nio para ser anodizado, y de éste, casi la totalidad se emplea en el -  
ramo de la construcción.

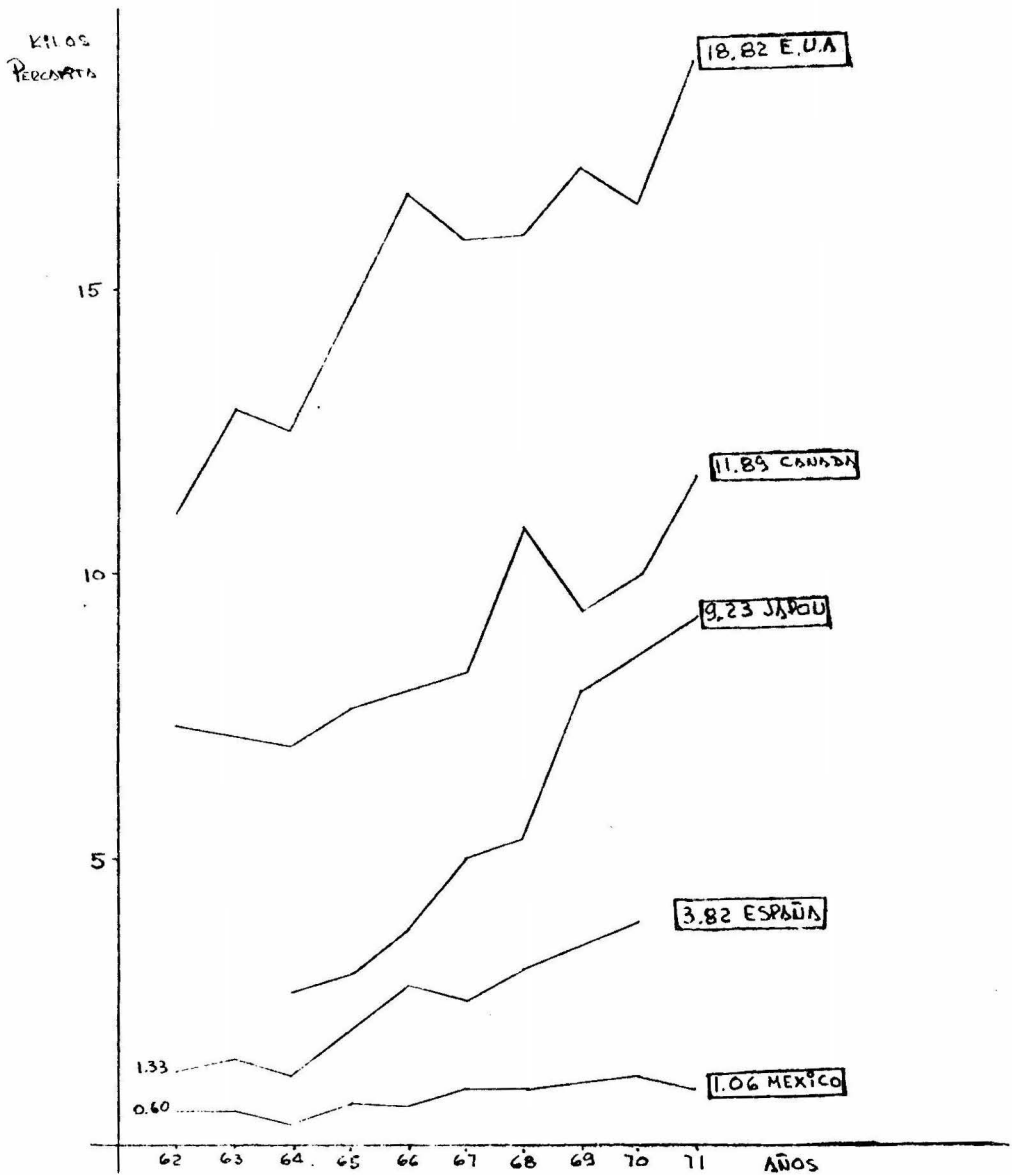
Podemos afirmar que la industria nacional del aluminio ha -  
sido verdaderamente dinámica. Si tomamos como base el promedio de la  
producción y consumo nacional de los años 1969, 1970 y 1971, tendremos -

como resultado que la producción nacional de aluminio representa aproximadamente un 60 % del consumo total. El 40 % restante son importaciones, principalmente de cable, alambre y láminas especiales que no se fabrican actualmente en México,

Si continuamos considerando como base el consumo de éstos tres años, que en promedio arroja un total de 57,447 toneladas anuales, llegaremos a un consumo per cápita de 1.130 Kg., que debemos considerar bajo, en comparación con otros países, lo cual mostraremos en la siguiente gráfica.

