

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**PROCESO DE “CROMATIZADO” PARA EL ALUMINIO  
DESTINADO A LA ARQUITECTURA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**P R E S E N T A:**

**EMILIA PEÑA LINARES**

**Asesor: Q. CELESTINO SILVA ESCALONA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2012.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
 Jefa del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **TESIS**  
**Proceso de "cromatizado" para el aluminio destinado a la arquitectura**

Que presenta la pasante: **Emilia Peña Linares**  
 Con número de cuenta: **40408410-9** para obtener el Título de: **Ingeniera Química**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Abril de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Eligio Pastor Rivero Martínez	
VOCAL	Q. Celestino Silva Escalona	
SECRETARIO	IA. Ana María Soto Bautista	
1er SUPLENTE	IA. Ana María Sixto Berrocal	
2do SUPLENTE	M. en I. Julio Cesar Morales Mejía	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).  
 HHA/pm

# AGRADECIMIENTOS

*Al finalizar el desarrollo de mi tesis profesional y al analizar que fue un trabajo tan arduo me mostro inmediatamente que la realización de este trabajo hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.*

*Por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta dura tarea.*

*A mis padres, Alejandra y Miguel, por ser los mejores, sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su apoyo, comprensión y amor. Los amo.*

*Con cariño y admiración por su compañía y animo a mis hermanos Alejandro, Rebeca, Rafael y Mizrain a mis sobrinas hermosas Denisse, Michelle y Aura...por ellos y para ellos!*

*Debo agradecer de manera especial y sincera al Profesor Celestino Silva Escalona por aceptarme para realizar esta tesis profesional bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como profesionista. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación. Le agradezco también el haberme esperado siempre tan tarde y por haber interrumpido sus actividades. Muchas Gracias Profesor.*

*Mi más sincero agradecimiento a los Profesores miembros del jurado por su disponibilidad, participación y sus atentas y efectivas revisiones que ha enriquecido el presente trabajo, Gracias por su destacada participación.*

*Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ing. Jaime Ramos por su importante aporte y participación pero sobre todo quiero destacar su amable disponibilidad para revisar y comentar en el desarrollo y de esta manera enriquecer el trabajo realizado. Gracias Ing. Jaime porque aunque no tenía por que hacerlo, se ofreció a ayudarme y a compartir sus conocimientos y experiencias de tipo profesional que son para mí de gran valor.*

*Quiero extender mi agradecimiento a la empresa Oxal S.A de C.V y a sus colaboradores por haberme permitido aprender y trabajar al lado de ellos y haberme facilitado las cosas y de esta manera realizar este trabajo en el marco de una empresa consolidada exitosa, Gracias por permitirme vivir una experiencia tan importante para mi formación como profesional, pero sobre todo, Gracias a quienes directamente trabajan conmigo y me comparten y enseñan con sus conocimientos y experiencias de toda una vida.*

*Debo extender mi reconocimiento, admiración y respeto a esta gran institución, la máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por dejarme pisar sus aulas y estudiar en ellas, a mis Profesores que con sus conocimientos, esfuerzos constantes, comprensión, paciencia y dirección nos forman académicamente y nos dan bases solidas de hábitos de trabajo. Gracias UNAM.*

*Gracias a todos mis compañeros de generación por ser parte de mis mejores recuerdos en esta linda etapa de nuestras vidas, por supuesto a quienes nos recuerdan la importancia del contacto humano con quienes compartí conocimientos y experiencias de manera externa, mis amigos, que con su calidad personal me ayudaron y apoyaron en cada momento de este proceso de crecimiento en mi vida y de pruebas.*

*Gracias Fátima por ser mi compañera de generación, mi equipo de trabajo, pero sobre todo, mi amiga... y si amiga, si me acuerdo del primer día de clases, como olvidarlo.*

*Gracias Jezabel por ser esa linda chica tan amigable y agradable, pero sobre todo, tan hospitalaria, gracias amiga por abrirme las puertas de tu casa y compartir conmigo hasta esta última etapa.*

*Gracias Roberto por todos esos momentos de pláticas tan llenas de alegría y risas contigo, y gracias por confiar en mí.*

*Gracias Félix por tu amabilidad y atención que siempre demuestras.*

*Gracias chicas Alondra, Karina y Nury por ser tan lindas amigas por esos bellos momentos todos y cada uno de ellos, con su grata compañía, Gracias pequeñas.*

*Gracias Alfredo porque sin tu apoyo todo hubiera sido más difícil, todo mi cariño y agradecimiento por todo lo que has hecho por mí.*

*Gracias a todos por tenerme confianza, por creer en mí, por hacerme aceptar mis errores y hacer que yo me riera de mí en algún momento, por hacerme sentir que todo a su lado es más fácil.*

*GRACIAS*

*EMILIA PEÑA LINARES*

# Í N D I C E

OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	2
1.- GENERALIDADES DEL ALUMINIO	5
1.1 Historia y producción	5
1.2 Características físicas, mecánicas y químicas del aluminio	7
1.3 Series de aluminio según sus aleantes	10
1.4 Usos industriales del aluminio	16
2.- DIVERSOS PROCESOS DE TRATAMIENTO A SUPERFICIES DE ALUMINIO	19
2.1 Anodizado	19
2.2 Cromado	21
2.3 Metalizado	22
2.4 Cromatizado	24
3.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CROMATIZADO EN ALUMINIO	25
3.1 Iniciación del cromatizado en diversos países	25
3.2 Iniciación del cromatizado en México	27
4.- PROCESO DE CROMATIZADO EN ALUMINIO	28
4.1 Diagrama de bloques del proceso de cromatizado en aluminio	30
4.2 Descripción de las diferentes etapas del proceso	31
4.2.1 Preparación de la superficie en medio ácido (decapado)	31
4.2.2 Preparación de la superficie en medio alcalino (sosa)	32
4.2.3 Neutralización (2° decapado)	33
4.2.4 Enjuagues previos	33
4.2.5 Cromatizado	35
4.2.6 Enjuagues posteriores	36
4.2.7 Enjuague con agua desionizada	37
4.2.8 Secado	38

5.- CONTROL DEL PROCESO DE CROMATIZADO	39
5.1 Control de la concentración de baños	39
5.2 Control de conductividad de enjuagues	40
5.3 Renovación de la composición de los baños	41
6.-FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DEPOSICIÓN DE LA CAPA DE CROMO EN ALUMINIO	44
6.1 Concentración	44
6.2 Tiempo de inmersión	45
6.3 Temperatura	46
6.4 pH	47
7.- DETERMINACIÓN DEL DEPÓSITO DE CROMO EN EL ALUMINIO	49
7.1 Método por peso diferencial	50
7.2 Método por determinación fotométrica	51
7.3 Método por fluorescencia de rayos X	51
7.4 Métodos para evaluar la resistencia a la corrosión del cromatizado de aluminio	52
7.4.1 Resistencia a la niebla ácida	53
7.4.2 Prueba de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	55
7.4.3 Prueba de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	56
7.4.4 Test Machu	56
8.- SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE CROMATIZADO	60
8.1 Descripción técnica de seguridad de cada uno de los químicos utilizados en el proceso de cromatizado	60



8.2 Equipo de protección personal	62
9.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y CONFINAMIENTO DE LODOS	66
9.1 Descripción de las aguas residuales	66
9.2 Tratamiento por detoxificación de cromo hexavalente	67
9.2.1 Tratamiento por proceso electroquímico	70
9.3 Confinamiento de lodos de proceso	72
9.3.1 Almacenamiento interno	73
9.3.2 Señalamientos	73
9.3.3 Transporte	73
CONCLUSIONES	75
TÉRMINOS EMPLEADOS	77
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	81

## **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una compilación sobre el proceso de cromatizado de aluminio que se utiliza en la industria de los recubrimientos metálicos con información amplia, de calidad y clara que ayude a resolver dudas que surgen en relación a este proceso.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- 1.- Servir como material de guía para comprender el proceso de cromatizado de aluminio, en diversos aspectos como seguridad e higiene y medio ambiental.
- 2.- Disponer el material a las empresas del sector, como una referencia importante que facilite el aseguramiento de calidad de sus productos.

## INTRODUCCIÓN

El aluminio es un material que adquiere cada día mayor importancia, y está presente en infinidad de elementos que nos rodean. Entre las principales aplicaciones podríamos citar: electrodomésticos, acabados para la construcción, grifería, muebles sanitarios, muebles de cocina, muebles de oficina, industria automotriz y de autopartes, partes eléctricas e industria eléctrica y electrónica. Esta gran variedad de aplicaciones para el aluminio sólo es posible gracias a la alta calidad de los acabados superficiales o recubrimientos que se le dan al aluminio. Más del 80% del aluminio utilizado en la vida diaria ha recibido un tratamiento de superficie. La gama de recubrimientos y tratamientos aplicados es muy amplia y el fin último de la operación consiste en proteger la superficie contra la corrosión o el desgaste, lubricarla, variar la conductividad eléctrica o la reflectividad al calor o a la luz, entre otros.

La diversidad de tratamiento es enorme según el sector industrial o producto terminado. Así, entre los procesos más habituales se pueden citar:

- *Los procesos de deposición química:* la pieza se recubre con una o varias capas finas de película sólida o líquida principalmente basados en níquel, cobre, oro, plata y estaño.
- *Los procesos de deposición electrolítica:* se introducen las piezas en un baño donde se encuentra el electrolito, se les aplica la corriente como cátodo y de esta manera se deposita el metal; los acabados pueden ser cobreado, cromado duro y decorativo, niquelado, cadmizado, zincado, estañado, plomeado, plateado y muchos más.
- *Los procesos de conversión electrolítica:* la reacción química está provocada por una corriente eléctrica continua, los acabados más usuales son el anodizado y el electropulido.
- *Los procesos de conversión química:* se efectúa una modificación de la superficie dando con esto una protección anticorrosiva al metal, ejemplo de estos son, el fosfatado, el pavonado, el pulido químico y el cromatizado.

Este último, (el cromatizado) es un proceso previo a un acabado llamado *lacado* que consiste en la aplicación electrostática de una pintura en polvo a la superficie del aluminio.

- El lacado es un proceso posterior a la extrusión, y que desempeña una doble función.
- Preservar el aspecto y las propiedades físicas del perfil.  
Aumentar la estética del material.

El proceso de lacado, puede dividirse en tres partes:

1. Cromatizado
2. Pintura
3. Polimerizado

### **1. Cromatizado**

Consiste en la preparación y limpieza de los materiales con el fin de eliminar suciedades y adaptar las superficies para el recubrimiento. Este proceso se lleva a cabo sumergiendo repetidamente los materiales en disoluciones acuosas ácidas, y comúnmente se divide en las siguientes fases:

1. Desengrasado: es la primera fase de limpieza y eliminación de suciedad y aceites.
- 2.-Ataque alcalino: el material es atacado por el medio alcalino con el propósito de porar el material y en estos poros depositar el cromo.
3. Decapado: consiste en una 2ª fase de limpieza, sumergiendo el material en una solución de mayor poder, con el fin de retirar la suciedad más resistente al proceso.
4. Cromatizado: es la fase más importante, donde el tiempo y la forma de aplicación determinan el comportamiento a la corrosión, y a los agentes ambientales. El material de aluminio es sumergido en una solución de ácido crómico con estabilizantes que transforman y crean una capa inerte de óxidos de cromo y aluminio. Este proceso llamado también de conversión química o adherencia; consigue una mayor penetración y estabilidad de las pinturas, brindando así protección al perfil.

### **2. Pintura**

Se realiza en una cabina equipada con pistolas electrostáticas. La pintura es polvo de poliéster, cargado eléctricamente con signo contrario al soporte, siendo atraído por la superficie del perfil. Combinando la velocidad del transportador, el caudal de polvo y la

carga electrostática se logra regular el espesor de capa del recubrimiento aplicado, que para perfil de arquitectura debe de oscilar entre las 60/70 micras.

### **3. Polimerizado**

Se realiza en un horno de convección de aire, cumpliendo la especificación de tiempo y temperatura de permanencia de los perfiles en dicho horno dada por el fabricante de la pintura. Así se logra una capa de pintura perfectamente adherida a la pieza.

En el presente trabajo solo se referirá a la primera etapa del lacado que es el cromatizado, ya que es un proceso muy complejo el cual lleva ciertos parámetros y normas que cumplir dentro de la industria dedicada a los acabados superficiales y arquitectónicos. A nivel internacional las empresas que usan el cromatizado, mejoran la calidad de sus acabados por lo que buscan cumplir con los parámetros establecidos para este método ya que el cromatizado es un proceso que da buenos resultados contra la corrosión y las industrias alumineras arquitectónicas se interesan en empresas que realicen este tipo de acabado superficial, por lo cual es importante desarrollar el tema sobre el proceso de cromatizado para el aluminio.

## **CAPITULO 1 GENERALIDADES DEL ALUMINIO**

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferro magnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. En estado natural se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas y micas). Como metal se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer, y a continuación en aluminio metálico mediante electrólisis.

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad ( $2.700 \text{ kg/m}^3$ ) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. Por todo ello es desde mediados del siglo XX el metal que más se utiliza después del acero.

### **1.1 Historia y producción**

Fue aislado por primera vez en 1825 por el físico danés H. C. Oersted. El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción. Este problema se compensa por su bajo coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

Tanto en Grecia como en la Antigua Roma se empleaba el alumbre (del latín *alūmen*, -ñis, alumbre), una sal doble de aluminio y potasio como mordiente en tintorería y astringente en medicina, uso aún en vigor.

Generalmente se reconoce a Friedrich Wöhler el aislamiento del aluminio en 1827. Aun así, el metal fue obtenido, impuro, dos años antes por el físico y químico danés Hans Christian Oersted. En 1807, Humphrey Davy propuso el nombre *aluminum* para este metal aún no descubierto, pero más tarde decidió cambiarlo por *aluminium* por coherencia con la mayoría de los nombres de elementos, que usan el sufijo *-ium*. De éste derivaron los

nombres actuales en inglés y en otros idiomas; no obstante, en los EEUU. Con el tiempo se popularizó el uso de la primera forma, hoy también admitida por la IUPAC aunque prefiere la otra.

Cuando fue descubierto se encontró que era extremadamente difícil su separación de las rocas de las que formaba parte, por lo que durante un tiempo fue considerado un metal precioso, más caro que el oro. A mitad del siglo XIX, se obtuvieron en Francia pequeñas cantidades de aluminio por reducción de cloruro aluminico-sódico con sodio, procedimiento desarrollado por Saint-Claire Deville basándose en los trabajos de Oersted y Wöhler. Se exhibieron barras de aluminio junto con las joyas de la corona de Francia en la Exposición Universal de 1855 y se dijo que Napoleón III había encargado un juego de platos de aluminio para sus más ilustres invitados.

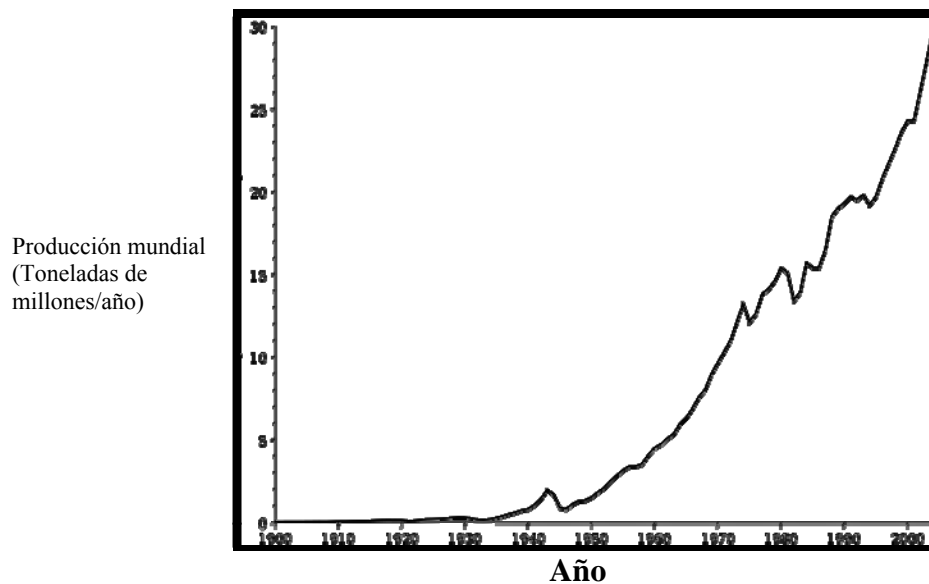
En 1882 el aluminio era considerado un metal de asombrosa rareza del que se producían en todo el mundo menos de 2 toneladas anuales. En 1884 se seleccionó el aluminio como material para realizar el vértice del Monumento a Washington, en una época en que la onza (30 gramos) costaba el equivalente al sueldo diario de los obreros que intervenían en el proyecto; tenía el mismo valor que la plata.

Sin embargo, con las mejoras de los procesos los precios bajaron continuamente hasta colapsarse en 1889 tras descubrirse un método sencillo de extracción del metal aluminio. La invención de la dinamo por Siemens en 1866 proporcionó la técnica adecuada para producir la electrólisis del aluminio. La invención del proceso Hall-Hérault en 1886 (patentado independientemente por Hérault en Francia y Hall en EE.UU.) abarató el proceso de extracción del aluminio a partir del mineral, lo que permitió, junto con el proceso Bayer (inventado al año siguiente, y que permite la obtención de óxido de aluminio puro a partir de la bauxita), que se extendiera su uso hasta hacerse común en multitud de aplicaciones. Sus aplicaciones industriales son relativamente recientes, produciéndose a escala industrial desde finales del siglo XIX. Ello permitió que el aluminio pasara a ser un metal común y familiar. Para 1895 su uso como material de construcción estaba tan extendido que había llegado a Sídney, Australia, donde se utilizó en la cúpula del Edificio de la Secretaría.

La producción mundial alcanzó las 6700 toneladas hacia 1900, 700.000 en 1939 y en 1943 llegó a los dos millones debido al impulso de la II Guerra Mundial. Desde entonces la producción se ha disparado hasta superar la de todos los demás metales no férricos (ver figura 1).

Actualmente el proceso ordinario de obtención del metal consta de dos etapas, la obtención de alúmina por el proceso Bayer a partir de la bauxita, y posterior electrólisis del óxido para obtener el aluminio.

La recuperación del metal a partir de la chatarra, material viejo o deshechos (reciclado) era una práctica conocida desde principios del siglo XX. Sin embargo, es a partir de los años 1960 cuando se generaliza, más por razones medioambientales que estrictamente económicas, ya que el reciclaje consume el 5% de lo que consume la producción metalúrgica a partir del mineral.



**Figura 1. Gráfico de tendencia de la producción mundial de aluminio.**<sup>[10]</sup>

## 1.2 Características físicas, mecánicas y químicas del aluminio

### *Características físicas*

Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes:



- Es un metal ligero, cuya densidad es de  $2.700 \text{ kg/m}^3$ , un tercio de la del acero.
- Tiene un punto de fusión bajo:  $660^\circ\text{C}$  ( $933 \text{ K}$ ).
- El peso atómico del aluminio es de  $26.9815 \text{ u}$ .
- Es de color blanco brillante, con buenas propiedades ópticas y un alto poder de reflexión de radiaciones luminosas y térmicas.
- Tiene una elevada conductividad eléctrica comprendida entre  $34$  y  $38 \text{ m}/(\Omega \text{ mm}^2)$  y una elevada conductividad térmica ( $80$  a  $230 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ).
- Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  formada.
- Abundante en la naturaleza. Es el tercer elemento más común en la corteza terrestre, tras el oxígeno y el silicio.
- Su producción metalúrgica a partir de minerales es muy costosa y requiere gran cantidad de energía eléctrica.
- Material fácil y barato de reciclar.

