

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA ENSAYOS DEL  
ANODIZADO DEL ALUMINIO.”**

**PROYECTO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**“TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA”**

**MARCO ANTONIO PALLASCO YUGSI**

pallasco@latinmail.com

**DIRECTOR: ING. DIEGO ESPINOSA**

diegoesp@interactive.net.ec

**QUITO, JUNIO DEL 2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por: Marco Antonio Pallasco Yugsi, bajo mi supervisión.

.....

**Ing. Diego Espinosa**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Marco Antonio Pallasco Yugsi, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normativa intelectual vigente.

.....

Marco Antonio Pallasco Yugsi

## DEDICATORIA

El presente proyecto de Titulación está dedicado a:

- Dios por haberme dado la oportunidad de seguir adquiriendo conocimientos para un prospero futuro, y por darme la fortaleza para vencer las adversidades que se nos presenta en la vida.
- Mi madre por haberme dado la vida, por ejercer el papel de Padre y Madre a la vez, por guiarme y brindarme todos sus consejos para llevar una vida prospera y digna, por todos sus cuidados, por los momentos de alegría, tristeza y adversidad en los que siempre estuvo a mi lado, para ella mi más sincero agradecimiento.
- Mis Hermanos (as) por confiar siempre en mi, por brindarme siempre de forma incondicional todo su apoyo moral y económico, por ser siempre una voz de aliento en los momentos de decadencia.
- A mi Pitufita por ser mi consejera y estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida, en los cuales siempre me ha dado fuerzas para seguir adelante.
- A todas aquellas personas que de forma desinteresada aportaron de la mejor manera para que mi objetivo se vea concluido.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento va dirigido a:

La Escuela Politécnica Nacional, en especial a la carrera de Tecnología en Procesos de Producción Mecánica por habernos dado la oportunidad de adquirir los mejores conocimientos durante todo nuestro período de formación para poder llegar a ser buenos profesionales.

Además un especial agradecimiento al Ing. Diego Espinosa por habernos guiado en el proceso de elaboración de mi proyecto.

Y finalmente damos las gracias a todos nuestros profesores de la carrera de Procesos de Producción Mecánica quienes nos han enseñado a luchar y ser mejores cada día.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....

RESUMEN.....

### CAPÍTULO I

|  | Páginas |
|--|---------|
| <b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES</b>                         |         |
| 1.1 Electroquímica.....  | 1       |
| 1.2 Corrientes eléctricas.....                                     | 1       |
| 1.3 Medidas eléctricas.....  | 2       |
| 1.4 Conductores de corriente eléctrica.....                        | 3       |
| 1.5 Electrólisis.....  | 4       |
| 1.6 Leyes de Faraday.....  | 5       |
| 1.7 Peso del metal depositado durante la electrolisis.....         | 8       |
| 1.8 Poder de penetración.....                                      | 9       |
| 1.9 Factores que influyen en el desgaste.....                      | 9       |
| 1.10 Tipos de desgastes.....                                       | 10      |
| 1.11 Formas de corrosión.....                                      | 14      |
| 1.12 Métodos de protección de los metales contra la corrosión..... | 17      |
| 1.13 Métodos de limpieza.....                                      | 18      |

### CAPÍTULO II

#### RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS POR ANODIZADO

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Electrolitos.....   | 30 |
| 2.1.1 Rendimiento electrolítico.....                                | 30 |
| 2.1.2 Factores que influyen en las aplicaciones electrolíticas..... | 31 |
| 2.1.3 Clases de electrolitos.....                                   | 35 |
| 2.3 Diseño de las piezas para el recubrimiento.....                 | 36 |
| 2.4 Descripción del proceso electrolítico por anodizado.....        | 37 |
| 2.4.1 Principio del Anodizado.....                                  | 37 |
| 2.4.2 Anodizado.....  | 37 |
| 2.4.2.1 Tipos de anodizados.....                                    | 40 |
| 2.4.2.2 Mecanismo de formación y estructura de la capa anódica..... | 41 |
| 2.4.2.3 Tipos de películas anódicas en aluminio.....                | 42 |
| 2.4.2.4 Especificaciones para los recubrimientos anódicos.....      | 47 |
| 2.4.2.5 El procedimiento con ácido sulfúrico.....                   | 50 |
| 2.4.2.6 El procedimiento con ácido crómico.....                     | 51 |
| 2.4.2.7 Instalación necesaria para el anodizado.....                | 53 |
| 2.4.2.8 Los cátodos.....  | 53 |
| 2.4.2.9 Composición de la solución.....                             | 53 |
| 2.4.2.10 Preparación.....   | 53 |
| 2.4.2.11 Operaciones de pretratamiento.....                         | 54 |
| 2.4.2.12 Proceso.....   | 56 |
| 2.4.2.13 Tratamiento.....   | 56 |
| 2.4.2.14 Duración del Proceso.....                                  | 57 |
| 2.4.2.15 La coloración del aluminio.....                            | 58 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.2.16 Sellado de la capa anódica.....  | 61 |
| 2.4.2.17 Ventajas del anodizado.....      | 61 |
| 2.4.2.18 Características principales..... | 62 |