GRAFICA No. 4 \* 8

CONSUMO PERCAPITA DE ALUMINIO



En 1971, la inversión total destinada a la fabricación de aluminio primario, laminación y extrusión en México, fue aproximadamente de 1000 millones de pesos, divididos como sigue:

INVERSION EN PRODUCCION PRIMARIA..... \$ 368,000,000.00

INVERSION EN FUNDICION, LAMINACION  
Y EXTRUSION..... \$ 632,000,000.00

A partir del aluminio primario se inician los procesos de fundición, laminación y extrusión de éste metal, procesos industriales que visualizaremos brevemente desde el punto de vista económico.

El proceso de fundición de aluminio realmente no ha tenido un incremento importante. Se le ha observado la siguiente tendencia.

TABLA No. 11 \* 11

AÑO	TONELADAS ANUALES	% DE INCREMENTO ANUAL
1969	4372	
1970	5602	28
1971	4576	18
1972	5336	17
PROMEDIO ANUAL		9 %

Los anteriores tonelajes de aluminio, dirigidos a la fundición por ramos industriales, se dividieron como sigue:

<u>RAMA INDUSTRIAL</u>	<u>%</u>
AUTOMOTRIZ	53
CONSTRUCCION	5
INDUSTRIA EN GENERAL	21
ELECTRICA	8
ARTICULOS PARA EL HOGAR	13 * 11

Los productos laminados, incluyendo la fabricación de papel de aluminio han tenido un desarrollo similar al de fundición, como puede apreciarse en la siguiente tabla:

TABLA No. 12 \* 11

AÑO	TONELADAS	TENDENCIA	% INCREMENTO ANUAL
1966	10,656	100	
1967	10,783	101	1.1
1968	11,513	108	6.8
1969	14,352	135	24.7
1970	13,368	125	6.9
1971	14,768	139	10.5
	PROMEDIO ANUAL		7.2 %

Por ramas industriales, el tonelaje anual se ha dirigido últimamente en las siguientes proporciones:

<u>RAMA INDUSTRIAL</u>	<u>%</u>
EMPAQUES Y ENVASES	36
CONSTRUCCION	22
ARTICULOS PARA EL HOGAR	15
TRANSPORTE	6
USOS DIVERSOS	21 * 11

El proceso de extrusión de aluminio en México es definitivamente el que ha sido más dinámico, ya que ha mostrado una tendencia de incremento más importante que los demás procesos secundarios del aluminio. Se demuestra mediante el cuadro siguiente:

TABLA No. 13 \* 11

AÑO	TONELADAS	TENDENCIA	% INCREMENTO ANUAL
1966	5,746	100	
1967	7,422	129	29.0
1968	8,792	153	18.5
1969	10,339	180	17.6
1970	12,296	214	18.9
1971	13,329	232	(atómica) 8.4
PROMEDIO ANUAL			18.5 %

De 1966 a 1971 se ha incrementado la producción en un -- 132 %, con un promedio anual favorable de 18.5 %.

Por ramas industriales, el tonelaje anual se ha dirigido últimamente en las siguientes proporciones:

<u>RAMA INDUSTRIAL</u>	<u>%</u>
CONSTRUCCION	40
INDUSTRIA EN GENERAL	23
TRANSPORTE	10
ELECTRICA	3
USOS DIVERSOS	23 * 11

De los datos anteriores se puede concluir que el proceso de mayor consumo es la extrusión. Como ya se enfatizó, es el que ha crecido en forma más dinámica, ya que comparativamente del año de 1966 a 1971, - la laminación aumentó en un 39 % contra un 132 % del proceso de extrusión.

Se observa también que el mayor volumen de aluminio de extrusión se dirige a la rama de la construcción, siendo ésta a su vez, la principal fuente de suministro de trabajo para la industria del anodizado, ya que el aluminio extruído, se anodiza aproximadamente en un 80 % .

Dentro del mercado de la construcción empieza a destacar la - fabricación en serie de productos de aluminio, entre los que, tema de - actualidad, lo constituye la ventana económica para habitaciones popula- res.