### *Características mecánicas*

Entre las características mecánicas del aluminio se tienen las siguientes:

- De fácil mecanizado debido a su baja dureza.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 2-3). Límite de resistencia en tracción:  $160\text{-}200 \text{ N/mm}^2$  [ $160\text{-}200 \text{ MPa}$ ] en estado puro, en estado aleado el rango es de  $1.400\text{-}6.000 \text{ N/mm}^2$ . El duraluminio fue la primera aleación de aluminio

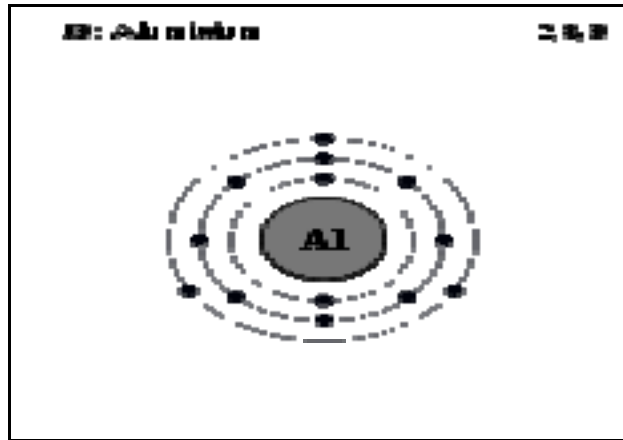
endurecida que se conoció, lo que permitió su uso en aplicaciones estructurales.

- Para su uso como material estructural se necesita alearlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas, así como aplicarle tratamientos térmicos.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.
- Con CO<sub>2</sub> absorbe el doble del impacto.

### *Características químicas*

Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta capa protectora, de color gris mate, puede ser ampliada por electrólisis en presencia de oxalatos. Ciertas aleaciones de alta dureza presentan problemas graves de corrosión intercrystalina.

- El aluminio tiene características anfóteras. Esto significa que se disuelve tanto en ácidos (formando sales de aluminio) como en bases fuertes (formando aluminatos con el anión [Al (OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>) liberando hidrógeno.
- La capa de óxido formada sobre el aluminio se puede disolver en ácido cítrico formando citrato de aluminio.
- El principal y casi único estado de oxidación del aluminio es +III como es de esperarse por sus tres electrones en la capa de valencia. (ver figura 1.1).



**Figura. 1.1.- Estructura atómica del aluminio** <sup>[10]</sup>

El aluminio reacciona con facilidad con HCl, NaOH, ácido perclórico, pero en general resiste la corrosión debido al óxido. Sin embargo cuando hay iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$  su pasivación desaparece y es muy reactivo.

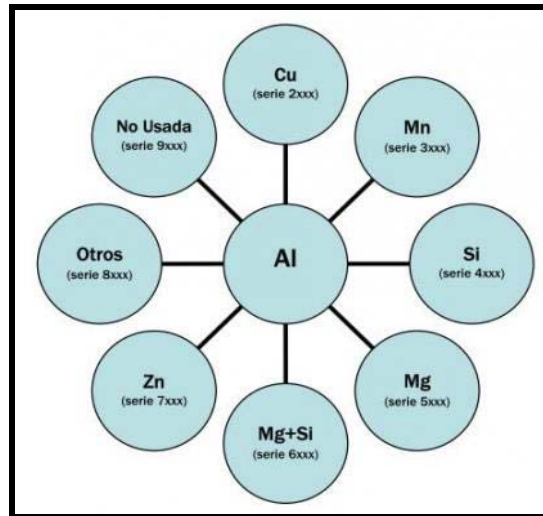
El óxido de aluminio es tan estable que se utiliza para obtener otros metales a partir de sus óxidos (cromo, manganeso, etc.) por el proceso aluminio térmico.

Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, el uso industrial del aluminio excede al del cualquier otro metal exceptuando el hierro/acero. Es un material importante en multitud de actividades económicas y ha sido considerado un recurso estratégico en situaciones de conflicto.

El aluminio se utiliza rara vez 100% puro y casi siempre se usa aleado con otros metales para mejorar alguna de sus características. El aluminio puro se emplea principalmente en la fabricación de espejos, tanto para uso doméstico como para telescopios reflectores.

### **1.3 Series de aluminios según sus aleantes**

Las aleaciones de aluminio se clasifican en función del elemento aleante usado (al menos el que esté en mayor proporción). Los elementos aleantes más usados se muestran en la figura 1.2:



**Figura 1.2.- Aleaciones de aluminio.** <sup>[10]</sup>

En base a los elementos aleantes se tienen las 8 series que se forman con el aluminio las cuales son las siguientes:

**Serie 2xxx.** En estas aleaciones el principal elemento aleante es el Cu, pero a veces también se le añade Mg. Las características de esta serie son: buena relación dureza-peso y mala resistencia a la corrosión. Los usos más frecuentes que se le dan a estos aluminios son (generalmente usados en lugares donde sea necesario una alta relación dureza-peso) en las ruedas de los camiones y de los aviones, en la suspensión de los camiones, en el fuselaje de los aviones, en estructuras que requieran buena dureza a temperaturas superiores a 150°C.

**Serie 3xxx.** En estas aleaciones el principal elemento aleante es el Mn. Estas aleaciones tan solo tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro. Eso es porque el Mn solo puede añadirse de forma efectiva en solo un 1.5%. Por ello hay muy pocas aleaciones de esta serie. Sin embargo los aluminios 3003 y 3105 son muy usados para fabricar utensilios que necesiten dureza media y que sea necesario buena trabajabilidad para fabricarlos como son botellas para bebidas, utensilios de cocina, intercambiadores de calor, mobiliario, señales de tráfico, tejados y otras aplicaciones arquitectónicas.

**Serie 4xxx.** En esta serie el principal elemento aleante es el Si que suele añadirse en cantidades medianamente elevadas (por encima del 12%) para conseguir una bajo rango de fusión de la aleación. El objetivo es conseguir una aleación que funda a una temperatura más baja que el resto de aleaciones de aluminio para usarlo como elemento de soldadura. Estas aleaciones en principio no son tratables térmicamente, pero si son usadas en soldadura para unir otras aleaciones que son tratables térmicamente, parte de los elementos aleantes de las aleaciones pasan a la serie 4xxx y convierten una parte de la aleación en tratable térmicamente. Las aleaciones con un elevado nivel de Si tienen un rango de colores que van desde el gris oscuro al color carbón y por ello están siendo demandadas en aplicaciones arquitectónicas

**Serie 5xxx.** Esta serie usa como principal elemento aleante el Mg y a veces también se añaden pequeñas cantidades de Mn cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio. El Mg es un elemento que endurece más el aluminio que el Mn (un 0.8 de Mg produce el mismo efecto que un 1.25 de Mn). Las principales características de estas aleaciones son una media a alta dureza por endurecimiento por deformación, buena soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y una baja capacidad de trabajo en frío. Estas características hacen que estas aleaciones se usen para adornos decorativos, ornamentales y arquitectónicos, en el hogar, iluminación de las calles y carreteras, botes, barcos y tanques criogénicos, partes de puentes grúa y estructuras de automóviles.

**Serie 6xxx.** En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el  $Mg_2Si$ . Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto de aleaciones, a cambio tienen también formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Estas aleaciones pueden moldearse por un tratamiento termaleable (TT) TT T4 y endurecido por una serie de acciones que completen el TT T6. Su uso suele ser el de aplicaciones arquitectónicas, cuadros de bicicletas, pasamanos de los puentes, equipo de transporte y estructuras soldadas.

**Serie 7xxx.** El Zn añadido en proporciones que van desde el 1 al 8% es el elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones. A veces se añaden pequeñas cantidades de Mg para hacer la aleación tratable térmicamente. También es

normal añadir otros elementos aleantes como Cu o Cr en pequeñas cantidades. Debido a que la principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza se suele usar en las estructuras de los aviones, equipos móviles y otras partes altamente forzadas. Debido a que esta serie muestra una muy baja resistencia a la corrosión bajo tensión se le suele aplicar levemente un TT para conseguir una mejor mezcla de propiedades.

**Serie 8xxx.** Otros elementos.

**Serie 9xxx.** No usada.

**Siglas:**

**T:** Denomina a materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio ya de forja o de fundición que sea termotratables.

**T1:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.

**T2:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.

**T3:** Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.

**T4:** Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3 pero sin el trabajo en frío.

**T5:** Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.

**T6:** Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío sino que sufren un envejecimiento artificial.

**T7:** Solución tratada térmicamente y sobre envejecida para su completa estabilización.

**T8:** Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.

**T9:** Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.

**T10:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

El segundo dígito en el número de la aleación indica los límites de impureza, si el dígito es cero no contiene impurezas, si el valor es de uno a nueve indica un control especial de una o más impurezas. Los últimos dos dígitos en la serie 1XXX expresan un valor en décimas y centésimas del porcentaje de aluminio.

Ejemplo: aluminio 1060 = El segundo dígito en el número de la aleación indica los límites de impureza, es decir esta aleación no tiene impurezas y los últimos dos dígitos expresan un valor en décimas y centésimas del porcentaje de aluminio en este caso 99.60% de aluminio.

En las series dos hasta la nueve los segundos dos dígitos no tienen ningún significado en especial, solo sirven para identificar las diferentes aleaciones de aluminio en el grupo.

En la siguiente tabla se muestra en general los diferentes tipos de aleaciones de aluminio más usuales en la industria.

**Tabla 1. Aleaciones de aluminio.**

Aleaciones	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Pb	% Cr	% Varios	% Otros	% Al
1050	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05				0,03	99,5
1060	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03				0,03	99,6
1080	0,15	0,15	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03		Ga 0,03	V 0,05	0,02	88,8
1100			0,05-0,2	0,05		0,1				Si+Fe 0,95	0,05	99
1200			0,05	0,05		0,1	0,05			Si+Fe 1	0,15	99
1350	0,1	0,4	0,05	0,01		0,05					0,03	99,5
2007	0,8	0,8	3,30-4,60	0,5-1	0,4-1,8	0,8	0,2	0,8-1,5		Bi 0,2	0,3	Resto
2011	0,4	0,7	5-6	0,05	0,05	0,3		0,2-0,4		Bi0,2-0,6 Ni0,05	0,15	Resto
2014	0,5-1,2	0,7	3,9-5	0,4-1,2	0,2-0,8	0,25	0,15		0,1		0,15	Resto

2018	0,5-0,9	0,5	3,9-5	0,4-1,2	0,4-0,8	0,25	0,15			Zr+Ti0,2 Bi0,2-0,6	0,15	Resto
2017	0,2-0,8	0,7	3,5-4,5	0,4-1	0,4-1	0,25	0,15		0,1	Zr+Ti 0,25	0,15	Resto
2024	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15		0,1	Zr+Ti 0,25	0,15	Resto
2618	0,15-0,25	0,9-1,4	1,8-2,7	0,25	0,4-0,8	0,15	0,2		0,1	Zr+Ti0,25 Ni0,8-1,4	0,15	Resto
2030	0,8	0,7	3,3-4,5	0,2-1	0,5-1,3	0,5	0,2	0,8-1,5	0,1	Bi 0,2	0,15	Resto
3003	0,6	0,7	0,05- 0,20	1,00-1,50		0,1			0,1	Zr 0,20	0,15	Resto
3004	0,3	0,7	0,25	1,00-1,50	0,80- 1,30	0,25					0,15	Resto
3104	0,6	0,8	0,05- 0,25	0,8-1,4	0,80- 1,30	0,25	0,1				0,15	Resto
3005	0,6	0,7	0,3	1,0-1,5	0,2-0,6	0,25	0,1		0,1	V 0,05	0,15	Resto
3105	0,6	0,7	0,3	0,3-0,8	0,2-0,8	0,4	0,1		0,2		0,15	Resto
5005	0,3	0,45	0,05	0,15	0,7-1,1	0,2			0,1		0,15	Resto
5050	0,4	0,7	0,2	0,1	1,1-1,8	0,25	0,15		0,1		0,15	Resto
5052	0,25	0,4	0,1	0,1	2,2-2,8	0,1	0,2		0,15-0,35		0,15	Resto
5056 / 5019	0,4	0,5	0,1	0,1-0,6	4,5-0,6	0,2			0,2	Cr+Mn 0,1-0,6	0,15	Resto
5083	0,4	0,4	0,1	0,4-1	4-4,9	0,25			0,05-0,25		0,15	Resto
5086	0,4	0,5	0,1	0,2-0,7	3,5-4,5	0,25	0,1		0,05-0,25	Zr 0,2	0,15	Resto
5154	0,5	0,5	0,1	0,5	3,1-3,9	0,2				Mn+Cr 0,1-0,5	0,15	Resto
5251	0,4	0,5	0,15	0,1-0,5	1,7-2,4	0,15	0,15		0,15		0,15	Resto
5454	0,25	0,4	0,1	0,5-1	2,4-3,6	0,25	0,2		0,05-0,2		0,15	Resto
5754	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,15	0,15		0,3	Mn+Cr 0,1-0,6	0,15	Resto
6005	0,5-0,9	0,35	0,1	0,5	0,4-0,7	0,2	0,1		0,3	Mn+Cr 0,12-0,5	0,15	Resto
6012	0,6-1,4	0,5	0,1	0,4-1	0,6-1,2	0,3	0,3	0,4-2	0,3	Bi 0,7	0,15	Resto
6026	0,6-1,4	0,7	0,2-0,5	0,2-1	0,6-1,2	0,3	0,2	0,4	0,3	Bi 0,5-1,5		Resto
6060	0,3-0,6	0,1-0,3	0,1	0,1	0,35-0,6	0,15	0,10		0,05		0,15	Resto
6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,25	0,25		0,04-0,35		0,15	Resto
6063	0,2-0,6	0,35	0,1	0,1	0,45-0,9	0,1	0,1		0,1		0,15	Resto
6082	0,7-1,3	0,5	0,1	0,4-1	0,6-1,2	0,2	0,1		0,25		0,1	Resto
6101	0,3-0,7	0,5	0,1	0,03	0,35-0,8	0,1					0,15	Resto
6106	0,3-0,6	0,35	0,25	0,05-0,2	0,4-0,8	0,2	0,1		0,2		0,15	Resto
6181	0,8-1,2	0,45	0,1	0,15	0,6-1	0,2			0,04-0,14	Bi 0,4-0,7	0,15	Resto
6262	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,25		0,4-0,7	0,04-0,14	Bi 0,4-0,7	0,15	Resto
6351	0,7-1,3	0,5	0,1	0,4-0,8	0,4-0,8	0,2	0,2				0,15	Resto
7003	0,3	0,35	0,2	0,3	0,5-1	5-6,5	0,2		0,2	Zr 0,05- 0,25	0,15	Resto
7020	0,35	0,4	0,2	0,05-0,5	1-1,4	4-5			0,10-0,30	Zr 0,9- 0,25	0,15	Resto



7022	0,5	0,5	0,5-1	0,1-0,4	2,6-3,7	4,3-5,2			0,1-0,3	Zr 0,2	0,15	Resto
7049	0,4	0,5	1,2-1,9	0,5	2,1-3,1	7,2-8,4			0,05-0,25	Zr 0,25	0,15	Resto
7050	0,12	0,15	1,9-2,5	0,1	2-2,7	5,9-6,9	0,06		0,04	Zr 0,08-0,15	0,15	Resto
7075	0,4	0,5	1,2-2	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1			0,18-0,28	Zr 0,2	0,15	Resto
7175	0,15	0,2	1,2-2	0,1	2,1-2,9	5,1-6,1			0,18-0,28	Zr 0,2	0,15	Resto

#### 1.4 Usos industriales del aluminio

Los principales usos industriales de las aleaciones metálicas de aluminio son:

- **Transporte;** como material estructural en aviones, automóviles, tanques, superestructuras de buques y bicicletas.
- **Estructuras portantes** de aluminio en edificios.
- **Embalaje de alimentos;** papel de aluminio, latas, tetrabrik, etc.
- **Carpintería metálica;** puertas, ventanas, cierres, armarios, etc.
- **Bienes de uso doméstico;** utensilios de cocina, herramientas, etc.
- **Transmisión eléctrica.** Un conductor de aluminio de misma longitud y peso es más conductivo que uno de cobre y más barato. Sin embargo el cable sería más grueso. Medida en volumen la conductividad eléctrica es tan sólo el 60% de la del cobre. Su mayor ligereza reduce el esfuerzo que deben soportar las torres de alta tensión y permite una mayor separación entre torres, disminuyendo los costes de la infraestructura. En aeronáutica también sustituye al cobre.
- **Recipientes criogénicos** (hasta  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ya que contrariamente al acero no presenta temperatura de transición dúctil a frágil. Por ello la tenacidad del material es mejor a bajas temperaturas.

Debido a su gran reactividad química, el aluminio se usa finamente pulverizado como combustible sólido de cohetes espaciales y para aumentar la potencia de los explosivos.

También se usa como ánodo de sacrificio y en procesos de aluminotermia (termita) para la obtención y soldadura de metales.

La globalización y la apertura de nuevos mercados de exportación para la industria metalúrgica demandan que los componentes con procesos galvánicos cumplan con los requerimientos de resistencia a la corrosión según normas internacionales, para mantener su prestigio e incrementar las ventas a mercados internacionales.

Su belleza natural, la gran variedad de formas y colores que puede adoptar, sus buenas propiedades estructurales y su costo relativamente bajo, convierten a este metal en material fundamental para la edificación arquitectónica.

En la construcción se acostumbra a utilizar aleaciones ligeras principalmente la 6063 (en estas aleaciones se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el  $Mg_2Si$ , recordemos que en las series dos hasta la nueve los segundos dos dígitos no tienen ningún significado en especial, solo sirven para identificar las diferentes aleaciones de aluminio en el grupo).

Por su elevada resistencia a los agentes atmosféricos, su alto carácter estético y su escasa necesidad de mantenimiento, su aplicación es óptima tanto en obras nuevas como en renovaciones, así como en obra residencial o institucional.

Por sus diferentes usos o aplicaciones se le ha tenido que dar diferentes tipos de recubrimientos o revestimientos, y estos se pueden clasificar por lo general en dos clases: los recubrimientos orgánicos, en los cuales se aplican principalmente pinturas, esmaltes o tintas, y el recubrimiento de conversión, que son básicamente películas inorgánicas formadas por acciones químicas con las superficies de un metal, pero con frecuencia se impregnan con sustancias orgánicas.

Las formas más comunes de recubrimientos o revestimientos son de fosfato, cromato, óxido y revestimientos anódicos, en las cuales se aplican aleaciones de aluminio, zinc, titanio y magnesio, por medios electroquímicos.