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL ANODIZADO

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Material eléctrico.....                                   | 64 |
| 3.2 Rectificadores.....                                       | 64 |
| 3.3 Distribución de la corriente.....                         | 65 |
| 3.4 Acoplamiento de los ánodos y las piezas a las barras..... | 67 |
| 3.5 Sistema para la manipulación de las piezas pequeñas.....  | 68 |
| 3.6 Cubas.....  | 70 |
| 3.7 Material para agitar los baños.....                       | 70 |
| 3.8 Material de filtrado.....                                 | 71 |
| 3.9 Material de secado.....                                   | 71 |
| 3.10 Aparatos de medida.....                                  | 71 |
| 3.11 Rendimiento del Equipo.....                              | 72 |
| 3.11.1 Rectificador.....                                      | 72 |
| 3.11.2 Medidor de Intensidad.....                             | 72 |
| 3.11.3 Medidor de voltaje.....                                | 73 |
| 3.11.4 Regulador de voltaje.....                              | 73 |
| 3.11.5 Calentador.....  | 74 |
| 3.11.6 Soporte para el cátodo.....                            | 75 |
| 3.11.7 Soporte para los ánodos.....                           | 76 |
| 3.11.8 Soporte para el termómetro.....                        | 77 |
| 3.11.9 Conexión de los ánodos y cátodos.....                  | 77 |
| 3.11.10 Cubas.....  | 77 |
| 3.11.11 Papel tornasol. (Medir el pH).....                    | 78 |
| 3.11.12 Ácidos utilizados en el proyecto.....                 | 79 |

### CAPÍTULO IV.

#### ANÁLISIS DE VARIABLES

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 4.1 Anodizado.....                 | 80 |
| 4.1.1 Parámetros tecnológicos..... | 80 |
| 4.1.2 Observaciones.....           | 83 |
| 4.1.3 Conclusiones.....            | 83 |
| 4.1.4 Resultados.....              | 84 |

### CAPÍTULO V.

#### ENSAYOS EN LA CAPA ANÓDICA DEL MATERIAL TRATADO

|   |    |
|---|----|
| 5.1 Introducción.....                                 | 85 |
| 5.2 Objetivo y alcance.....                           | 85 |
| 5.3 Metodología de aplicación.....                    | 85 |
| 5.4 Controles o análisis para los films anódicos..... | 85 |
| 5.4.1 Métodos no destructivos.....                    | 86 |
| 5.4.1 Métodos destructivos.....                       | 87 |

## **CAPÍTULO VI.**

### **COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO**

|  |    |
|--|----|
| 6.1 Gastos empleados en la construcción..... | 89 |
| 6.2 Resultados.....                          | 90 |

## **CAPÍTULO VII**

### **SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DURANTE EL TRATAMIENTO**

|  |    |
|--|----|
| 7.1 Seguridad Industrial.....              | 91 |
| 7.1.1 <i>Protección personal</i> .....     | 91 |
| 7.1.2 <i>Prevención de incendios</i> ..... | 92 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>CONCLUSIONES</b> ..... | 93 |
|---------------------------|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>RECOMENDACIONES</b> ..... | 95 |
|------------------------------|----|

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> ..... | 97 |
|---------------------------|----|

### **ANEXOS A**

Guía para el recubrimiento electrolítico anodizado  
Construcción de las cubas y soportes para la realización del anodizado

### **ANEXOS B**

Características de los ácidos seguridad, y prevención en caso de accidentes

### **PLANOS**



## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

|  |    |
|--|----|
| Figura No 1.1. Corriente constante de acuerdo al tiempo.....   | 1  |
| Figura No 1.2. Corriente variable de acuerdo al tiempo.....  | 2  |
| Figura No 1.3. Dirección de los electrones del ánodo al cátodo.....                                    | 5  |
| Figura No 1.4. Disminución del espesor de recubrimiento electrolítico en una superficie irregular..... | 9  |
| Figura No 1.5. Oxidación en los metales expuestos al aire Libre.....                                   | 10 |
| Figura No 1.6. Material visto en un medio corrosivo.....   | 12 |
| Figura No 1.7. Corrosión en superficies que no poseen ningún recubrimiento....                         | 13 |
| Figura No 1.8. Ataque producido por una gota de agua salada.....                                       | 13 |
| Figura No 1.9. Sección de tubería presentando corrosión localizada.....                                | 14 |
| Figura No 1.10. Corrosión por fisuras.....   | 15 |
| Figura No 1.11. Picaduras en toda la superficie del material.....                                      | 16 |
| Figura No 1.12. Limpieza de superficie mediante chorro de arena.....                                   | 19 |
| Figura No 1.13. Limpieza de superficie mediante un barril.....   | 21 |
| Figura No 1.14. Instrumentos para limpieza manual. Cepillos, lijas.....                                | 29 |