La tendencia dentro de las materias primas para ventanas, se in- clina claramente hacia la de aluminio anodizado, no solamente por sus cuali- dades sino también debido a que sus precios han sido abatidos mediante la producción en serie. Como un antecedente de lo que ha venido sucediendo en los Estados Unidos de Norteamérica en relación a las materias utilizadas para la fabricación de ventanas, podemos ver a continuación la tendencia - que ha tenido el consumo de las distintas materias primas:

<u>MATERIA PRIMA</u>	<u>1954</u>	<u>1970</u>	
MADERA	61 %	43 %	
FIERRO	24 %	3 %	
ALUMINIO	15 %	54 %	* 11



Desafortunadamente, en México no contamos con este tipo de estadísticas y apreciaciones.

Al no ser empleada en México la madera como materia prima para la fabricación de ventanas, la producción se realiza con fierro y aluminio anodizado y seguramente a través de un mejor trabajo dentro del mercado y una mayor divulgación, deberá llegar el momento en que predomine definitivamente la ventana de aluminio.

A últimas fechas los fenómenos inflacionarios han elevado los costos para la fabricación de ventanas de aluminio anodizado. El costo del aluminio extruído ha sufrido considerables aumentos en los últimos dos años y se vislumbran aún más incrementos en el precio. La mano de obra también se ha encarecido notablemente y el precio del anodizado de aluminio no es posible mantenerlo estático. Los productos a base de fierro han experimentado situaciones paralelas.

Con objeto de contrarrestar el alza de precios y poder man tener en estado competitivo al aluminio en su aplicación al terreno de la construcción, se han adoptado medidas diversas y una de ellas ha sido la tendencia a disminuir los espesores de los materiales extruídos para la fabricación de ventanas. Esta medida ha ayudado de manera efectiva a frenar cuando menos la proporción del alza de los precios en los materiales, sin embargo existen varias limitaciones.

El espesor de los perfiles empleados para la fabricación de ventanas, tiene límites mínimos en función de la resistencia que los materiales deben tener para operar funcionalmente y con seguridad. Por otra parte, existe una limitación con respecto al peso de los perfiles, ya que una pieza de aluminio extruido, por condiciones específicas del proceso de extrusión, no debe pesar -en algunos casos- menos de 125 gramos por metro, ya que si es así, automáticamente el precio por kilogramo de aluminio aumenta considerablemente.

Para una misma pieza de aluminio, una reducción en su espesor puede dar una diferencia importante en su peso y por tanto en su precio, pero para efectos de área anodizable, ésta permanece prácticamente igual por lo que el aumento de precio a éste respecto no se detiene ó aminora por concepto de precio por anodizado. En la actualidad no es difícil encontrar presupuestos ó cotizaciones en las cuales el precio del anodizado del aluminio es bastante mayor que el precio del aluminio extruido en sí.

El proceso de anodizado económico en aluminio vendría pues a cubrir éste aspecto no resuelto hasta ahora, con lo cual se podría favorecer la presenta competitiva del aluminio anodizado como materia prima para la fabricación de ventanas económicas en habitaciones de interés popular.

La fabricación en serie de los diversos componentes de - -

ventanas, se hace necesaria para la construcción masiva de habitaciones populares. Esta fabricación en serie de ventanas económicas de - ventanas económicas de aluminio existe actualmente en México en calidad y en capacidad suficiente para cumplir las necesidades de dicho mercado. La industria nacional de fabricantes de ventanas de aluminio está a la altura de los requerimientos que se le puedan hacer por parte de las distintas empresas u organismos que están promoviendo éstas construcciones, por lo que se sugiere como una alternativa por estudiar más a fondo, la instalación de una planta para anodizado económico en aluminio como parte de un programa de expansión de aquellos ó como un sistema de adquisición ó fusión de empresas, combinando de ésta manera la fabricación de las ventanas y del anodizado económico de las mismas.