Un recubrimiento, puede llegar a tener diferentes usos, en cualquier caso, por lo general son utilizados para evitar la corrosión de los metales, sin embargo existen otros usos como el

endurecimiento de superficies, la rectificación o recobramiento de dimensión de alguna pieza metal mecánica, para ayudar a la lubricación y para resistir la abrasión.

Cuando un metal está expuesto a la intemperie y a ciertos cambios de temperatura, e incluso en un ambiente agresivo en su contra, se puede decir que es un metal propenso a la corrosión, y por tales situaciones, para facilitar y prolongar la vida de su funcionamiento, se le debe aplicar un recubrimiento. En muchos de estos casos es utilizado un recubrimiento orgánico, sin embargo, estos no son tan efectivos como los recubrimientos metálicos o de conversión.

Cuando una pieza mecánica está sometida a un esfuerzo durante mucho tiempo, tiende a desgastarse, lo que propicia su mal funcionamiento hasta su falla y puede llegar a generar un accidente. Por tal motivo, se dedica el estudio de la dureza de los materiales, que en la mayoría de los casos, deben ser recubiertos o revestidos por inmersión o metálicamente, para que puedan alcanzar su dureza y de esta manera un óptimo funcionamiento.

La rectificación o el recobramiento de las dimensiones de piezas metal mecánicas, son muy comunes en la industria, y en ésta también se aplica el recubrimiento, para hacer dimensión o cuerpo de las piezas a tratarse. Esta se explica fácilmente en la rectificación de ejes de motores ó en las camisas de motores de combustión interna (de los automóviles), en las cuales se aplican un recubrimiento como el metalizado, y luego se rectifica para dar la dimensión correcta del mecanismo.

Otros recubrimientos, como los de óxido, sirven como base para pintura, y como acabados finales, son relativamente baratos, y cuando se impregnan con aceite y sosa, proporcionan buena resistencia a la corrosión.

## **CAPITULO 2. DIVERSOS PROCESOS DE TRATAMIENTO A SUPERFICIES DE ALUMINIO**

Las pérdidas financieras causadas por la corrosión, son de cientos de billones de dólares anuales en el mundo, por lo cual es necesario dar un pretratamiento al aluminio para mejorar su resistencia a la corrosión y mejorar sus propiedades y apariencia. <sup>[10]</sup>

Los tratamientos de superficies abarcan una amplia gama de aplicaciones industriales. Se entiende por pretratamiento de superficies el acondicionamiento de elementos metálicos para su posterior tratamiento, el más habitual de estos es la pintura, pero no es el único.

Se dispone de varios procesos para mejorar la adhesión de la pintura y la resistencia a la corrosión del aluminio. La selección del sistema de pretratamiento del aluminio comienza con un análisis de la utilización final del producto acabado. La composición química del aluminio y el tipo de aleación, así como consideraciones del entorno ambiental.

Algunos de estos pretratamientos comunes que se dan en aluminio en la industria de galvanoplastia son: Cromado (por deposición electrolítica), Metalizado (por deposición química), Anodizado (por conversión electrolítica) y Cromatizado (por conversión química).

### **2.1 Anodizado**

Es aplicable sobre magnesio, sus aleaciones y aluminio, este metal, después de extruido o decapado, para protegerse de la acción de los agentes atmosféricos, forma por sí solo una delgada película de óxido de aluminio; esta capa de  $Al_2O_3$ , tiene un espesor más o menos regular del orden de 0.01 micras sobre la superficie de metal que le confiere unas mínimas propiedades de inoxidación y anticorrosión.

Existe un proceso químico electrolítico llamado anodizado que permite obtener de manera artificial películas de óxido de mucho más espesor y con mejores características de protección que las capas naturales.

El proceso de anodizado llevado a cabo en un medio sulfúrico produce la oxidación del material desde la superficie hacia el interior, aumentando la capa de óxido de aluminio,

obteniéndose propiedades excelentes para resistencia a los agentes químicos, buena dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa, esta última junto con las anteriores, que permite darle una excelente terminación, que es un valor determinante a la hora de elegir un medio de protección para este elemento.

Según sea el grosor de la capa que se desee obtener existen dos procesos de anodizados:

- Anodizados decorativos coloreados. (anodizado delgado)
- Anodizados de endurecimiento superficial (anodizado duro o de capas gruesas)
- Las ventajas que tiene el anodizado son:
- La capa superficial de anodizado es más duradera que la capas obtenidas por pintura.
- El anodizado le da al aluminio una apariencia decorativa muy grande al permitir colorearlo en los colores que se desee.
- Al anodizado no es afectado por la luz solar y por tanto no se deteriora.
- Los anodizados más comerciales son los que se utilizan coloreados por motivos decorativos. Se emplean diversas técnicas de coloración, tanto orgánicas como inorgánicas.

### **Anodizado duro**

Cuando se requiere mejorar de forma sensible la superficie protectora de las piezas se procede a un denominado anodizado duro que es un anodizado donde se pueden obtener capas de alrededor de 150 micras, según el proceso y la aleación. La dureza de estas capas es comparable a la del cromo-duro, su resistencia a la abrasión y al frotamiento es considerable.

Las propiedades del anodizado duro son:

- **Resistencia a la abrasión:** lo que permite que tenga una resistencia al desgaste superficial superior a muchos tipos de acero

- **Resistencia eléctrica.** La alúmina es un aislante eléctrico de calidad excelente, superior a la de la porcelana.
- **Resistencia química.** La capa anódica protege eficazmente el metal base contra la acción de numerosos medios agresivos.
- **Porosidad secundaria** o apertura más o menos acusada en la entrada de los poros debido al efecto de disolución del baño.

Es muy importante a la hora de seleccionar el material para un anodizado duro, verificar la pieza que se vaya a mecanizar y seleccionar la aleación también en función de sus características y resistencia mecánica.

## 2.2. Cromado

Mediante el procedimiento de cromado duro se recubren superficies metálicas normalmente de acero, bronce y aluminio.

El cromado es un electrodeposición, basado en la electrólisis, por medio del cual se deposita una fina capa de cromo metálico sobre objetos metálicos e incluso sobre material plástico. El recubrimiento electrolítico con cromo es extensivamente usado en la industria para proteger metales de la corrosión, mejorar su aspecto y sus prestaciones.

El llamado cromo duro son depósitos electrolíticos de espesores relativamente grandes (0.1mm) que se depositan en piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste. Se realizan este tipo de depósitos especialmente en asientos de válvulas, cojinetes cigüeñales ejes de pistones hidráulicos y en general en lugares donde se requiera bastante dureza y precisión.

El cromo brillante o decorativo son finas capas de cromo que se depositan sobre cobre, latón o níquel para mejorar el aspecto de algunos objetos. La grifería doméstica es un ejemplo de piezas cromadas para dar embellecimiento.

El cromo tiene poco poder de protección, menos aun si las capas que se depositan son tan delgadas como una micra. Por ello las superficies a cubrir deben estar bien pulidas,

brillantes y desengrasadas. El cromo se aplica bien sobre el cobre, el níquel y el acero, pero no sobre el zinc o la fundición.

### **Procedimiento de cromado**

En un baño electrolítico de cromo se disuelve ácido crómico en agua en una proporción de 300 gramos por litro y se añaden 2 gramos por litro de ácido sulfúrico. Se emplea como ánodo un electrodo de plomo o grafito. El plomo sirve como ánodo porque se forma una placa de óxido de plomo que es conductor pero que impide que se siga corroyendo por oxidación anódica. Al contrario que en otros baños como los del níquel, el cromo que se deposita en el cátodo procede del ácido crómico disuelto y no del ánodo, por lo que poco a poco se va empobreciendo en cromo la solución. Con el uso el cromo se va agotando y hay que reponerlo añadiendo más ácido crómico.

Las ventajas del cromado son:

- Resistencia al desgaste
- Resistencia al rayado
- La dureza
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia a altas temperaturas de trabajo, buena conductividad térmica y eléctrica

### **2.3 Metalizado**

El metalizado se realiza sobre superficies metálicas como el aluminio.

Se hace sumergiendo partes ferrosas, como herrajes, hojas, etc., en forma continua en baños de los metales previamente especificados, estos proporcionan una barrera para la corrosión, pero no dan protección contra el desgaste por trabajo o por sacrificio.

El metalizado es una forma de bajo costo de aplicar un revestimiento protector en piezas de metal, sumergiendo éstas dentro de ciertos metales fundidos, principalmente aluminio, zinc, estaño y plomo.

La metalización es un proceso que consiste en rociar un metal derretido en una superficie para formar sobre ésta una capa metálica. Por medio de él, se derrite el metal puro o la aleación en una llama o arco eléctrico y se atomiza en una corriente de aire comprimido. Como el metal derretido va acompañado de una corriente fuerte de aire, el objeto que está siendo rociado no se calienta excesivamente. La metalización es, pues, realmente una técnica de acumular metal " en frío".

El metalizado en el aluminio es un procedimiento utilizado para aumentar el tamaño o dimensiones de piezas metal mecánicas que han sido desgastadas por el uso, y darle la forma original.

### **Procedimiento de metalizado**

*Preparación de la superficie:* mediante sopleteado se eliminan de la superficie del metal todos los restos de óxido, pintura y otras sustancias presentes, proporcionándole a la superficie, además de limpieza, una rugosidad o perfil de anclaje que permite la adherencia apropiada del recubrimiento.

*Metalizado:* mediante el proceso de termo rociado o metalización se recubre la superficie a tratar con una capa metálica que puede ser de zinc, aluminio, aleación de zinc - aluminio y otros metales.

Las ventajas del metalizado:

- Resistencia a la corrosión
- Excelente resistencia a la abrasión
- No hay riesgo de deformación
- No hay alteraciones mecánicas
- No requiere tiempo de secado o curado



## **2.4 Cromatizado**

Se realiza mediante un tratamiento con soluciones acuosas que contienen iones hexavalentes de cromo aplicado para formar una capa protectora contra la corrosión, el tiempo y la forma de aplicación determina el comportamiento a la corrosión y a los agentes ambientales. El material es sumergido en una solución de ácido crómico con estabilizantes produciendo una oxidación controlada, y creando una capa inerte de óxidos de cromo y aluminio. Este proceso llamado también de conversión química o adherencia consigue una mayor penetración y estabilidad de las pinturas, brindando así protección del material.

### **Procedimiento del cromatizado**

1. Desengrase. Es la primera fase de limpieza y eliminación de suciedad y aceites.
2. Enjuague. Utilizando agua a temperatura ambiente se aclara el material, retirando los restos de suciedad y de solución que pudieran quedar de la anterior fase.
3. Decapado. Consiste en una 2ª fase de limpieza, sumergiendo el material en una solución de mayor poder, con el fin de retirar la suciedad más resistente al proceso y neutralizar restos de la fase anterior.
4. 2º Enjuague, igual que la fase anterior de enjuague.
5. Cromatizado. Se sumerge el material en un baño compuesto principalmente de cromo hexavalente, para obtener un revestimiento superficial de compuestos principalmente de cromo.
6. Lavado con agua desionizada (D.I). Una vez aplicado el cromatizado, con el fin de limpiar las superficies de los restos calcáreos de los lavados anteriores, se sumerge en un baño de agua desionizada.

Este último tratamiento es uno de los más utilizados en la actualidad, ya que aporta un buen acabado en el material y una buena adherencia para la pintura y otros recubrimientos, es un proceso muy completo y de cierta forma complejo, que tiene que cumplir con ciertos estándares de calidad y otras reglamentaciones, es muy utilizado en la industria de la arquitectura y es por ello que se enfocara el presente trabajo a su desarrollo y análisis.

## **CAPITULO 3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CROMATIZADO EN ALUMINIO**

Desde el origen de la civilización la humanidad ha ambicionado poseer el brillo de ciertos metales. La práctica ciertamente es de origen antiguo: en Asia, Egipto, Grecia, Roma y durante el Renacimiento se utilizó el arte de dorar recubriendo con una delgada capa de oro real o artificial para embellecer superficies de madera, metal, marfil, cuero, papel, porcelana y tejidos además de elementos decorativos, cúpulas y bóvedas de edificios.

De la misma forma, los romanos soldaron superficies de plata a metales más comunes para disponer de espejos y en el siglo V las armas de hierro se sumergían en una solución de cobre para recubrirlas y evitar su oxidación.

### **3.1 Iniciación del cromatizado en diversos países**

En el siglo XVIII el enchapado de cobre o latón recubiertos con plata se inició en Sheffield debido a una casualidad. En 1742, el cuchillero Thomas Boulsover encontró el procedimiento mientras reparaba trabajos realizados en plata. Usó el descubrimiento para la fabricación de hebillas y botones, pero su aprendiz Joseph Hancock amplió su utilización en el menaje (muebles y utensilios de la casa), la cubertería y otros artículos domésticos. Hasta 1765 se chapaban las piezas tan sólo por una cara, pero a partir de esta fecha y mediante soldadura se logró chapar por ambas caras.<sup>[14]</sup>

En 1835, la plata alemana, una aleación de níquel, zinc y cobre, comenzó a usarse prolíficamente. A partir de 1840 el sistema de Sheffield fue abandonado y reemplazado por el método de galvanoplastia más barato, el proceso de níquel, para la fabricación de menaje y cubertería.

El metal más fácil de usar era el cobre debido a su calidad decorativa, disponibilidad, protección y a que puede pulirse para conseguir un alto brillo. El problema es que se empaña rápidamente con la atmósfera por lo que requiere ser barnizado o ser objeto de un mantenimiento continuo. Con la llegada de las máquinas y el uso intensivo del acero hubo que buscar un procedimiento válido para protegerlos. Por ello, y con el fin de solucionar los anteriores problemas se optó por recubrir el cobre con una capa de níquel.

En sus primeros tiempos los recubrimientos de níquel eran mates, un metal de color gris que no reflejaba la luz y su problema era que las huellas de los dedos quedaban marcadas, por lo que era normal protegerlo con una delgada capa de aceite. Más tarde surgió "Polished Dull Nickel" que no era otra cosa que el níquel mate pulido, un metal blanco lustroso con cierto tinte amarillo que puede pulirse hasta conseguir un alto brillo y cuya resistencia al empañamiento es mayor. Estos recubrimientos son los utilizados en las máquinas y vehículos hasta aproximadamente 1930, cuando fueron sustituidos por el recubrimiento de cromo. <sup>[14]</sup>

Hacia esta fecha, y coincidiendo con el movimiento "Art-Decó" iniciado en 1925, el uso de superficies cromatizadas se generalizó, con varios arquitectos empleando principalmente en muebles. Entonces, y queriendo estar a la vanguardia de la moda y la técnica, la industria británica adoptó el cromo como revestimiento de protección y embellecimiento. Se le llamó "Bright Chrome", cromo luminoso, y dado que su mantenimiento era bajo, no se empañaba por los agentes atmosféricos y su brillo era superior, logró desplazar al níquel.

Desde que el cromatizado fue aplicado por primera vez en España, ha pasado por diversas alternativas. A la aparición y divulgación en España de los trabajos iniciales de cromatizado, realizados con el cuidado con que deben ser aplicados esta clase de procedimientos cuando no se contaba con experiencia suficiente para manejar la importancia de todos y de cada uno de los factores que intervienen en su desarrollo, siguió un ambiente de entusiasmo a cuyo calor se intentaron muchas veces aplicaciones disparatadas, mientras que, por otra parte, se restaba importancia a la técnica operatoria, dándosele en cambio al volumen, valor o aspecto del material. Sin embargo, algunos acertaron en la aplicación, lo que demostró una vez más las excelencias del procedimiento. Pero muchos, como era de temer, fracasaron pero en el año 1946, se publicaron en la revista de Metalurgia y Electricidad, una serie de artículos que fueron el punto de partida de restauración del procedimiento en sus correctas proporciones. Fue justamente a partir de aquella época cuando muchos ingenieros, técnicos, e industriales empezaron a interesarse por el cromatizado desde puntos de vista más ponderados y buscando en el nuevo procedimiento un colaborador eficaz para mejorar las condiciones físicas, químicas, o mecánicas de sus materiales, máquinas o aparatos.

### **3.2 Iniciación del cromatizado en México**

Desde entonces en España se montan muchas instalaciones que trabajan con el máximo de sus posibilidades y en condiciones económicas interesantes, especialmente las que se dedican al trabajo por cuenta de otros industriales, pues el cromatizado es uno de los procedimientos que más se prestan a concentrar el trabajo en una zona, región o grupo de industrias en pocas aunque bien equipadas instalaciones.

Es así como surgen varias empresas dedicadas o mejorar cada día más esta tecnología y expandiéndola por todo el mundo incluyendo México prueba de ello son:

\* ALODINE que se registró originalmente como marca para la formación de capas de conversión sobre el aluminio en 1945 por Amchem Products Inc., y Henkel la adquirió en 1987 reforzando así sus soluciones en el pretratamiento de metales. Con esta adquisición, Henkel consolidó su posición de liderazgo en los pretratamientos de aleaciones ligeras gracias a la continua inversión en Investigación y Desarrollo durante los años sucesivos. <sup>[16]</sup>

\*ALSAN (Alvarez Schaer S.A.) empresa española dedicada a la venta de tecnología y productos químicos para el tratamiento de la superficie del aluminio.

\*AKIM de México, S.A. de C.V. fue fundada originalmente bajo el nombre de Oakite-Ferro en el año de 1968.

En el año de 1982 la dación de productos químicos fue comprada en su totalidad por inversionistas mexicanos con el nombre de Oakite Mexicana, S.A. de C.V. y con la licencia de Oakite Products, para 1995 se cambia a Akim de México, S.A de C.V.

## **CAPITULO 4 PROCESO DE CROMATIZADO EN ALUMINIO**

Como ya se menciona anteriormente cuando el aluminio se expone al aire, se forma una superficie de óxido que protege el metal en muchos ambientes. Desafortunadamente, el óxido natural no es uniforme y puede ocurrir una corrosión localizada.

Una de las formas de mejorar la resistencia a la corrosión del aluminio, es tratar la superficie químicamente para hacerla más pasiva. El pre-tratamiento o capas de conversión producen una reacción en la superficie, convirtiendo el óxido en una película relativamente inerte que proporciona una buena adhesión para la pintura y mejora la resistencia contra la corrosión.

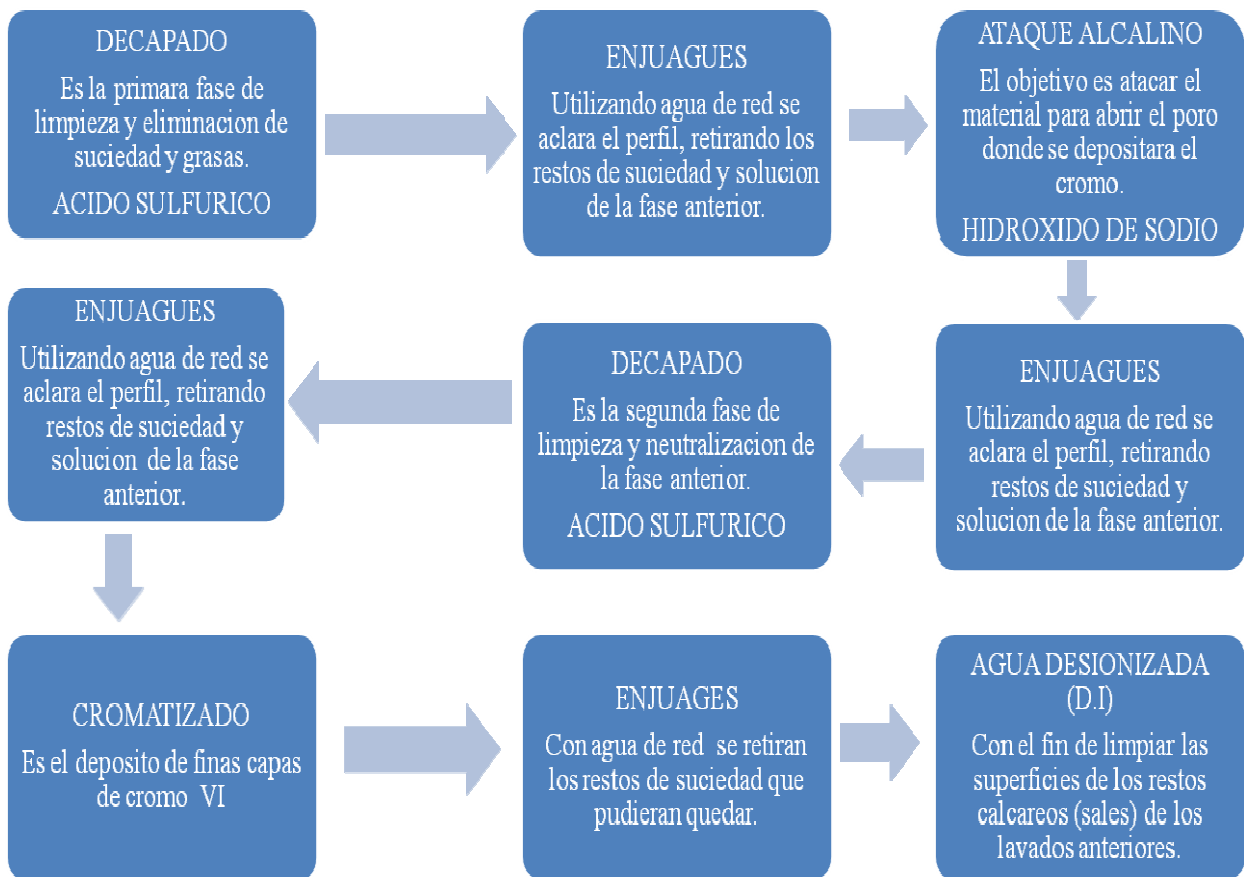
El proceso de pre-tratamiento es seguido de conformidad con la norma DIN en ISO 3892 o DIN 50939 con el apoyo de la última edición actual de las Normas de Calidad Internacionales GSB y cualquier otra alternativa de pre-tratamiento de los métodos aprobados en el mismo.

El pre-tratamiento que se elige para evitar la corrosión dependerá del uso final que se le dé al aluminio; en este caso se hace referencia a perfiles de aluminio arquitectónico utilizados en la construcción, decoración, puertas, ventanas entre otros. Las pinturas anticorrosivas son uno de los métodos más comunes de protección metálica debido a su fácil aplicación, bajo costo, efectividad, etc. Estos recubrimientos se utilizan para combatir la corrosión bajo diferentes condiciones: exposición atmosférica, estructuras enterradas, estructuras en inmersión, entre otras. La formulación de recubrimientos orgánicos con pigmentos anticorrosivos en su composición, permite otorgar una protección activa al sustrato metálico, además de la protección barrera al paso de agua, oxígeno e iones. Tradicionalmente, se han utilizado los cromatos como pigmentos anticorrosivos indiscutibles, debido a que han mostrado una adecuada solubilidad y una alta eficacia de inhibición sobre diferentes sustratos metálicos (pasivables y no pasivables) y bajo diversos ambientes agresivos, a este recubrimiento se le conoce como, cromatizado.

Este proceso consiste en un recubrimiento metálico que consta de diferentes etapas de preparación de la superficie del aluminio que generan una conversión química y forman una película completa sobre la superficie de la pieza cambiando la naturaleza física y

química de la superficie del metal, convirtiéndola en una superficie inerte y uniforme, neutralizando y sellando la pieza a tratar, mejorando la adherencia, minimiza la oxidación, y mejora la resistencia a la corrosión general de la pieza final. En dicho proceso se pretende depositar sobre el aluminio una capa de sal de cromo, la cual va unida químicamente al aluminio, su color va de amarillo claro a dorado. El diagrama 4.1 muestra el proceso de cromatizado.

#### 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CROMATIZADO EN ALUMINIO



## **4.2 Descripción de las diferentes etapas del proceso**

Para asegurar una correcta deposición de la capa de conversión de cromo sobre el aluminio es necesario una limpieza previa y la eliminación de la capa de óxido de aluminio natural. Para llevar a cabo el proceso de preparación de la superficie se suele emplear un proceso de desengrase-ataque en medio ácido o alcalino. Normalmente se emplean baños con aditivos fluorados en medio ácido, con sustancias tensoactivas e inhibidores de corrosión, es la preparación más habitual en las plantas de lacado del aluminio.

A continuación se describe el proceso de cromatizado de aluminio más común que se utiliza dentro de la industria de galvanoplastia.

### **4.2.1 Preparación de la superficie en medio ácido (decapado)**

La fundición, laminación, extrusión, refinación y estiraje del aluminio, hace que las piezas a pretratar estén cubiertas de óxido, cascarilla y grasas que se tienen que limpiar, para esto se emplean sistemas químicos como el ácido. Dado su bajo costo el decapado con ácidos es el más utilizado en la industria, siendo los más comunes los ácidos sulfúricos, clorhídricos y fosfóricos. Siendo de estos el más común en la industria, el decapado con ácido sulfúrico, siendo su bajo costo el factor más importante en ese aspecto.

Su objetivo principal es por medio de la inmersión al baño, remover las impurezas que traiga el perfil de aluminio, limpiar la superficie de este y es un ataque ácido al metal (ver figura 4.1).



**Figura 4.1 Carga de perfiles de aluminio listos para entrar a la fase de decapado.**



#### 4.2.2 Preparación de la superficie en medio alcalino (sosa)

Se suelen emplear baños formulados con sosa cáustica, adicionalmente se emplean estabilizadores que evitan la precipitación del baño y agentes tensoactivos.

Si no se emplea una etapa previa de decapado con ligero ataque, la sosa suele dar lugar a ataques poco uniformes, especialmente si no se trabaja con temperaturas y concentraciones de aluminio disuelto en el baño adecuadas, que afectan no sólo al aspecto del material sino lacar sino también puede crear gradientes en la superficie de grano del material que conducen a puntos de inicio del proceso de corrosión.

El objetivo principal de este baño es provocar un pequeño poro (picando el metal) en el cual se depositara el cristal de cromo, eliminar grasa, grafito u otro contaminante. Se sumerge la carga en un medio alcalino a saber hidróxido de sodio principalmente, más algunos aditivos, estos aditivos tienen que tener dos efectos. Por un lado, un efecto antipiedra, manteniendo el aluminio en disolución, y por otro, un inhibidor de ataque, para que éste se mantenga en una línea estable sin ningún problema (ver figuras 4.2 y 4.3).



**Figura 4.2** Tina o baño de sosa.



**Figura 4.3** Carga saliendo de  
baño de sosa.

### 4.2.3 Neutralización (2° decapado)

En caso de no realizarse el correcto neutralizado de la superficie, la capa puede no deponerse adecuadamente. Para la etapa de neutralizado se suele emplear los productos equivalentes a los empleados en la preparación directa por medio ácido. En ocasiones se puede emplear el mismo baño formulado con ácido sulfúrico (ver figura 4.4). Sin embargo, el sulfúrico presenta una tasa de ataque al aluminio extremadamente baja, por esta razón se precisan concentraciones muy altas para un buen neutralizado. Las elevadas concentraciones del baño de sulfúrico provocan una alta contaminación de los enjuagues posteriores, pudiendo llegar a contaminar el baño de cromatizado.

Por tales razones es indispensable neutralizar los residuos de sosa, enjuagar bien y escurrir el material.



**Figura 4.4 Tina de 2° decapado utilizada como neutralizado.**

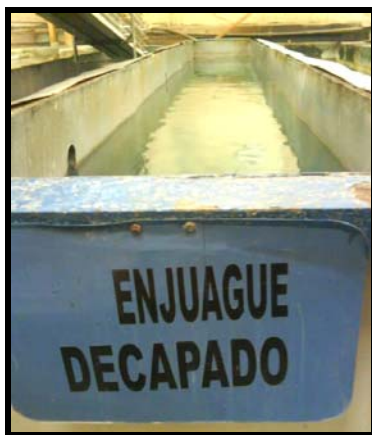
### 4.2.4 Enjuagues previos

Son enjuagues comúnmente de agua de red que retira los restos de suciedad y de solución que pudieran quedar de la anterior fase (ver figuras 4.5 y 4.6). Para evitar la contaminación del baño de cromatizado, es conveniente que la línea de pretratamiento presente un sistema de enjuagues adecuados que garantice que no existan arrastres de contaminantes al baño de cromo. Normalmente en una planta de lacado de aluminio

extrusionado existen dos contaminantes potenciales para un baño de cromatizado que deben ser tenidos en cuenta:

1. *Sulfatos*: el arrastre de sulfatos puede ser recurrente en ciertas instalaciones de pre-tratamiento. Los sulfatos en el baño de cromatizado favorecen la reducción de Cr (VI) a Cr (III) y disminuye la formación de capa de conversión. Es decir, el baño deposita menos capa, envejece más rápidamente. Además el arrastre de sulfatos suele llevar implícito un enjuague anterior con pH excesivamente bajo, ya que la principal fuente de contaminación de sulfatos es el ácido sulfúrico. Un enjuague anterior excesivamente ácido puede dar lugar a la formación de capas polvosas. En este sentido se recomienda que el enjuague anterior al cromatizado tenga un pH lo más neutro posible y siempre por encima de pH 4.

2. *Calcio y Magnesio*: estos contaminantes provienen normalmente del agua de red empleada, cuando no sea posible el empleo de agua desmineralizada se recomienda el empleo de agua de red poco dura. El calcio y el magnesio actúan de acomplejantes de fluoruros necesarios para la deposición de la capa. Por tanto la contaminación con calcio y magnesio provoca que los baños de cromatizado pierdan actividad.



**Figura 4.5**

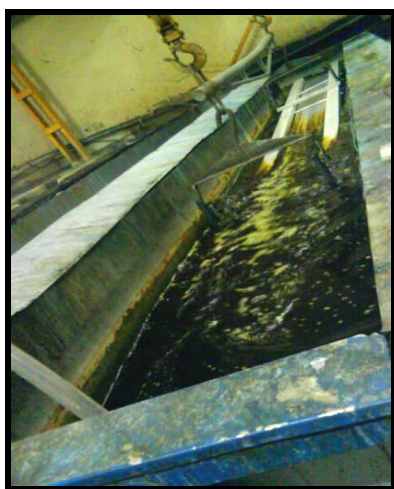


**Figura 4.6**

**Figuras 4.5 y 4.6 Tinas de enjuagues previos al cromatizado.**

#### 4.2.5 Cromatizado

Una vez limpia y preparada la superficie del material, la carga se introduce en la solución de cromo para depositar los cristales sobre toda la superficie hasta obtener una coloración dorada que indica un buen depósito de estos cristales, mismos que se fijaran más a la superficie en el horno de secado. Los baños de cromatizado suelen incluir una base que incluyen entre otras sustancias Cr (VI), así como fluoruros y reguladores de pH. Adicionalmente se suele emplear un aditivo acelerador de capa. Para asegurar una buena adherencia y resistencia a la corrosión del aluminio lacado la capa de conversión obtenida debe tener un espesor de entre 0.6-1.2 g/m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que el aspecto físico del perfil de aluminio debe ser amarillo-dorado cubriendo todo el perfil y de una manera uniforme, aunque la coloración no siempre es indicio de un depósito adecuado, para esto se tienen que realizar pruebas de depósito de cromo que se mencionan más adelante (ver figuras 4.7, 4.8 y 4.9)



**Figura 4.7 Carga de perfiles de aluminio a la entrada del baño de cromatizado.**



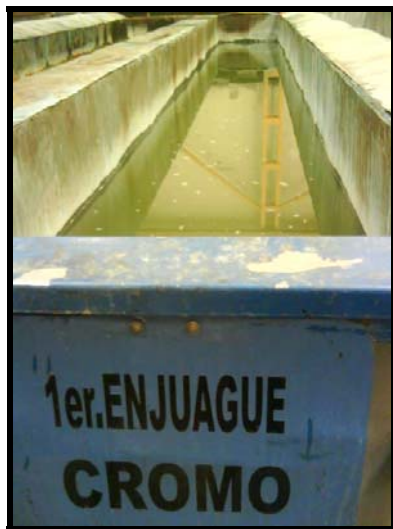
**Figura 4.8 Carga de perfiles a la salida del baño de cromatizado.**



**Figura 4.9 Carga de perfiles de aluminio despues del baño cromo se aprecia el color dorado caracteristico del cromatizado.**

#### **4.2.6 Enjuagues posteriores.**

Son enjuagues de agua de red poco dura que retiran los restos de suciedad y de solución que pudieran quedar de la anterior fase, en las líneas de pre tratamiento debe haber mínimo 2 enjuagues posteriores al baño de cromo necesarios para la limpieza adecuada de los perfiles de aluminio. (Ver figuras 4.10 y 4.11)



**Figura 4.10 Tina de enjuague posteriores al cromatizado.**



**Figura 4.11 Carga de perfiles en la tina de enjuague.**

#### 4.2.7 Enjuague con agua desionizada

El último enjuague obligatorio es con agua desionizada (D.I) que debe tener una conductividad no mayor a  $30\mu\text{S}/\text{cm}$ . Si la capa de cromatizado llevará residuos de cal de un agua de mala calidad daría lugar a la pérdida de sus propiedades adherentes y anticorrosivas. Además hay que tener en cuenta que un enjuague posterior al baño de cromatizado demasiado ácido, puede redissolver la capa de cromo y por tanto dar lugar a capas pulverulentas fácilmente eliminables con la mano. Se recomienda un enjuague posterior al cromatizado de pH superior a 3.5-4 (ver figuras 4.12 y 4.13).



**Figura 4.12** Tina de enjuague de agua desionizada.



**Figura 4.13** Carga de perfiles en la tina de agua desionizada.

#### 4.2.8. Secado

El Secado de la capa debe realizarse a una temperatura máxima en el metal de 70°C. Al aumentar la temperatura de secado, se produce una reestructuración por pérdida de agua de hidratación dando lugar a una estructura cristalina distinta, y por ello puede producirse una pérdida de eficiencia frente a la corrosión (ver figuras 4.14 y 4.15).



**Figura 4.14 Carga dentro del horno de secado.**



**Figura 4.15 Carga terminada fuera del horno de secado.**

## **CAPITULO 5 CONTROL DEL PROCESO DE CROMATIZADO**

Para asegurar el buen funcionamiento de los baños y enjuagues es necesario realizar inspecciones de control de cada uno de éstos que aseguren su buen funcionamiento, es muy importante tener en cuenta la concentración y el tiempo de vida de cada uno de los baños y enjuagues, estar al pendiente de su correcto cambio y limpieza cuando así se requiera y de recargar los baños para mantener concentraciones adecuadas para su óptima utilización.

### **5.1 Control de la concentración de baños**

Para obtener una buena capa de depositación de cromo es importante controlar el proceso de conversión química, esto implica controlar las concentraciones de los baños o etapas del proceso de cromatizado, es importante contar con un laboratorio de análisis con personal profesional y capacitado en conocimientos en análisis químicos cualitativos y cuantitativos que avale los análisis de concentración, tiempos de inmersión y vida de los baños los cuales se describen a continuación.

#### ***Baño de decapado***

Si bien se mencionó en el capítulo anterior es un decapado ácido normalmente con ácido sulfúrico el cual se utiliza en muy distintas concentraciones que se puede estimar entre el 5% - 20% Volumen. La concentración se determina mediante una titulación de neutralización ácido-base, la muestra es tomada y disuelta en agua DI y es titulada con hidróxido de sodio hasta su neutralización indicada por la coloración de un indicador en este caso del naranja de metilo.

El objetivo principal al determinar la concentración del baño de decapado (ácido sulfúrico) es mantenerlo en condiciones óptimas de operación, para realizar una buena limpieza del perfil de aluminio.

#### ***Baño de sosa***

En los ataques alcalinos, la materia prima empleada es Hidróxido Sodio, con concentraciones variantes de 8-20g/L. La concentración se determina mediante una titulación de neutralización ácido-base, la muestra es tomada y disuelta en agua DI y es



titulada con ácido sulfúrico hasta su neutralización indicada por la coloración de un indicador para esta caso la fenolftaleína.

A estas concentraciones el ataque alcalino al perfil de aluminio es lo suficientemente fuerte como para dejar los poros abiertos y de esta manera tener una buena adherencia del cromo (VI).

### ***Baño de cromo***

Para obtener una buena capa de conversión de cromo hexavalente es indispensable tener el baño de cromo en óptimas condiciones de trabajo esto implica ir controlando la concentración del baño de cromatizado desde su inicio y desgaste por uso. Normalmente las concentraciones varían de 8–10 g/L en baño nuevo y de 15-20 g/L en baño ya gastado o usado, para esto es importante también determinar las concentraciones de cromo trivalente y hexavalente conforme se valla usando el baño de cromatizado. La concentración se determina mediante una titulación de oxido reducción, la muestra es tomada y disuelta en agua DI, ácido sulfúrico y yoduro de potasio y es titulada con tiosulfato de sodio terminando la titulación indicada por la coloración de un indicador para esta caso el almidón.

Cuando se trabaja el baño de cromatizado a estas condiciones se obtienen buenas capas de conversión muy bien adheridas a la superficie del perfil del aluminio.

### **5.2 Control de conductividad de enjuagues**

Para tener una buena limpieza y aclarado de los perfiles de aluminio después de haberlos sumergido en cada etapa del pretratamiento es necesario darles un buen enjuague, para esto es importante mantener los baños de enjuague en buenas condiciones de limpieza. La forma más usual es midiendo la conductividad del agua en los baños de enjuague. La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica debido a los iones presentes en ella, la conductividad se utiliza para determinar la concentración de los iones o cantidad total de sales presentes en el agua. La conductividad puede ser utilizada como un indicador de la cantidad de materias disueltas en una disolución. La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una

magnitud de 10 elevado a -6, es decir micro Siemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ), o en 10 elevado a -3, es decir, mili Siemens ( $\text{mS/cm}$ ).

### ***Enjuagues para ácido y sosa.***

Los primeros baños de enjuagues son los de decapado y sosa en ellos se utiliza agua de red; esta debe de estar por debajo de los  $4000\mu\text{S/cm}$ . Cuando este baño de enjuague rebase el límite permitido debe ser sometido a un proceso de depuración ya que lo que se pretende con estos baños de enjuague es un lavado con agua de red para evitar cualquier posible arrastre de impurezas en la superficie del metal.

### ***Enjuagues para cromo***

Los baños de enjuagues consecutivos al cromatizado deben de estar por debajo de los  $2000\mu\text{S/cm}$ . Cuando estos baños de enjuague rebasen el límite permitido deben ser sometidos a un proceso de depuración para evitar cualquier posible arrastre de impurezas en la superficie del metal al último enjuague.