Finalmente, cabe hacer notar que uno de los factores importantes a considerar en el presupuesto del capital de inversión para la instalación de una planta de ésta naturaleza, es el establecimiento reciente de una cuota por concepto de la capacidad eléctrica que se quiera instalar. Para un proceso convencional, se ha calculado - (\*3) que cada 1,000 amperes instalados para anodizar, requieren una demanda de corriente eléctrica por lo que se refiere a todos los equipos adicionales incluyendo el rectificador mismo, un promedio de 40 KVA. Hay que tomar en cuenta que bajo el proceso de anodizado

económico que requiere 4 amperes por decímetro cuadrado, con 1,000 - amperes se pueden anodizar 2.5 metros cuadrados de aluminio cada 5 - minutos. El precio fijado por KVA por instalar, al mes de septiembre de 1975 era de 1000 pesos aproximadamente, lo cual constituye un fac tor importante de consideración con respecto a las necesidades de in versión.

#### 4.2. Integración del proceso de anodizado económico a una planta de anodizado convencional.-

Este segundo caso de posible aplicación del proceso de - anodizado económico en aluminio, también involucra diversos factores sujetos de mención.

1.-Gastos de instalación.- La incorporación del proceso económico de anodizado, por sus características, requiere de la inversión en los elementos que permitan operar el proceso de anodiza do de aluminio bajo las condiciones propuestas. En primer lugar se requiere incorporar al baño de anodizado un sistema de calentamiento para el electrolito. Este problema se puede resolver ya sea ins talando un serpentín de acero inoxidable por el que se haga circular vapor, ó bien enchaquetando la tina de anodizado formando una doble pared cerrada ésta y haciendo circular aire caliente entre - ellas. En ambos casos se requerirá recubrir por su parte exterior al tanque de anodizado con algún material que sea aislante térmico.

De las dos alternativas se sugiere la primera en base a que aparte de que en sí es más económico instalar un serpentín, el calentamiento a base de vapor es más económico también que el empleo de combustibles. De cualquier manera, se supone que el sistema de calentamiento para el baño de anodizado será el mismo que se tenga en las demás tinas de la línea, que requieren ser calentadas.

La productividad de una planta de anodizado radica en el baño de anodizado. Con esto se quiere decir que los baños precedentes ó posteriores del anodizado, tendrán que adaptarse en cuanto a capacidad i/ó número, a las necesidades que implica una reducción del tiempo de anodizado. Para aclarar más concretamente éste punto hay que recordar que una carga de material requiere ser limpiada, matizada, neutralizada, etc., antes de ser anodizada. El tiempo que ocupa preparar una carga de material antes de anodizarla es cuando menos de 12 a 15 minutos, lo cual no implica problema alguno porque el tiempo mínimo de anodizado en un proceso normal es de 25 minutos, pero, si el tiempo de anodizado se reduce a 5 minutos por carga, es seguro que se requerirá ó bien aumentar la capacidad de los baños de preparación del material (no así de sus enjuagues) ó instalar tinas adicionales que permitan suministrar la cantidad de baños que el tanque de anodizado requerirá con ésos tiempos de proceso. Lo mismo sucede con el tratamiento posterior al nodizado. Si el paso de sellado necesita un

mínimo de 15 minutos, al obtener con el proceso propuesto una carga - por sellar cada 5 minutos, ó se aumenta de capacidad ó se tiene que instalar irremediablemente un ó unos tanques de sellado adicionales. El flujo tan grande de material anodizado trae consigo la necesidad de aumentar también en número el equipo de grúas transportadoras de material en la línea de anodizado.

Estas son algunas complicaciones que el reducir el tiempo de anodizado origina y si en vez de contar con un sólo baño de anodizado, se cuenta con dos tinas, el problema se vuelve mucho más complejo. Un estudio de tiempos y movimientos nos aportaría elementos más concretos de necesidades de aumento en número de baños ó en capacidad de ellos.

## 2.-Costos de producción.

a).- Consumo de energía eléctrica.- Al aumentar la densidad de corriente de 1.4 (promedio) a 4 amperes por desímetro cuadrado, así como se reduce el tiempo de proceso, se reduce también el área anodizable por carga, lo cual obligaría a hacer las modificaciones necesarias al regtificador para aumentar su capacidad de tal manera que se mantenga el mismo número de piezas ó la misma área por carga de material.

b).- Mano de obra.- Un aumento de 3 a 4 veces más la capacidad de producción de una planta de anodizado, requerirá, a menos que los siste-  
mas fueran automatizados, de un aumento ineludible en el personal de

producción. Se calcula que en las áreas de armado ó sujeción de materiales, anodizado y empaque así como control de calidad, cuando menos se tendrá que aumentar al doble el número de trabajadores.