### ***Enjuague final agua des ionizada***

Este baño de enjuague es muy importante, la conductividad debe ser inferior a  $30\mu\text{S/cm}$  cuando se supere dicho valor se procede a la regeneración del baño de este enjuague.

La última etapa de pretratamiento, se basa en un último enjuague, con una conductividad no superior a los  $30\mu\text{S/cm}$ , Es importante salvaguardar esta cifra, para evitar la deposición de impurezas entre la capa de conversión y la pintura, impurezas que puedan desfavorecer la adherencia de la pintura o que pueden reaccionar como una pila en contacto con la humedad ambiental (recordemos que la pintura es micro porosa) provocando corrosiones no deseadas (ejemplo corrosión filiforme). Después de este lavado, es importante secar la capa de conversión entre  $60^\circ$  y  $70^\circ\text{C}$ .

## **5.3 Renovación de la composición de los baños**

Mantener los baños en óptimas condiciones es esencial ya que, de esto en mucho dependerá un óptimo proceso de cromatizado.

La renovación o cambios de cada baño se deben determinar de acuerdo a parámetros fijados en concentraciones para su depuración. Una vez que los baños estén cerca de llegar a los límites máximos fijados para su desecho se debe de proceder a cambiar el baño, ya que estos cambios implican descargas de aguas procedentes de un proceso industrial y aunque lleven un pretratamiento previo a su descarga deben de cumplir límites que están normados por las autoridades municipales correspondientes para las descargas de aguas residuales vigentes para cada país.

### ***Baño de sosa***

Si bien, es un ataque alcalino al aluminio por lo que se tiene en solución aluminatos principalmente, comúnmente llamados “lodos de aluminio” o simplemente “lodos”, estos lodos tienen un límite máximo de concentración antes de ser depurados, principalmente ensucian este baño de sosa y en medida que aumenta la cantidad de lodos se hace más desgastante el baño de sosa aunado a esto se debe de tener en cuenta la descarga al drenaje de estas aguas. Por lo que la concentración máxima de lodos contenidos en el baño es de 8-10 g/L normalmente una vez alcanzado este parámetro se procese a la depuración y renovación del baño.

### ***Baño de decapado***

Si bien, aunque es un baño compuesto de ácido sulfúrico, la determinación de renovar el baño depende de los perfiles que hayan sido introducidos a este baño ya que, hay perfiles que llegan con mucha suciedad y grasas por lo cual el baño se ensucia y degrada demasiado pronto y hay perfiles que traen ligera suciedad y por lo tanto el baño puede durar un poco más de tiempo, por lo que la determinación de renovación de baño viene dada por la verificación de la cantidad de suciedades que presente el baño.

### ***Baño de cromo***

Este baño requiere de un cuidado en especial ya que para su cambio o renovación implica que la cantidad de cromo hexavalente ya no sea la suficiente como para lograr altos depósitos de la capa de conversión requerida en el proceso, al usarse el cromo hexavalente se va degradando en cromo trivalente. Por lo que se tienen que verificar las concentraciones

de cromo total existentes en el baño y de este determinar la cantidad de cromo hexavalente y cromo trivalente. Con el uso el cromo trivalente aumenta y el cromo hexavalente disminuye por lo que es muy importante determinar a tiempo, lo más recomendable semanalmente, que el cromo hexavalente sea mayor al menos en un 30% al contenido de cromo trivalente, llegando a este porcentaje el baño para cromatizado se tendrá que depurar y renovar. Dado que el cromo hexavalente es toxico para el medio ambiente, en el capítulo 9 se describe el proceso para su correcta depuración.

El cambio de los baños para el proceso de cromatizado, generan lodos como ya se menciono llamados “lodos de proceso” principalmente provenientes de los baños de sosa y cromo los cuales tienen que confinarse, hablando de ello en el capítulo 9.

## **CAPITULO 6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DEPOSICIÓN DE LA CAPA DE CROMO EN ALUMINIO**

Para lograr un buen proceso que se ve reflejado en la capa de conversión de cromo es importante que cada etapa del cromatizado cumpla con algunas variantes y así lograr un buen cromatizado en los perfiles de aluminio.

Estos factores que influyen en la deposición de la capa de cromo en los perfiles de aluminio son: concentración, tiempo de inmersión, temperatura y pH, principalmente.

### **6.1 Concentración**

Es de suma importancia que la concentración de cada baño para el proceso de cromatizado se encuentren siempre dentro de los parámetros establecidos ya que solo así se asegurara de una manera más confiable que cada baño cumpla su función.

*Concentración del baño de decapado:* se debe de trabajar dentro de los parámetros establecidos en concentración, ya que si no es así y está por debajo la concentración de ácido sulfúrico, el perfil de aluminio no tendrá una limpieza adecuada y quedaran restos de suciedad que afectaran a las siguientes etapas del proceso de cromatizado.

*Concentración del baño de sosa:* si no está dentro del parámetro de concentración establecido es poco probable que se cumpla con el objetivo de atacar el material de una manera estable, ya que si la concentración está por debajo del límite establecido no se alcanzará a atacar el aluminio y no llegara a existir un buen anclaje entre este y el cromo; y por lo contrario si la concentración esta por arriba del parámetro establecido puede que el ataque sea muy agresivo y se llegue a dañar de manera significativa el perfil de aluminio creándole poros muy grandes.

*Concentración del baño de cromo:* es de suma importancia trabajar dentro de los parámetros establecidos para el cromo ya que se manejan concentraciones que van desde un baño nuevo hasta en baño ya gastado, por lo que se requiere que las concentraciones de cromo siempre estén bien determinadas ya que si se trabaja con concentraciones por debajo de lo especificado no se lograra una buena capa de conversión de cromo; y por lo contrario si se manejan concentraciones por arriba de lo indicado puede que existan falsos anclajes

entre el aluminio y el cromo, lo que se le conoce como “falso depósito” ya que estas capas serán excesivas y por lo general tienden a hacerse polvosas y caerse.

**Conductividad en enjuagues:** es muy importante mantener cada baño dentro del parámetro especificado de conductividad, de esto depende que el perfil de aluminio después de cada etapa tenga una excelente limpieza, si se deja que la conductividad incremente por arriba de lo especificado, el perfil no se limpiara bien y aunado a esto los arrastres que existen de un baño a otro provocara contaminación a las siguientes etapas.

El enjuague de agua D.I es de suma importancia mantenerlo en las mejores condiciones posibles ya que si se incrementa la conductividad no limpiara de manera adecuada el perfil dejando restos de suciedades de los enjugues anteriores, lo que perjudicara el proceso posterior al cromatizado.

## **6.2 Tiempo de inmersión**

El tiempo es un factor de mucho interés en todas las etapas del proceso de cromatizado del aluminio, ya que de este depende en mucho la buena adherencia o una buena capa de conversión de cromo. Si en cada etapa se cumple con los parámetros de operación óptima el resultado final de cromatizado será muy bueno.

**Tiempo en el decapado inicial:** aunado a la concentración, el tiempo promedio que se estima al decapado inicial para remover las impurezas del perfil de aluminio es de 5–10 minutos con este tiempo es más que suficiente para lograr una superficie del perfil de aluminio libre de impurezas. Si no se da el tiempo necesario para limpiar la superficie de aluminio quedan impurezas que contaminan los baños posteriores al decapado.

**Tiempo en la sosa:** de igual forma el tiempo es un factor clave para lograr un buen ataque al perfil de aluminio, ya que de este dependerá que se logre el ataque mínimo requerido de  $2\text{g/m}^2$ , y por lo tanto se obtenga una buena adhesión de los cristales de cromo en el perfil de aluminio en los poros que se abrieron en esta etapa, el tiempo suficiente para lograr este ataque es de 3 minutos de inmersión en la sosa, si se aumentara el tiempo de inmersión se lleva un ataque mayor el cual no afectara al perfil al menos hasta los  $5\text{g/m}^2$ , después de esto comienza a existir un macro ataque devastando la superficie del aluminio, por eso es

importante mantener el factor tiempo dentro de un rango donde no se exceda el ataque al aluminio.

**Tiempo en el cromo:** sin duda en esta etapa del proceso el tiempo es un factor determinante ya que es el acabado final, el tiempo va muy aunado a la concentración pues como ya se menciono el tiempo no es el mismo para concentraciones de un baño nuevo que para concentraciones para un baño gastado por lo tanto, el tiempo de inmersión en el baño de cromo dependerá de que tan buena sea la depositación del cromo sobre el perfil de aluminio, si bien se busca cumplir con cierto parámetro de  $0.6\text{--}1.2\text{ g/m}^2$ , es importante por lo tanto, que el tiempo que se le dé en el baño de cromo sea el adecuado para lograr este depósito de cromo sobre el perfil de aluminio y de esta manera obtener un buen acabado superficial; los tiempos promedios para lograr estos depósitos van desde los 30 a 180 segundos en baños nuevos y dependiendo el desgaste se incrementan los tiempos desde los 3 a 7 minutos en baños más gastados, obteniendo depósitos de la capa de cromo dentro de su parámetro establecido.

**Tiempo en los enjuagues:** son determinantes los tiempos de inmersión para cada uno de los enjuagues de cada etapa de este proceso ya que de ello dependerá de la buena limpieza de los perfiles de aluminio después de cada etapa, si se hace de la manera correcta y dedicando un buen tiempo a cada enjuague y escurrido se lograra minimizar los residuos de la etapa anterior y de igual manera se evitan arrastres que contaminan las siguientes etapas, el tiempo de enjuague es de 2 minutos procurando agitar las canastillas que contienen el material y de escurrido de 1-3 minutos dependiendo el tipo de material, ya que hay diferentes tipos de perfiles y unos guardan más agua que otros. En el caso del último enjuague con agua D.I es indispensable que se realice de la mejor manera ya que se pretende con este enjuague que el aluminio esté libre de cualquier impureza.

### **6.3 Temperatura**

La temperatura es otro factor determinante en el proceso de cromatizado para el aluminio la mayoría de las veces se utiliza temperaturas elevadas para acelerar el tiempo de reacción en las diferentes etapas del proceso. La decisión sobre si se debe emplear temperaturas

elevadas dependerá en sí, de varios aspectos como: económicos, productivos, contaminantes atmosféricos, entre otros.

***Temperatura en el baño de decapado:*** para acelerar la acción que tiene el ácido sulfúrico en el perfil de aluminio se busca aumentar la temperatura de 40 a 50°C, aumentando así, la rapidez de limpieza del aluminio, pero también se aumenta considerablemente el consumo del baño debido a que con temperaturas elevadas se evapora más rápido el baño de decapado.

***Temperatura en el baño de sosa:*** con una temperatura de 40°C, se obtienen ataques situados entre los parámetros establecidos, sin ningún problema. Pero también se aumentan las emanaciones a la atmósfera.

***Temperatura en el baño de cromo:*** la temperatura del cromo se llega a elevar de 30 a 50°C para efectos de aceleración de la deposición de la capa conversión de cromo, aunque normalmente suele ser a temperatura ambiente por la toxicidad del cromo.

***Temperatura en enjuagues:*** la temperatura de cada uno de los baños para cada etapa es a temperatura ambiente pues la temperatura de los enjuagues no es un factor que afecte de manera significativa al proceso.

En la industria el empleo de temperaturas elevadas se determina principalmente por la carga de trabajo y del diseño de la línea de pretratamiento, es decir si la carga de trabajo no es tan activa se puede trabajar cada etapa del proceso a temperatura ambiente sin ningún problema, pero si se cuenta con líneas de trabajo muy grandes y con mucha demanda en producto final entonces, es conveniente elevar la temperatura y así acelerar el proceso. Otro factor que influye en la decisión de trabajar con temperaturas elevadas es el costo, ya que a temperaturas elevadas los consumos de cada baño aumentan considerablemente y también aumentan las emanaciones a la atmósfera.

## **6.4 pH**

El pH es un factor importante que puede llegar a afectar la buena adhesión de la capa de cromo sobre los perfiles de aluminio, principalmente en la última etapa del proceso, el cromatizado.



***El pH en el baño de decapado:*** es un decapado normalmente de ácido sulfúrico, por lo tanto debe de estar situado entre un rango 1-3 en pH, para obtener una buena limpieza de los perfiles de aluminio, por el uso y si se ocasionan arrastres de los enjuagues o de las otras etapas, el baño de decapado se contamina y puede llegar a variar el pH, disminuyendo la eficiencia del baño.

***El pH en el baño de sosa:*** este es un ataque alcalino compuesto principalmente de hidróxido de sodio por lo tanto el pH del baño se localiza dentro del rango de 13-14 en pH, este es un baño que difícilmente varía su pH.

***El pH en el baño de cromo:*** este baño es el principal por lo tanto se tiene que verificar con más atención el pH de trabajo, en esta etapa es muy importante mantener el rango de operación de 1.8-2 en pH, ya que es en este rango donde se manifiesta la deposición de la capa de cromo en el aluminio, sin ninguna dificultad, de igual forma por el uso y demás arrastres de las etapas anteriores el pH puede llegar a variar por lo tanto es indispensable determinar el pH constantemente y mantenerlo dentro del rango de operación, si sube el pH se puede bajar con ácido nítrico y si baja el pH se puede subir con hidróxido de amonio.

***El pH en los enjuagues:*** el pH de los enjuagues no es tan necesario determinarlos o mantenerlos en un rango, lo más importante es mantenerlos limpios.

Por lo tanto el tener un buen control de cada uno de estos factores: concentración, tiempos de inmersión en baños y enjuagues, temperatura y pH es de vital importancia ya que de esto depende la buena adherencia de la capa de conversión de cromo en los perfiles de aluminio y por consecuencia una buena calidad de película.

## CAPITULO 7 DETERMINACIÓN DEL DEPÓSITO DE CROMO EN EL ALUMINIO

Es muy importante determinar el depósito de la capa de conversión de cromo ya que esto da evidencia de si se está llevando a cabo el proceso adecuado sobre el material de aluminio, si se logra la capa adecuada de conversión de cromo se evitara la corrosión.

Existen métodos analíticos normados que se deben de llevar a cabo en este tipo de industrias de cromatizados, como ya se mencionó antes el depósito de una buena capa de cromo es determinante para un buen resultado anticorrosivo por ello es necesario determinar el depósito de la capa de conversión de cromo diariamente ya que según las condiciones de tratamiento, la textura superficial y el tipo de aleación de los perfiles tratados, se forman capas de diferentes espesores.

Los métodos más comunes son en inmersión en soluciones que disuelvan la capa de cromo depositado como se muestra en la tabla 7.1:

**Tabla 7.1 Disolventes para la determinación del depósito de la capa de cromo en el aluminio.** <sup>[5]</sup>

DISOLVENTE	FUNCIONA EN	CONDICIONES	
		TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
Ácido Nítrico 65%V	Cromatizados recientes y secos a máximo 70°C	5-15	25
Fusión salina 98% NaNO <sub>3</sub> y 2% de NaOH	Cromatizados recientes secos a más de 70°C o revestimientos antiguos.	2-15	385 - 415

El método más usado en la industria es con ácido nítrico por su facilidad de proceso, por ello se describe a continuación.

## 7.1 Método por peso diferencial.

Es un método que determina el peso del recubrimiento por unidad de superficie, se realiza en una probeta (lámina de aluminio con dimensiones pequeñas para uso de laboratorio normalmente de 15.2cm X 7.5cm) El método consiste en pre tratar la probeta, atacar el depósito y por diferencias de peso determinar el peso del depósito de la capa de cromo. [4]

### *Descripción:*

- 1.- Pretratar la probeta de aluminio: Decapado, enjuague, sosa, enjuague, decapado (neutralizado), cromo y enjuagues
- 2.- Secar la probeta a temperatura ambiente.
- 3.- Ya seca la probeta pesar en una balanza analítica (P 1)
- 4.- Colocar en un recipiente ácido nítrico y sumergir la probeta en este por 5 minutos.
- 5.- Transcurrido el tiempo sacar la probeta y enjuagar perfectamente con agua de red.
- 6.- Secar a temperatura ambiente, y pesar en la balanza analítica (P 2)
- 7.- Calcular el área: medir largo y ancho y multiplicarlo por 2 (en ambas cara se da el depósito)
- 8.- Calcular el depósito  $P1 - P2 * 10000 / \text{área}$

### **Cálculos:**

$$A = (b*h)2$$

$$\text{Deposito} = \frac{P1-P2}{A} * 10000$$

$$A$$

**Donde:**

A = área

b = base

h = altura

P1 = peso 1

P2 = peso 2

**Ejemplo:**

$$A = (15.6 \cdot 7.6)2 = 237$$

$$\text{Deposito} = \frac{26.2989 - 26.2770}{237} \cdot 10000 = 0.9240 \text{ g/m}^2$$

*El depósito de la capa de conversión de cromo debe estar comprendido entre 0.6-1.2 g /m<sup>2</sup> de acuerdo a la norma ISO 3892.*

**7.1.2 Método por determinación fotométrica.**

Se disuelve el recubrimiento en medio ácido y se valora el cromo por fotometría:

Se atacan 5 muestras o placas de 100 X 100 cm<sup>2</sup> cada una en un baño de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1% a temperatura de ebullición por 10 minutos.

Tras el ataque la solución que queda se concentra en 50 mL, y en ella se determina el cromo por fotometría. El cero se ajusta mediante otra solución que se prepara volviendo atacar las mismas placas con el mismo procedimiento.

Para la determinación fotométrica basta valorar el contenido total de cromo. Para ello hay que oxidar el Cr (III) a punto de ebullición con persulfato amónico a Cr(VI), midiendo absorción  $\lambda = 445 \text{ nm}$ .<sup>[4]</sup>

**7.1.3 Método por fluorescencia de rayos X**

Se determina el cromo según DIN 21001. Excitando el cromo del revestimiento mediante una irradiación primaria que produce una radiación secundaria característica de la

fluorescencia de rayos X. de la intensidad de la radiación se determina la masa unitaria superficial del revestimiento con muestras patrón.

La sensibilidad llega a 10.20 mg/m<sup>2</sup>.

Los métodos mencionados son los más comunes para determinar el peso de la capa de cromo y estar dentro de los parámetros de peso de recubrimiento es importante ya que hoy en día resulta indispensable lanzar un producto al mercado siempre y cuando antes se realice una evaluación exhaustiva de la resistencia de los materiales constructivos frente a los ambientes corrosivos existentes donde estarán instalados, para esto según DIN 50939 los ensayos de envejecimiento acelerado deben de realizarse sobre aluminio cromatizado de igual forma existen métodos que ayudan a evaluar la protección anticorrosiva que se logra con el cromatizado. <sup>[4]</sup>

(Ver anexo A2)

#### **7.4 Métodos para evaluar la resistencia a la corrosión del cromatizado de aluminio.**

Para efectuar la evaluación de la resistencia a la corrosión es imprescindible comenzar por definir la naturaleza de la corrosividad ambiental existente en las áreas de riesgo en las cuales desempeñan sus funciones los materiales o equipamientos implicados.

Existen métodos para saber si se logra con la capa de conversión de cromo protección del material de aluminio contra la corrosión en su etapa ya final (lacada) ejemplo de estas pruebas o ensayos de laboratorio son puestas o simuladas las atmósferas corrosivas más comunes existentes en la superficie de la tierra como son:

- La atmósfera de niebla salina formada por la micronización de partículas de agua de mar, bajo determinadas condiciones climáticas.
- La contaminación atmosférica existente en las áreas industriales, formada por gases ionizables de diversa naturaleza (niebla ácida).
- La contaminación ambiental de los núcleos urbanos, en los cuales predomina la ionización del SO<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> en medio húmedo.

- La acción corrosiva de la humedad condensada.
- Para realizar este tipo de ensayos se utilizan las cámaras de ensayos de corrosión acelerada normalizadas, tales como las cámaras de corrosión por niebla salina, las cámaras de ácidos y las cámaras de ensayos Kesternich y humidostáticos.

Se define como cámara de prueba a un sistema capaz de reproducir de forma acelerada en el laboratorio, las diversas condiciones climatológicas que es posible encontrar en situaciones reales de servicio y con ello poder determinar el grado de resistencia de los materiales bajo dichas condiciones. <sup>[11]</sup>

#### **7.4.1 Resistencia a la niebla ácida**

Se define como resistencia a la niebla ácida a la cualidad que poseen los materiales para mantener inalterables en el tiempo sus cualidades externas e internas cuando están expuestos a la acción de las atmósferas de carácter ácido.

El grado de resistencia a la niebla ácida se mide en base a criterios de durabilidad o de periodo de vida útil y representa el tiempo estimado a partir del cual, los materiales comienzan a perder sus cualidades originarias.

Los ensayos de resistencia a la niebla ácida, se realizan mediante cámaras de corrosión de laboratorio diseñadas conforme a las normativas internacionales vigentes adoptadas por cada país de aplicación.

Clases de niebla salina y su aplicación a los ensayos de corrosión:

1.- Niebla salina neutra (NSS): Esta formada por una solución acuosa de NaCl a pH 7, bajo las prescripciones de la norma ASTM B-117 y sus homólogas.

Aplicación: Ensayos de corrosión de metales en general.

2.- Niebla salina ácida (AASS): Esta formada por una solución acuosa de NaCl a pH 3, bajo las prescripciones de la norma ASTM G 1-90 y sus homólogas.

Aplicación: Ensayos de corrosión de aluminio y cobre.

3.- Niebla salina Cupro-Acética (CASS): Esta formada por una solución acuosa de sales con presencia de Cu y CH<sub>3</sub>COOH, bajo las prescripciones de la norma ASTM B 368-97 y sus homólogas.

Aplicación: ensayos de corrosión de piezas de acero, aleaciones de cinc, aluminio o plásticos con recubrimientos cromados o niquelados.



**Figura 7.1 Cámara de niebla salina.** <sup>[12]</sup>

Las pruebas de cámara salina son las más usadas para determinar la corrosión, la elección de cualquiera de estas pruebas de cámara salina se hace en función del equipo disponible y de los requerimientos de la calidad que se exige sobre los perfiles tratados. En las pruebas de cámara salina según la norma ISO el tiempo mínimo de requerimiento es de 1000 horas, la prueba de niebla salina neutra no es tan recomendable ya que no satisface plenamente como prueba de corrosión acelerada para las capas cromatizadas, las más usadas son las ácidas o acéticas que se usan para corrosión. La duración de las anteriores pruebas, los tiempos e interrupciones para conclusiones parciales serán objeto de acuerdo especial, si no existen prescripciones relativas al material. (Ver anexo A2).

La interpretación para esta prueba es según la norma, ya sea para ampollamiento, corrosión y adherencia como se muestra en la tabla 7.1

**Tabla 7.1 Interpretaciones normas para cámara salina.**

A) INTERPRETACIÓN DE LA NORMA ASTM-D-1654		B) INTERPRETACIÓN DE LA NORMA ASTM - D - 714		C) INTERPRETACIÓN DE LA NORMA: ASTM - D - 3359 - 97	
# CALIF: AVANCE DE LA CORROSIÓN EN PLG.:		# CALIF: AMPOLLAMIENTO		# CALIF: ADHERENCIA	
10	Nula	10	NINGUNO	1	Sin desprendimiento
9	0 a 0.5 mm	9	PUNTO DE AGUJA LIGERO	2	5 % de desprendimiento
8	0.5 a 1 mm	8	ALGUNOS TAMAÑO 8	3	5 - 15 % de desprendimiento
7	1 a 2 mm	7	ALGUNOS TAMAÑO 6	4	15 - 35 % de desprendimiento
6	2 a 3 mm	6	ALGUNOS TAMAÑO 4	5	35 - 50 % de desprendimiento
5	3 a 5 mm	5	MEDIOS TAMAÑO 8	6	mas del 50 % de desprendimiento
4	5 a 7 mm	4	TAMAÑO 2 ALGUNOS, TAMAÑO 6 MEDIANOS		
3	7 a 10 mm	3	TAMAÑO 2 MEDIANOS		
2	10 a 13 mm	2	TAM. MEDIO DENSO, TAMAÑO 6 - 8 MEDIO DENSO		
1	13 a 16 mm	1	TAMAÑO 2 MEDIO DENSO, TAMAÑO 4 DENSO		
0	más de 16 mm	0	COMPLETA FALLA		

#### 7.4.2 Prueba de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Se define como prueba de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) a la acción de someter los materiales a ensayos de laboratorio específicos, con el fin de determinar su resistencia frente a determinadas concentraciones de SO<sub>2</sub> atmosférico, en presencia de humedad.

Este tipo de pruebas se realiza con las cámaras de ensayos de laboratorio, de las cuales, las más comunes son las cámaras de gases controlados (ver figura 7.2) y las cámaras Kesternich.





**Figura 7.2 Cámara de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).** <sup>[12]</sup>

#### **7.4.3 Prueba de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Definimos como prueba de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la acción de someter los materiales a ensayos de laboratorio específicos, con el fin de determinar su resistencia frente a determinadas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, en presencia de humedad.

Este tipo de pruebas se realiza con las cámaras de ensayos de laboratorio, de las cuales, las más comunes son las cámaras de gases controlados (ver figura 7.3)



**Figura 7.3 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).** <sup>[12]</sup>

#### **7.4.4 Test Machu.**

Otro tipo de método para evaluar el pretratamiento aplicado en las piezas de perfil es con una prueba de corrosión acelerada, llamada “machu” descrita en las normas internacionales de Qualicoat que consiste exponer la pieza del aluminio igualmente en su etapa final (lacada) en un sistema ácido y corrosivo por determinado tiempo, es muy sencilla y puede realizarse a nivel laboratorio. <sup>[5]</sup>

### **Descripción:**

*Preparación de la solución:* pesar en una balanza analítica 50 g de cloruro de sodio, disolverlos perfectamente en 1 litro de agua destilada, añadir 10 ml de ácido acético a la solución de agua y sal, agregar 5 mL. de peróxido de hidrogeno y agitar hasta homogenizar la solución, medir el pH que debe estar entre 3 y 3.3.

*Procedimiento:* se toma un tramo de pieza pintada y sobre la superficie recubierta se hace una incisión en forma de cruz con un ancho de 1mm hasta llegar al metal, se sumerge en el vaso con la solución oxidante y este se coloca en un horno a 37°C; después de 24 horas añadir 5 mL de peróxido de hidrógeno y ajustar el pH (3 -3.3) y dejar 24 horas más para completar 48 horas de exposición (ver figura 7.4).

El pH se ajusta con ácido acético, si el pH esta por arriba de 3.3 y con hidróxido de sodio si está por debajo de 3.0.



**Figura 7.4 Test machu.**

### **Exigencias:**

Después de 48 horas de exposición, la corrosión no debe excederse de los 0.5mm de la incisión (ver figura 7.5).

- Corrosión menor o igual a 5mm      *OK*
- Corrosión mayor a 5mm              *NO OK*



**Figura 7.5 Trozo de perfil despues del test machu.**

No haber tenido el pre-tratamiento adecuado puede causar corrosión en el aluminio el tipo más común es la corrosión filiforme. En la figura 7.6 se presenta un ejemplo de corrosión filiforme.



**Figura 7.6 Corrosión filiforme**

Para ello, se ha realizado una hendidura vertical penetrando la capa de pintura termolacada y llegando hasta el aluminio.

Posteriormente, se ha simulado una atmósfera marítima, teniendo en cuenta el nivel de salinidad, humedad y temperatura.

Al cabo del tiempo, obtenemos unos filamentos perpendiculares a la hendidura realizada. Estos filamentos, son productos de corrosión, que se están produciendo por debajo de la pintura, debido principalmente, a un inadecuado pretratamiento.

Por lo anterior es muy indispensable lograr con el pretratamiento una capa protectora lisa y uniforme y posteriormente determinar que esta capa de conversión de cromo este dentro de los parámetros especificados por las normas vigentes y por supuesto mantener cada etapa y factor básicos del proceso de cromatizado ya detallados con anterioridad en optimas condiciones de operación para que los resultados sean excelentes y se obtenga capas protectoras y no se presente ningún tipo de corrosión.

## **CAPITULO 8 SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE CROMATIZADO**

El tema de la seguridad ha tomado mucho auge en los últimos años en cualquier campo de la industria y en la galvanoplastia no es la excepción ya que en los procesos para acabados en metales, se utilizan sustancias tóxicas tanto para el ser humano como para el medio ambiente, por lo cual es necesario estar actualizado en los temas de seguridad e higiene vigentes para cada país. La importancia de este tema es estar alerta en cada campo del proceso para que este se realice de forma segura y adecuada vinculando normas y regularizaciones sobre seguridad en personal, plantas de galvanoplastia, manejo de sustancias y residuos peligrosos y descargas de aguas residuales.

### **8.1 Descripción técnica de seguridad de cada uno de los químicos utilizados en el proceso de cromatizado**

Los químicos más utilizados en este tipo de procesos son: sosa cáustica líquida, ácido sulfúrico, ácido crómico, metabisulfito de sodio, entre otros y estos deben de contar con hojas de seguridad que proporcionen las siguientes características:

- Composición química.
- Riesgos potenciales del material.
- Medidas de protección al personal de manipulación.
- Riesgos a la salud.

Las Hojas de Datos de Seguridad (HDS), son documentos por escrito en el idioma de cada país con la información sobre las condiciones de seguridad e higiene necesarias, relativa a cada una de las sustancias químicas peligrosas, que sirve como base para programas escritos de comunicación de peligros y riesgos en el centro de trabajo.

En la Norma Oficial Mexicana 018 de la Secretaría del trabajo y Previsión Social (NOM-018-STPS-2000), en su punto 5.4. Requiere al patrón para: "Conocer el grado de peligrosidad y los riesgos de las sustancias químicas peligrosas que se utilizan en el centro de trabajo", por lo que se debe contar con las HDS para todas las sustancias químicas

peligrosas que se utilicen en el centro de trabajo. Todos los centros de trabajo deben tener las hojas de datos de seguridad de las sustancias químicas que manejen o produzcan. (Ver anexo A3).

Los fabricantes, importadores o distribuidores tienen la obligación de proporcionar una hoja de datos de seguridad por cada una de las sustancias químicas o mezcla riesgosas que produzca o importe. A fin de que estén disponibles a los trabajadores y encargados de seguridad, y puedan contar con información inmediata para instrumentar medidas preventivas y/o correctivas en el centro de trabajo. El formato puede variar de una empresa a otra, sin embargo debe contener como mínimo la información indicada como a continuación se expone:

Título: hoja de datos de seguridad. HDS y el nombre de la sustancia. En todas las páginas de la HDS debe aparecer, arriba a la derecha, el nombre de la sustancia.

Sección I. Datos generales de las HDS:

- a) fecha de elaboración
- b) fecha de actualización
- c) nombre o razón social de quien elabora la HDS

Sección II. Datos de la sustancia química peligrosa, contemplando al menos:

- a) nombre químico o código
- b) nombre comercial
- c) familia química
- d) sinónimos
- e) otros datos relevantes

### Sección III. Identificación de la sustancia química peligrosa:

#### III.1 Identificación:

a) No. CAS

b) No. ONU

#### III.2 Clasificación de los grados de riesgo:

a) a la salud

b) de inflamabilidad

c) de reactividad

d) especial



III.3 De los componentes riesgosos: nombre y porcentaje de los componentes riesgosos, incluyendo su identificación y la clasificación de los grados de riesgo

### **8.2 Equipo de protección personal**

Debido al uso de sustancias químicas y tóxicas ya descritas en el punto anterior es recomendable el uso del equipo de protección personal (EPP) el no utilizarlo, puede provocar que un incidente se convierta en accidente, e incluso causar incapacidad permanente al personal.

Por lo tanto para los procesos de galvanoplastia se recomienda el uso del EPP para cada parte expuesta:

### ***OJOS:***

GAFAS DE PROTECCIÓN (MONTURA INTEGRAL): usada para salpicadura de gotas de líquidos y polvo fino, en este caso para el hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, ácido crómico y metabisulfito de sodio.



PANTALLA DE PROTECCIÓN (PANTALLA FACIAL): usada para salpicaduras de líquidos, corrosivos o no corrosivos, para este caso ácido sulfúrico.



### ***CUERPO:***

CINTURON O ARNES DE SEGURIDAD (enganchados a una línea de vida). Son elementos de protección que se utilizan en trabajos efectuados en altura, para evitar caídas del trabajador, en este caso para seguridad cada que se recarga un baño.



### ***PIES:***

CALZADO DE SEGURIDAD debe proteger el pie de los trabajadores contra humedad y sustancias calientes, contra superficies ásperas, contra pisadas sobre objetos filosos y agudos y contra caída de objetos, así mismo debe proteger contra el riesgo eléctrico, se utiliza para las salpicaduras de ácidos.



### ***MANOS:***

GUANTES DE PROTECCION son usados para evitar contacto con sustancias toxicas, nocivas o irritantes, sobre todo aquellas que pueden ser absorbidas por la piel, así como sustancias corrosivas. El material del que





esté fabricado tiene que resistir la acción de la sustancia utilizada, para este caso los ácidos que se ocupan en el proceso.

***CUERPO:***

MANDIL DE HULE son usados para evitar que las sustancias, acidas e irritantes salpiquen sobre el cuerpo y provoquen quemaduras. El material debe ser contra ácidos.



Por tal motivo las siguientes recomendaciones que se resumen del las hojas de seguridad de los reactivos más utilizados en el proceso de cromatizado, deben de considerarse por seguridad del personal operativo de este proceso.

**HIDROXIDO DE SODIO:** llamada sosa cáustica, es altamente corrosiva e irritante; por contacto puede producir lesiones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas. Todas las operaciones de manejo como transporte, vaciado, transvase, dilución, descarga, toma de muestras y revisión de depósitos o envases, deben efectuarse bajo ventilación local apropiada y utilizar el equipo de protección personal: careta protectora, botas, guantes largos, lentes y lavar las manos siempre después de manipular el producto.

**ÁCIDO SULFÚRICO:** es un químico muy fuerte que es corrosivo, lo cual significa que puede causar quemaduras severas y daño a tejidos cuando entra en contacto con la piel. Todas las operaciones de manejo como transporte, vaciado, transvase, dilución, descarga, toma de muestras y revisión de depósitos o envases, deben efectuarse bajo ventilación local apropiada y utilizar el equipo de protección personal: botas de hule, guantes de hule, mandil de hule, gafas de protección contra sustancias químicas, pantallas faciales y máscara con cartucho para vapores orgánicos y gases ácidos.

ÁCIDO CROMICO: este material contiene ácidos inorgánicos fuertes, tóxicos y corrosivos; manéjese con las precauciones necesarias y utilice el equipo de protección personal: guantes largos, lentes y lavar las manos siempre después de manipular el producto.

METABISULFITO DE SODIO: este material es altamente irritante al contacto con la piel, ojos y garganta; manéjese con las precauciones necesarias y utilice el equipo de protección personal: guantes largos, lentes, y lavar las manos siempre después de manipular el producto.

Como ya se menciona el aspecto de la seguridad dentro de cualquier industria ha aumentado, por lo cual es indispensable aplicar las recomendaciones dadas por parte de las autoridades concernientes en tal materia, para operar de manera adecuada y segura sin ningún riesgo para el personal operativo. La evaluación de riesgos nos determinará las partes del cuerpo a proteger (manos, cara, ojos, tronco, etc.), los agentes frente a los que se utiliza cada equipo (reactivos químicos, llamas, etc.) y el factor de protección necesario en cada situación. Por lo cual se recomienda realizar evaluaciones de seguridad para analizar y evaluar los riesgos que se pudieran generar un accidente y así tomar medidas preventivas y realizar acciones correctivas para un buen desempeño en cada etapa del proceso de cromatizado de aluminio.

## **CAPITULO 9 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y CONFINAMIENTO DE LODOS**

La industria de galvanoplastia utiliza una serie de materias primas que aportan al ambiente, contaminantes tóxicos como cianuro, cromo hexavalente, cobre, níquel, zinc, ácidos, bases en forma de vapores y líquidos.

La actividad de tratamiento de superficies produce fundamentalmente efluentes líquidos de dos tipos: por un lado aparecen cargas contaminantes altas, en volúmenes relativamente pequeños (efluentes generados en los baños de proceso), y por otro, efluentes con cargas contaminantes diluidas en grandes volúmenes de agua (efluentes procedentes de los enjuagues o lavados).

La generación de desechos sólidos o semisólidos es el siguiente problema en importancia después de los vertidos líquidos. Los principales residuos resultantes de la actividad son: lodos con contenido en metales procedentes del tratamiento de las aguas residuales, metales base, desechos de reactivos empleados en las distintas operaciones, aceites y grasas procedentes de la separación de aceites de los baños de desengrase.

Estos son los principales problemas ambientales asociados con plantas de galvanoplastia.

### **9.1 Descripción de las aguas residuales**

Un porcentaje importante de la generación de los residuos en la industria de galvanoplastia, son las aguas residuales de los enjuagues, contaminadas con los químicos de los baños de proceso, aguas residuales con altas concentraciones de cromo hexavalente (Cr VI) y los lodos de neutralización y precipitación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Hay que tener en cuenta que, debido a las características químicas de los baños empleados, se debe proveer un sistema de depuración de acuerdo con la legislación medioambiental vigente; así por ejemplo, para un baño envejecido de Cromatizado, lo primero que habrá que realizar es una reducción del Cromo VI, contenido en el baño a Cromo III, que es mucho menos tóxico.

Durante los procesos en este tipo de industrias de acabados metálicos se generan, aguas residuales con altas concentraciones de cromo hexavalente (Cr VI), que por su alta

toxicidad, debe ser removido previamente hasta concentraciones menores a 0.5 mg/L, según la tabla 1 de la reglamentación mexicana NOM-002-SEMARNAT -1996 (ver anexo A 3) antes de disponerlas a los cuerpos receptores, en cuanto a los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos Totales y Temperatura los parámetros especificados se establecen en la tabla 2 de la reglamentación mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (ver anexo A 3).

Para que las aguas que son desechadas al drenaje municipal sea sin problema alguno se les debe de aplicar un tratamiento de neutralización que pueden ser tratamientos convencionales como por ejemplo: sulfato ferroso, con bisulfito de sodio y evaporación, los cuales generan lodos, considerados como residuos peligrosos que posteriormente tienen que ser confinados.