Todos estos factores y aún otros más que se puedan encontrar mediante un análisis económico completo, deben conducir a evaluar lo más fielmente posible un factor importante que origina éste proceso, ó sea la disminución del precio de venta.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



QUIMICA



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso electrolítico de protección y embellecimiento - del aluminio, llamado ANODIZADO, consiste en términos generales en - sumergir al aluminio en un electrolito adecuado y conectarlo al polo positivo de una fuente de poder ó rectificador de corriente directa. Manteniendo las condiciones de operación adecuadas, en 25 a 30 minutos se podrá obtener una capa de óxido de aluminio -generada a partir del mismo metal- presentando una estructura porosa con un espesor - promedio de 10 micras.

De acuerdo con el estudio teórico-práctico realizado, se encontró que el proceso puede ser mejorado de tal manera que bajo - las condiciones propuestas, se obtenga una capa de óxido de aluminio con un espesor promedio de 6.5 micras (el cual es aceptable para fines comerciales) en un tiempo de 5 minutos. Estos resultados muestran por sí solos las ventajas en aumento de la capacidad de producción - instalada, ahorro de energía eléctrica etc., que el proceso propuesto permite, pudiendo originar un aumento importante en el margen de utilidad y abriendo la posibilidad de reducir el precio de venta.

La gráfica del consumo anual per cápita de aluminio en - - México con respecto a otros países, nos muestra que existe por delante un enorme campo de posibles aplicaciones y usos del aluminio y - hay que recordar que el anodizado de éste metal experimenta un desal

rollo paralelo con a producción del mismo.

El proceso de anodizado económico en aluminio puede ser un elemento importante para reforzar a la industria del anodizado en -- México, tanto por las ventajas que presenta, como por la posibilidad de poder introducir definitivamente al aluminio anodizado en mercados tan importantes como la instalación de ventanas, puertas, fachadas y cancelería en general en la construcción de viviendas de interés popular, la instalación de aluminio anodizado para ventanas y accesorios en la industria automotriz.

Desde el punto de vista técnico, es recomendable que el -- proceso sea llevado a nivel de planta piloto ajustándose a las características del mismo con objeto de reconfirmar con un mayor grado de confiabilidad los resultados obtenidos hasta ahora y poder así pretender a la aplicación práctica del proceso.

Las dos alternativas que se proponen para la aplicación -- práctica del anodizado económico del aluminio, que son la instalación de una planta que opere bajo las características establecidas ó la -- integración del proceso a una planta convencional, requieren también de una planeación económica exhaustiva que permita garantizar el éxito de la decisión final.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- A. Kenneth Graham. ELECTROPLATING ENGINEERING HANDBOOK.  
2a. Edición. Reinhold Book Co. 1962.
- 2.- E.A. Ollard y E.B. Smith. HANDBOOK OF INDUSTRIAL ELECTROPLATING  
Iliffe & Sons Ltd. London. 1963.
- 3.- OPE. IMPIANTI STANDARD PER ANODIZZAZIONE DELL'ALLUMINIO.  
Catálogo 1975. Bologna-Italy.
- 4.- C. L. Mantell, Ph. D. INGENIERIA ELECTROQUIMICA.  
Ed. Reverté S.A. 1957.
- 5.- L. Arbellot. MANUAL PRACTICO DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLITOS.  
Ed. Hispano Europea. Barcelona.
- 6.- F. Burriel, F. Lucena, S. Arribas. QUIMICA ANALITICA CUALITATIVA.  
5a. Edición. Ed. Paraninfo. Madrid. 1965.
- 7.- REYNOLDS ALUMINIO, S.A. Sistema Integrado. 2a. Edición.  
1975.
- 8.- ANMPAC. MEMORIAS DEL PRIMER CONGRESO DE ALUMINIO CONALUMCO'72.  
1a. Edición 1972.
- 9.- Alazraki Grossman Manuel. LA IMPORTANCIA DE LOS COSTOS PARA LA TOMA  
DE DECISIONES EN LA INDUSTRIA DEL ANODIZADO DE ALUMINIO PARA LA -  
CONSTRUCCION. Tesis. Universidad Iberoamericana, México 1973.
- 10.- L. Oria y H. Jorge. Planificación y planeación. Edición Privada.  
México 1970.
- 11.- Instituto del Aluminio A.C. Archivo Privado.