## **9.2 Tratamiento por detoxificación de cromo hexavalente**

Uno de los tratamientos más convencionales ocupados en la industria de galvanoplastia con residuos de cromo hexavalente es con metabisulfito de sodio que reduce el cromo hexavalente en cromo trivalente. Esto se puede realizar adicionando Bisulfito Sódico para la transformación a  $\text{Cr}^{3+}$ , y tras una buena homogenización, precipitar este  $\text{Cr}^{3+}$ , a un pH alcalino entre 7 y 9.

A continuación, se mostrará dicho procedimiento para un baño viejo de cromatizado a pH 7.0.



**Figura 9.1 Baño viejo de cromatizado.**

En la figura superior 9.1, se observa el color típico anaranjado, debido a la presencia de Cromo  $^{6+}$ . Tras adicionar Bisulfito Sódico, obtenemos un color verdoso, característico del  $Cr^{3+}$ , tal y como se observa en la figura 9.2



**Figura 9.2 Reducción de  $Cr^{6+}$  a  $Cr^{3+}$**

Posteriormente se eleva el pH a 7.0 con hidróxido de sodio, comprobando la formación de  $Cr(OH)_3$ , que hace enturbiar al baño, tal y como se observa en la figura 9.3.



**Figura 9.3 Neutralización de pH.**

Se deja reposar 1 hora y media, y se observa el avance de la precipitación, en las figuras 9.4 y 9.5 se observa que la precipitación de este hidróxido es parcial por lo tanto, se deja reposar más tiempo.



**Figura 9.4**



**Figura 9.5**

**Figuras 9.4 y 9.5 Avances de precipitación de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$**

Después de dejar reposar más tiempo se puede comprobar que prácticamente se tiene separada totalmente la fase sólida de la líquida como se aprecia en la figura 9.6



**Figura 9.6 Precipitación total.**

Una vez que el  $\text{Cr}^{6+}$  se redujo a  $\text{Cr}^{3+}$ , se neutralizo y precipito en  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  se debe utilizar un filtro-prensa para secar los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con lo que se reduce el volumen de lodos que se envíen a disposición final y los costos disminuyen.

Después de un filtro prensa los lodos aún conservan cierto porcentaje de humedad, se recomienda que los lodos filtrados sean secados al aire libre para reducir al mínimo el contenido de agua y el volumen de los lodos enviar a confinamiento.

Con este tipo de tratamientos las aguas residuales suelen desecharse con los parámetros indicados en la tabla 9.1 basada en parámetros de la NOM-002-SEMARNAT -1996.

**Tabla 9.1 Parámetros de agua residual.**

PARAMETRO (UNIDAD)	LIM. MAX PERMISIBLE	RESULTADO
	PROMEDIO DIARIO	
DBO5(mg/L)	150	88.68
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.75	<0,022
Sólidos Sedimentables (m L/L)	7.5	1
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	125	73.7
Temperatura (°C)	40	22.1
pH	5,5-10	7.43
Conductividad (μ S/cm)	No Aplica	934

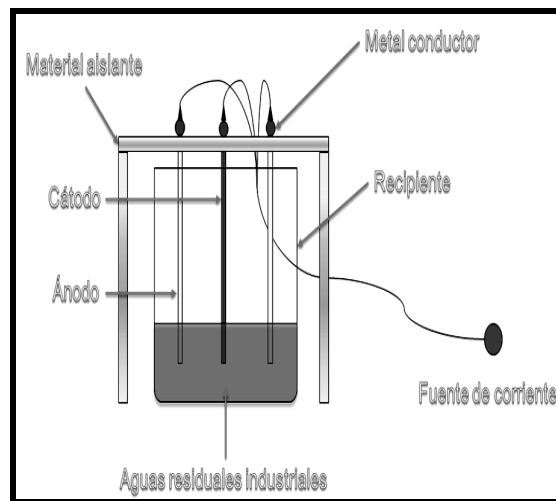
### 9.2.2 Tratamiento por proceso electroquímico

El proceso electroquímico, se presenta como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales con cromo hexavalente.

Hoy en día los procesos electroquímicos han alcanzado un estado en el cual no son solamente comparables desde el punto de vista económico con otros procesos sino que también son más eficientes, compactos y automatizados. Los procesos electroquímicos utilizados en el tratamiento de aguas utilizan electricidad para producir una reacción química destinada a la eliminación o destrucción del contaminante presente en el agua. Básicamente el sistema electroquímico está formado por un ánodo, donde ocurre la oxidación, un cátodo, donde tiene lugar la reducción y una fuente de corriente continua encargada de suministrar la electricidad. Los parámetros claves a la hora de aplicar un proceso electrolítico son diseño del reactor, naturaleza de los electrodos, y diferencia de potencial y/o corriente de trabajo.<sup>[17]</sup>

Las condiciones de operación de un sistema de electrocoagulación son altamente dependientes de las condiciones químicas, pH, tamaño de partículas del agua a tratar y especialmente de su conductividad. El tratamiento general de las aguas residuales requiere aplicaciones de bajo voltaje (<50 Volts) con amperaje variable, de acuerdo a las características químicas del agua.

El reactor electroquímico utilizado con esta clase de tecnología, se puede considerar como una celda electrolítica cuyos elementos conductores de corriente o de sacrificio (ánodos o electrodos de trabajo y cátodos o electrodos inertes), son sumergidos en el fluido por tratar (que contiene los metales o sustancias que van a ser retirados), y que es aprovechado como medio electrolítico. Para que el reactor funcione, se requiere de una fuente externa de energía eléctrica que origina las reacciones electroquímicas como consecuencia del flujo de electrones entre los electrodos metálicos y los compuestos presentes en el efluente, generando los procesos de reducción en el cátodo (conversión de los protones del agua en hidrógeno), y los de oxidación en el ánodo (que produce iones metálicos y oxígeno, este último proveniente de la hidrólisis del agua). Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario (ver figura 9.7).



**Figura 9.7 Sistema electroquímico**

*Consumos de energía:* los consumos de energía varían entre 0.1 a 1.0 Kwh/m<sup>3</sup> (dependiendo del tipo de agua a tratar).

*Desgaste de electrodos:* el desgaste de material está directamente relacionado con la corriente aplicada al sistema (amperaje) y el tiempo de residencia hidráulico del agua residual en la celda de electrocoagulación.



*Condiciones de operación:* el sistema de electrocoagulación funciona en forma automática, mediante controles electrónicos que regulan la corriente y voltaje, de acuerdo a los cambios en la calidad del agua residual a tratar, dados por su resistividad.

*Producción de lodos:* la producción o generación de lodos está directamente relacionado con el nivel de contaminación del agua residual y de las especies catiónicas que se disuelven en el agua de acuerdo a la corriente aplicada a los electrodos. En todo caso la generación de lodos es menor que un sistema químico o biológico convencional. Se obtiene un lodo más compacto (dado el fierro o aluminio) con un nivel de humedad entre un 97 a 99%.

Debido a esto se cree que este sistema de tratamiento de aguas puede ser el tratamiento adecuado en un futuro y de excelente ayuda para la industria de galvanoplastia.

### **9.3 Confinamiento de lodos de proceso.**

Los residuos peligrosos generados por las industrias del giro de acabados metálicos son normalmente y en su mayoría lodos generados durante el proceso y en mayor grado durante la renovación de baños, estos son residuos que por su composición física y sus características corrosivas, reactivas y tóxicas representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente por lo cual deben almacenarse de manera tal, que no tengan un impacto negativo sobre el ambiente o sobre los trabajadores, en tambos de fierro debidamente identificados. Por tanto el sistema de almacenamiento debe prevenir los riesgos a través de las medidas técnicas y administrativas establecidas en los reglamentos y normas correspondientes, en materia de manejo de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

En el mismo sentido se deberá cumplir con los requerimientos establecidos en la normatividad en materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo y en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de Residuos peligrosos.

### **9.3.1 Almacenamiento interno**

Los requerimientos relativos al almacenamiento de residuos se sustentan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988). De esta ley se desprende el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (1988).

De igual forma existen normas que reúnen requerimientos para garantizar lo adecuado en clasificación, manejo y almacenamiento de residuos peligrosos. (NOM-052-ECOL/1995, ver anexo A3).

### **9.3.2 Señalamiento**

Con el fin de garantizar el transporte seguro de todos los residuos que pueden generar un riesgo, deberá realizarse la clasificación y el señalamiento de los mismos.

A continuación se presentan las normas mexicanas que contienen información sobre los procedimientos de clasificación y de señalamiento de los residuos, así como las disposiciones acerca de los documentos de carga y los formatos con los datos de seguridad que deberán acompañar al material transportado.

*La clasificación de los residuos* (NOM-003-SCT/1994), en lo referente a sustancias peligrosas, deberá elaborarse con base en clases principales, subclases, señalamiento con números UN y tipo de empaque.

*Los empaques de sustancias peligrosas* deberán ser codificados con etiquetas indestructibles (NOM-007/1994), y se deberán proveer adicionalmente con etiquetas de peligro (NOM-004/1994). Estas etiquetas deberán colocarse en el centro o en las partes laterales (costados) de los tambos de lodos. (ver anexo A3).

### **9.3.3 Transporte**

Los camiones de carga deben ser inspeccionados diariamente según determinados criterios. Este debe documentarse en una lista de verificación (NOM 006,1994).

En cuanto a las regulaciones para la carga y descarga segura de los contenedores; los chóferes de los camiones de carga deben ser capacitados periódicamente, por lo menos en

lo que respecta a la carga y descarga (NOM 018,1994). Además de los anteriores existen otros reglamentos por ejemplo, sobre los requerimientos y verificaciones de los transportes. (ver anexo A3).

Es posible sin grandes esfuerzos y a bajo costo, realizar las medidas de operación, organización y comportamiento que comprenden todos los niveles para el confinamiento de residuos peligrosos. Estas instrucciones son necesarias porque permiten reducir los efectos de eventuales fallas en la operación, de manera que éstas no lleguen a convertirse en un evento mayor. La presentación de las medidas podrá incluirse en las instrucciones de operación para cada área, en una forma concreta y clara, por ejemplo:

- \* La determinación de las medidas de seguridad, para el manejo de sustancias peligrosas.
- \* Las áreas donde se almacenan residuos, deben tener señalamientos. Las indicaciones deberán resaltar los señalamientos de peligro para los residuos peligrosos a almacenar temporalmente.
- \* Las instrucciones de operación deberán contener todas las indicaciones preventivas, operativas y de seguridad para el personal.

Es recomendable que el personal de operación responsable, confirme que cada trabajador conoce las instrucciones de operación.

Los trabajadores que manejan sustancias peligrosas, deben ser capacitados periódicamente sobre el manejo adecuado de sustancias peligrosas. La capacitación deberá incluir el adiestramiento en primeros auxilios, el mantenimiento de equipos de protección y la conducción de vehículos y operación de máquinas (por ejemplo, montacargas).

## **CONCLUSIONES:**

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una recopilación de material técnico que sirve de guía a las empresas de galvanoplastia en especial a las que realizan el pre tratamiento de cromatizado al aluminio destinado a la arquitectura para examinar sus rasgos distintivos y principales del proceso de cromatizado. El propósito de ello ha sido, por un lado, exponer el proceso de cromatizado de aluminio que es destinado a la arquitectura y de esta manera facilitar a las empresas que se dedican a este giro cumplir con los parámetros de calidad establecidos por normas internacionales con los que se certifican la mayoría de estas industrias, y por otro, dar seguimiento a todo lo relacionado con este proceso como seguridad e higiene y tratamiento de aguas.

Para el cumplimiento de los objetivos han sido varias las herramientas metodológicas utilizadas. En primer lugar, el contacto directo con empresas de este giro industrial, fundamentalmente por medio de seguimiento del proceso de pre tratamiento de aluminio, permitiendo ahondar en los pormenores del proceso.

En segundo lugar considerando la opinión del personal operativo preparado y capacitado que analiza y cumple con los parámetros establecidos de cada factor del proceso de cromatizado de aluminio.

En tercer lugar teniendo en cuenta marcos teóricos que algunos autores consideran seguir como indicativos para obtener el éxito competitivo para este giro industrial; como manuales de procesos de acabados en superficies metálicas, normas internacionales y nacionales en las que destacan Qualicoat, ISO, NOM, NMX, entre otras.

La comparación de lo aplicado dentro de la industria y los estudios teóricos de diferentes autores y normas establecidas de control a lo largo de este trabajo ha permitido concluir que las cuestiones involucradas al proceso de cromatizado de aluminio, son posibles de cumplir con gran éxito si se siguen las referencias establecidas para dicho proceso. También ha dejado ver la validez de los marcos teóricos en exitosos resultados en diferentes industrias

nacionales e internacionales, cumpliendo con los parámetros de cada una de las variables involucradas de este proceso complejo de protección a la superficie de aluminio y de igual manera con el objetivo principal del cromatizado, protección contra la corrosión y adherencia de pintura.

Y como se mencionó con anterioridad teniendo diversas aplicaciones dentro de la industria como acabados para la construcción y arquitectónica, entre otras (ver figuras C1, C2 y C3).



**Figura C1**



**Figura C2**

**Acabado de perfiles de aluminio cromatizados y pintados para la industria arquitectónica.**



**Figura C3. Torre de arcos bosques en la ciudad de México pintada en 1996.**

## **TERMINOS EMPLEADOS:**

**Adherencia:** Resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno deslice sobre otro.

**Aleación:** Es una mezcla sólida homogénea de dos o más metales.

**Anodizado:** Proceso electroquímico industrial aplicado al aluminio para aumentar el espesor creando una densa capa de óxido de aluminio, la cual proporciona al metal una mayor resistencia a la abrasión y a los agentes químicos y atmosféricos.

**Ampollamiento:** Formación de burbujas en la pintura por falta de adhesión.

**Concentración:** Es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve y el disolvente la sustancia que disuelve al soluto.

**Corrosión:** Es el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

**Cromado:** Electro depósito, basado en la electrólisis, por medio del cual se deposita una fina capa de cromo metálico sobre objetos metálicos.

**Cromatizar:** Depositar una capa compuesta principalmente con tratamientos de ácidos o álcalis en solución, conteniendo cromo hexavalente.

**Cromatizado:** Consiste en una delgada capa de cromo protectora en la superficie del aluminio contra la corrosión.

**Decapado:** Proceso mediante el cual se “limpian” las superficies de un elemento, previo a la aplicación de una pintura o cualquier recubrimiento incluidos los generados por un proceso galvánico.

**Lacado:** Pintado o barnizado con resinas orgánica a modo de spray.

**Metalizado:** Proceso metalúrgico para añadir a un cuerpo metálico capas de metales a manera de recubrimiento, con el propósito de crear en él propiedades de resistencia a la corrosión mejores que los de un metal uniforme.

**Neutralizado:** Proceso empleado para eliminar los residuos de sosa provenientes del baño de ataque alcalino, mediante un ácido.

**Pasivación:** Se refiere a la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos.

**Perfil de aluminio:** Elemento arquitectónico extruido y laminado para fabricación de ventanas y todo tipo de elemento arquitectónico.

**Porosidad:** Cualidad de una superficie de tener agujeros pequeños.

**Proceso de Conversión Electroquímico:** Proceso que traslada en forma de iones metálicos desde un ánodo (carga positiva) a un cátodo (carga negativa) a través de un medio líquido (electrolito), compuesto fundamentalmente por sales, como resultado de aplicar una corriente eléctrica en un dispositivo o reactor que constituye un circuito eléctrico.

**Proceso de Conversión Química:** Proceso para obtener una película protectora sobre materiales determinados, convirtiendo la superficie del metal base en algún compuesto estable a la oxidación.

**Tensoactivos:** Sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.

**Titulación ácido-base:** Técnica que se utiliza para averiguar la cantidad de ácido que posee una disolución a partir de una cantidad de base conocida, o viceversa.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- 1.- Rangel, C. E; Los materiales de la civilización, colección "La Ciencia para todos", 29, FCE, México, 1987.
- 2.- Julve S. E; "Electrodeposición de metales preciosos: fundamentos, equipos y baños" Vol. 1, Editorial Jhon Wiley; España 2005.
- 3.- Julve S. E; "Control de calidad en la electrodeposición de metales: control del proceso y de los recubrimientos metálicos obtenidos"; Editorial Jhon Wiley; España 2010.
- 4.- Directrices concernientes a la marca de calidad para los revestimientos de termo lacado (líquido o polvo) del aluminio destinado a la arquitectura. 12º edición 2009.
- 5.- Directrices Qualicoat fundamentos y métodos de ensayo DIN 50939; 9º Ed. Enero 2000.
- 6.- Galle, P; "La toxicidad del aluminio", Mundo Científico 6, 856 (1986).
7. -Glayman J. and Farkas G; "Galvanotecnia. Técnica y procedimientos" Editorial: Cedel, España 1980.
8. - Williams G; "Galvanotecnia Y Galvanoplastia"; Editorial Continental; México 1992.
9. – Field S. and Dudley W; "Recubrimientos Electrolíticos. Técnicas Modernas Y Análisis De Baños" Editorial: Editorial Gustavo Gili, España 1955.
- 10.- Hufnagel, W. "Manual del Aluminio", [Coca, Pedro] tr., 2ª edición, Barcelona: Editorial Reverte, S.A...(1992).
- 11.- Pedro Claudio Rodríguez "Galvanoplastia aplicada teoría y práctica" Editorial Alsina, 1998.
- 12.- CCI - Sociedad Española para el Control de Calidad e Instrumentación, S.L.
- 13.-  
[http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=32968](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=32968);  
2002
- 14.- J.Robbins. Iones en solución introducción a la electroquímica. El manual moderno. E.U.A. 1980.
- 15.- R. Sillos. Manual Técnico SurTec-tratamientos de superficies. Brasil, 2003.
- 16.-<http://www.henkel.com.co/history>



17. - F. F. R Ivera, I. González and J.L.Nava ; Environmental Technology; “ Copper removal from an effluent generated by a plastics chromium-plating industry using a rotating cylinder electrode (RCE) reactor”; Taylor & Francis, 2008.

18.- Tesis profesional “Manual de anodizado” Celestino Silva Escalona; Cuautitlán Izcalli; 1981.

# ANEXOS

## ANEXO A1

Como bien se menciona en cada una de las pruebas, estas deben de cumplir con lineamientos o parámetros que son especificados por normas internacionales de calidad, estas normas son las más utilizadas por la industria de galvanoplastia y se mencionan en la siguiente tabla.

**Tabla A1. Normas de ensayos de corrosión para recubrimientos de metales.**

Organización	Especificación	Rev./Inspección	Título
ASTM	B 380-85	1990	Método de pruebas de corrosión de los recubrimientos decorativos electro depositados por el procedimiento de Corrodkote
ASTM	B 651-83	1988	Método de prueba para la medición de los sitios de corrosión en níquel cromo o cobre plus de cromo níquel superficies galvanizado con el microscopio de interferencia de doble haz
ASTM	B 117-90		Método de ensayo de niebla salina.
ASTM	B 368-85	1990	Método de prueba para cobre acelerada ácido acético-niebla salina (Test CASS)
ASTM	B 537-70	1992	Prácticas para la evaluación de los paneles electrolíticos que se sometieron a exposición atmosférica
ASTM	C 694-90		Método de prueba para la pérdida de peso de la hoja durante la inmersión en solución de ácido sulfúrico
ASTM	G 1-90		Práctica para la elaboración de limpieza y evaluación de muestras de ensayos de corrosión
ASTM	G 33-88	1993	Prácticas para grabación de datos de la atmósfera de pruebas de corrosión de muestras metálicas de acero con

			recubrimiento
ASTM	G 50-76	1984	Práctica para la realización de las pruebas atmosféricas corrosión en los metales
ASTM	G 52-88	1993	Práctica para la exposición y evaluación de metales y aleaciones en el agua de la superficie
ASTM	G 60-86		Método de prueba para la realización de ensayos cíclicos de humedad
ASTM	G 71-81	1986	Prácticas para la realización y evaluación de ensayos de corrosión galvánica electrolitos
ASTM	G 82-83	1993	Guía para el desarrollo y uso de una serie galvánica para predecir el comportamiento de la corrosión galvánica
ASTM	G 85-85	1990	Prácticas para modificación de niebla salina (niebla)
ASTM	G 87-84	1990	Práctica para la realización de pruebas húmedas de SO <sub>2</sub>
ASTM	G 92-86		Práctica para la caracterización de los sitios de pruebas atmosféricas
ASTM	B 627-84	1992	Método de prueba para la corrosión electrolítica
ISO	ISO /TR 11728/	1993	Anodizado de aluminio y aleaciones de aluminio ensayo de resistencia a la intemperie de los recubrimientos de óxido anódico coloreados utilizando luz artificial y cíclica
ISO	ISO 8993	1989	Anodización de aluminio y aleaciones de aluminio-Calificación sistema para la evaluación de corrosión por picadura método Chart.
ISO	ISO 8994	1989	Aluminio anodizado y un sistema de aleaciones de aluminio-Valoración para la evaluación de la corrosión por picadura-

			método Gris.
ISO	ISO 1462	1973	Recubrimientos metálicos distintos de los anódicos - ensayos de corrosión acelerada- Método para la evaluación de los resultados
ISO	ISO 3160/2	1982	Casos de relojes y accesorios de aleación de oro-cubiertas-Parte 2: Determinación de la finura, el grosor y resistencia a la corrosión
ISO	ISO 4524/2	1985	Recubrimientos metálicos-electro depositando aleación de oro – Parte 2: Ensayos Ambientales
ISO	ISO 4536	1983	Recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos solución salina prueba de gotas de la corrosión (prueba SD)
ISO	ISO 4538	1978	Recubrimientos metálicos-tioacetamida la corrosión (prueba de TAA)
ISO	ISO 4539	1980	Recubrimiento electrolíticos de cromo-Pruebas de corrosión electrolítica (CE prueba)
ISO	ISO 4543	1981	Metálicos y otros recubrimientos no orgánicos - Normas generales para las pruebas de corrosión aplicables a las condiciones de almacenamiento
ISO	ISO 6988	1985	Metálicos y otros recubrimientos no metálicos-prueba de dióxido de azufre con la condensación de la humedad en general
ISO	ISO 8403	1991	Recubrimientos metálicos de recubrimientos anódicos al sustrato-Valoración de las probetas sometidas a ensayos de corrosión
ISO	ISO 3160/3	1993	3 casos de relojes y accesorios de aleación de oro-cubiertas-Parte 3: Determinación de la finura, el grosor y resistencia a la

			corrosión
ISO	ISO 10062	1991	Ensayo de corrosión en la atmósfera artificial en muy bajas concentraciones de gases de la contaminación (es)
ISO	ISO 8565	1992	Metales y aleaciones- pruebas de corrosión atmosférica general -requisitos para la prueba de campo
ISO	ISO 9227	1990	Prueba de corrosión en atmósferas artificiales ensayos de pulverización de sal

## **ANEXO A2**

**DIN 50021SS** Ensayo en niebla salina.

### **Condiciones del ensayo:**

Electrolito pulverizado: Solución de Cloruro sódico NaCl (sal común) con una concentración de 5g/100mL preparado de Cloruro sódico extra puro (según DAB 9) y agua destilada o agua desmineralizada con una conductibilidad eléctrica máx. 2  $\mu$ S/m a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$

Aire comprimido: Aire comprimido con una presión de 1,4 bar (temperatura de humectador  $50^\circ\text{C}$ ) humedecido y limpiado con agua destilada ó agua desmineralizada.

Temperatura en cámara de ensayos:  $35 \pm 2^\circ\text{C}$

Tamaño de la cámara: min. 400 L.

Niebla captada: Concentración  $50 \pm 5$  g/NaCl/L, cantidad  $1.5 \pm 0.5$  ml/h, valor pH 6.5 hasta 7.2 con  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 2 recipientes–superficie horizontal  $80\text{cm}^2$  por recipiente.

### **Ejecución:**

En el ensayo en niebla salina según DIN 50021SS se pulveriza en una cámara de ensayos continuamente una solución de NaCl. El dispositivo de pulverización no debe estar dirigido directamente a las muestras. Él dispositivo garantiza una pulverización uniforme.

El control se obtiene de 2 recipientes que están puestos en lugares claves de la cámara de ensayos. Las muestras están colocadas de una manera, que no tienen contacto entre ellas y las gotas no puedan caer en otras muestras. Las muestras están colocadas en un ángulo de  $60^\circ$  hasta  $75^\circ$  de la horizontal ó según acuerdo (por ejemplo colgadas). El ensayo puede interrumpirse solamente para sacar, colocar las muestras ó para una la evaluación de estas.

Para poder asegurar la constancia de los resultados del laboratorio de prueba, ó la comparación de los resultados de varios ensayos de prueba, estos son inspeccionados 1 vez por año por un instituto correspondiente.

### **Evaluación de las muestras:**

La evaluación de las muestras se realiza conforme a la DIN EN ISO 843. Las muestras se limpian con agua corriente caliente y se secan con un secador de mano. La evaluación se realiza ópticamente. La superficie de evaluación de las muestras, depende de la posición de las muestras en el ensayo.

En la apariencia de la superficie se pueden encontrar decoloraciones, material opaco y corrosión de la capa y del metal base. La graduación de la apariencia resulta según una tabla de valoración.

**ISO 3892:2000** Recubrimientos de conversión de materiales metálicos- Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de área-los métodos gravimétricos.

**ASTM B117-11** Práctica estándar para el funcionamiento del aparato en spray de niebla salina.

### **Importancia y uso**

Esta práctica proporciona un ambiente controlado corrosivo que ha sido utilizada para producir información relativa a la resistencia a la corrosión para los especímenes de metales y metales recubiertos expuestos en una cámara de ensayo dado. La predicción de rendimiento en entornos naturales rara vez se ha correlacionado con los resultados de niebla salina cuando se utiliza como soporte de datos por sí solos.

La correlación y la extrapolación de los resultados a la corrosión sobre la base de la exposición al entorno de prueba proporcionado por esta práctica no siempre son predecibles.

La reproducibilidad de los resultados en la exposición de niebla salina es altamente dependiente del tipo de muestras analizadas y seleccionadas, los criterios de evaluación, así como el control de las variables de funcionamiento. En cualquier programa de pruebas,



suficientes repeticiones deben ser incluidos para establecer la variabilidad de los resultados. La variabilidad se ha observado cuando los especímenes similares se ponen a prueba en las cámaras de niebla diferentes, aunque las condiciones de prueba son nominalmente similares y dentro de los rangos especificados en esta práctica.

## **1. Alcance**

1.1 Esta práctica cubre el aparato, el procedimiento y las condiciones necesarias para crear y mantener la niebla salina (niebla) entorno de prueba.

1.2 Esta práctica no establece el tipo de muestra de la prueba o los períodos de exposición para ser utilizados para un producto específico, ni la interpretación que debe darse a los resultados.

1.3 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores indicados entre paréntesis son sólo a título informativo.

**ASTM G1-90 (1999)** Práctica estándar para la preparación, limpieza y evaluación de muestras de ensayos de corrosión

### **Alcance**

1.1 Esta práctica cubre los procedimientos sugeridos para la preparación de las muestras desnudas, de metal sólido para las pruebas, para la eliminación de los productos de corrosión después de que la prueba se ha completado, y para evaluar el daño a la corrosión que se ha producido. Se hace hincapié en los procedimientos relacionados con la evaluación de la corrosión por la pérdida de masa y las medidas de picaduras.

Nota 1- En muchos casos, el producto de la corrosión sobre el titanio y circonio metales reactivo es un óxido duro y unido firmemente que desafía eliminación química o por medios mecánicos ordinarios. En muchos casos, las tasas de corrosión son establecidas por el aumento de la masa en lugar de la pérdida de masa.

**ASTM B368** Método de prueba estándar para el cobre-ácido acético-acelerado de niebla salina (niebla) (Test CASS)

### **Importancia y Uso**

La prueba de CASS es ampliamente utilizado y es útil para la aceptación de condiciones, la evaluación del servicio simulado, control de fabricación, investigación y desarrollo. Fue desarrollado específicamente para su uso con decorativo, electrodepositada de níquel / cromo y cobre / níquel / cromo recubrimientos. El uso de la prueba ha mejorado la calidad de las piezas galvanizadas y llevado al desarrollo de procesos de electro deposición nuevas y superiores.

### **1. Alcance**

1.1 Este método de ensayo se describen las condiciones exigidas en cobre acelerada ácido acético-niebla salina (CASS), las pruebas para las especificaciones. La norma no especifica el tipo de muestra de la prueba o los períodos de exposición para ser utilizados para un producto específico, ni la interpretación que debe darse a los resultados.

1.2 En este método de ensayo es aplicable a la evaluación del rendimiento corrosiva de revestimientos decorativos de cobre/níquel/cromo o níquel/cromo en el acero, aleaciones de zinc, aleaciones de aluminio y plásticos diseñados para servicio severo. También es aplicable al ensayo de aluminio anodizado. La idoneidad de esta prueba y la correlación de resultados con la experiencia de servicios debe determinarse antes de que se especifique para los sistemas de revestimiento o de otros materiales distintos de los mencionados en este párrafo.

**ASTM D1654** Método de prueba estándar para la evaluación de las muestras pintadas o revestidas sometidos a condiciones corrosivas.

### **Importancia y Uso**

Este método proporciona un medio para evaluar y comparar el rendimiento de base corrosión del sustrato, el tratamiento previo, o sistema de revestimiento, o su combinación, después de la exposición a ambientes corrosivos.

## **1. Alcance**

1.1 Este método de ensayo cubre el tratamiento de las muestras previamente pintadas o revestidas de las pruebas de exposición acelerada y de la atmósfera y su posterior evaluación con respecto a la corrosión, formación de ampollas asociada con la pérdida de la corrosión, de la adhesión a una línea de corte, o no otra película.

1.2 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores indicados entre paréntesis son sólo a título informativo.

**ASTM D714** Método de prueba estándar para evaluar el grado de formación de ampollas de pinturas.

### **Importancia y Uso**

Un fenómeno peculiar de las superficies pintadas es la formación de ampollas en relación con alguna debilidad del sistema. Este método de ensayo proporciona un procedimiento estándar de describir el tamaño y la densidad de las ampollas de modo que las comparaciones de gravedad se pueden hacer.

## **1. Alcance**

1.1 Este método de prueba utiliza los estándares fotográficos de referencia para evaluar el grado de formación de ampollas que pueden desarrollarse cuando los sistemas de pintura son sometidos a condiciones que causan ampollas. Aunque principalmente destinados para su uso en el metal y otras superficies no porosas, este método de ensayo puede ser utilizado para evaluar ampollas sobre superficies porosas, tales como madera, si el tamaño de las ampollas cae dentro del alcance de estos patrones de referencia. Cuando las normas de referencia se utilizan como una especificación de desempeño, el grado permisible de aparición de ampollas en el sistema de pintura deberá ser acordado por el comprador y el vendedor.

**ASTM D3359-97** Método de prueba estándar para la Adhesión de medición de prueba de la cinta

## **1. Alcance**

1.1 Estos métodos de ensayo a los procedimientos para evaluar la adherencia de las películas de revestimiento a sustratos metálicos por aplicar y retirar la cinta sensible a la presión sobre los cortes realizados en la película.

1.2 Método de ensayo A está destinado principalmente para su uso en los lugares de trabajo mientras que B Método de prueba es más adecuado para su uso en el laboratorio. Además, B Método de prueba no se considera adecuado para las películas más gruesas de 5 milésimas de pulgada.

Nota 1- Reserva de un acuerdo entre el comprador y el vendedor, B Método de prueba se puede utilizar para las películas más gruesas, si más amplios cortes espaciados se emplean.

1.3 Estos métodos de ensayo se utilizan para establecer si la adherencia de un revestimiento a un sustrato está a un nivel generalmente adecuado. Ellos no distinguen entre los niveles más altos de adherencia de los métodos más sofisticados de medición necesarios.

Nota 2-Se debe reconocer que las diferencias en adherencia de la superficie de revestimiento puede afectar a los resultados obtenidos con revestimientos que tienen la misma adherencia inherente.

En la insuficiencia 1,4 multicapa adhesión sistemas puede producirse entre las capas de manera que la adherencia del sistema de revestimiento al sustrato no está determinada.

1.5 Los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados como el estándar. Los valores indicados entre paréntesis son sólo a título informativo.

## **ANEXO A3**

### **NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.**

Esta norma es una revisión de lo publicado sobre el mismo tema como NOM-14-STPS-1994. En el sumario: objetivos; ámbito de aplicación; definiciones y símbolos; obligaciones de empresarios y trabajadores; sistema de identificación; formación y comunicaciones sobre productos químicos; organizaciones responsables para su verificación. En anexo: sistemas de identificación y etiquetado (incluyendo colores de seguridad); requisitos para la formación; contenidos de la hoja de especificaciones de seguridad de materiales; normas para señalización de seguridad (rectangular y romboide); clasificación por tipo y por categoría de riesgos de 1000 sustancias aproximadamente.

#### **Comportamiento de sustancias químicas:**

Cada uno de nosotros trabaja con toda clase de productos preparados comercialmente y materias primas, y raramente los ingerimos de forma consistente.

Creemos de forma ingenua que mientras el material este en un recipiente herméticamente cerrado (caja, lata, barril, tanque, tubería) no nos va a perjudicar, no obstante los materiales no están quietos pueden reaccionar con sus alrededores, cambian forma y convertirse en nuevos materiales.

Así pues tenemos gases, vapores, sólidos, humos, polvos, partículas, virutas, neblinas, líquidos, etc. Empujándose unos a otros despasándose por el aire, bajando al suelo y siendo arrastrados por zapatos, y como resultado es un medio de contaminación ya que los materiales al ser contaminados se mezclan y dan como resultado otro material o sustancia, ya que no se están quietos.

#### **Identificación y señalización**

El presente Apéndice tiene como objetivo establecer el sistema de identificación y señalización de peligros y riesgos de las sustancias químicas peligrosas, a fin de proporcionar a los trabajadores información visual inmediata para prevenir daños a su salud y al centro de trabajo.

### **Capacitación y comunicación.**

La comunicación sobre los peligros y riesgos debe ser clara, veraz y sencilla en el sistema usado en el centro de trabajo, e impartirse a todos los trabajadores.

La capacitación otorgada a los grupos de respuesta a emergencias debe ser conforme a lo establecido en la NOM-005-STPS-1998.

### **Hojas de seguridad.**

Todos los centros de trabajo deben tener la HDS de cada una de las sustancias químicas peligrosas que en él se manejen, y estar disponibles permanentemente para los trabajadores involucrados en su uso, para que puedan contar con información inmediata para instrumentar medidas preventivas o correctivas en el centro de trabajo.

### **Instructivo de llenado de las hojas de datos de seguridad.**

### **Modelo del rectángulo.**

### **NOM-001-SEMARNAT-1996**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma oficial no aplica a las descargas provenientes de drenajes de separados de aguas pluviales.

### **NOM-002-SEMARNAT-1996**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a las descargas de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

### **NOM-052-SEMARNAT-1993**

Esta norma oficial mexicana establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. En la actividad de instalación y operación de marinas turísticas los principales residuos peligrosos a general lo constituyen los aceites lubricantes gastados, residuos de pinturas base aceite, solventes de pinturas, materiales sólidos impregnados con los residuos anteriormente descritos y los envases vacíos que contuvieron materiales o residuos peligrosos; a estos residuos se les debe dar el manejo adecuado para evitar contaminación o daños al ambiente.

### **NOM-003- SCT- 1994** “Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias y residuos peligrosos”

Describe las características que deberá cubrir la(s) etiqueta(s) de identificación, que debe ser adherida al envase o embalaje, y que permite por apreciación visual identificar la naturaleza del riesgo potencial asociado al material transportado, mediante el uso de símbolos, colores y números de acuerdo a la nomenclatura internacional. A esta NOM se le han incorporado nuevas etiquetas que son propias de los modos de transporte marítimo y aéreo (orientación, contaminante marino, material magnetizante, líquido criogénico, etc), y fue emitida con carácter MULTIMODAL es decir, aplicable a los modos de transporte: Autotransporte, Ferroviario y Marítimo.

### **NOM-004-SCT-1994** “Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos”

En casos de que la masa neta transportada sea mayor de 400 Kg. o de 450 litros en envase y embalaje o se transporte material a granel en unidades de arrastre de autotransporte y ferroviarias deben usarse carteles de identificación que indiquen el riesgo principal del material o residuo peligroso en el exterior de la unidad. Esta norma describe las características, tipos y número de carteles que deben portar las unidades destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos, entre otras, se incorporó un nuevo cartel de contaminante marino, se homologan las dimensiones de los carteles y se prohíbe el uso de los carteles de hojas múltiples (también llamados de libro o magazine). La nueva versión es

de observancia MULTIMODAL es decir, aplicable a los modos de transporte: Autotransporte, Ferroviario y Marítimo.

**NOM-007-SCT2-1994** “Envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos”

Establece las características y especificaciones que se deben cumplir para el marcado de envases y embalajes que transportan materiales peligrosos, exceptuando aquellos cuyo peso neto exceda los 400 Kg. ó 450 litros de capacidad, los destinados al transporte de gases comprimidos, licuados o disueltos a presión y aquellos que estén destinados a contener materiales radiactivos. Se adicionan especificaciones para envases y embalajes de socorro (salvamento).

**NOM-006-SCT2-1994** “Aspectos básicos para la inspección vehicular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos”

Tiene como objetivo establecer las disposiciones básicas que deben cumplirse para la revisión diaria de las unidades destinadas al Autotransporte de Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos por parte del conductor, para asegurarse que éstas se encuentran en buenas condiciones mecánicas y de operación. Además aparecen los datos que deben contener la “Hoja de Inspección Ocular Diaria” que debe ser proporcionada por los transportistas a sus conductores cada vez que inicie un traslado de material peligroso.

**NOM-018-SCT2-1994**, “Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario”

Aquí se mencionan las disposiciones que deben observar el remitente, consignatario y empresa ferroviaria para efectuar con seguridad la carga, distribución, sujeción y descarga de materiales y residuos peligrosos cuando se transportan por ferrocarril. Observaciones y recomendaciones específicas sobre el modo seguro de carga de materiales aparecen en esta norma.