### CAPÍTULO II

#### RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS POR ANODIZADO

|   |    |
|---|----|
| Figura No 2.1. Proceso del anodizado transporte de iones.....                             | 37 |
| Figura No 2.2. Micro sección de un film anódico.....                                      | 38 |
| Figura No 2.3. Superficie antes y después del sellado.....                                | 39 |
| Figura No 2.4. Comportamiento de voltaje en función del tiempo.....                       | 43 |
| Figura No 2.5. Comportamiento de voltaje en función del tiempo por zonas.....             | 44 |
| Figura No 2.6. Micrografía de una sección de un óxido poroso.....                         | 45 |
| Figura No 2.7. Vista lateral del recubrimiento de alumina.....                            | 45 |
| Figura No 2.8. Representación de una capa de óxido poroso Al-Cu.....                      | 46 |
| Figura No 2.9 Principio de formación de los poros en un electrolito.....                  | 46 |
| Figura No 2.10. Distribución no uniforme de la corriente.....                             | 47 |
| Figura No 2.11. Etapas clásicas para el anodizado.....                                    | 55 |
| Figura No 2.12 Película afectadas por exceso de tiempo.....                               | 57 |
| Figura No 2.13. Representación de una capa porosa con electro coloreado.....              | 58 |
| Figura No 2.14. Capa porosa con electro coloreado con dos anodizados.....                 | 59 |
| Figura No 2.15. Representación de una capa porosa con coloreado por tintes orgánicos..... | 60 |

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL ANODIZADO

|   |    |
|---|----|
| Figura No 3.1. Transformador del proyecto.....  | 64 |
| Figura No 3.2. Montaje en serie de cubas de electrolisis.....                         | 65 |
| Figura No 3.3. Montaje en paralelo de cubas de electrolisis.....                      | 66 |
| Figura No 3.4. Disposición de montaje de las barras en las cubas de Electrolisis..... | 67 |
| Figura No 3.5. Ánodos y cátodos acoplados a las barras.....                           | 67 |
| Figura No 3.6. Ganchos para las piezas.....   | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Figura No 3.7. Soporte para piezas pequeñas.....  | 69 |
| Figura No 3.8. Soportes para piezas de tamaño mediano.....  | 69 |
| Figura No 3.9. Forma de conexión y diferentes instrumentos de medida de voltaje e intensidad..... | 72 |
| Figura No 3.10. Medidor de intensidad.....  | 73 |
| Figura No 3.11. Medidor de voltaje con numeración de 0 a 16 voltios.....                          | 73 |
| Figura No 3.12. Regulador de voltaje del proyecto.....  | 73 |
| Figura No 3.13. Elemento transformador de corriente del proyecto.....                             | 74 |
| Figura No 3.14. Placa con dos salidas, positiva y negativa.....                                   | 74 |
| Figura No 3.15. Calentador de cuarzo o titanio.....   | 74 |
| Figura No 3.16. Calentador del proyecto.....  | 75 |
| Figura No 3.17. Soporte del calentador.....   | 75 |
| Figura No 3.18. Soporte y gancho para el cátodo.....  | 76 |
| Figura No 3.19. Soporte para los ganchos de las piezas.....                                       | 76 |
| Figura No 3.20. Ganchos para los ánodos y cátodos.....  | 76 |
| Figura No 3.21. Soporte para el termómetro.....   | 77 |
| Figura No 3.22. Conexión al cátodo y al ánodo.....  | 77 |
| Figura No 3.23. Cubas para los lavados.....   | 78 |
| Figura No 3.24. Cuba para el anodizado.....   | 78 |
| Figura No 3.25. Papel tornasol.....   | 78 |
| Figura No 3.26. Ácidos.....   | 79 |

## **CAPÍTULO IV.**

### **ANÁLISIS DE VARIABLES.**

|  |    |
|--|----|
| Figura No 4.1. Espesor de la alumina en función de la intensidad de corriente... | 82 |
| Figura No 4.2. Piezas de aluminio estrujado con anodizado decorativo.....        | 84 |
| Figura No 4.3. Piezas de aluminio con anodizado y coloreado.....                 | 84 |
| Figura No 4.4. Piezas de aluminio fundido realizada un anodizado.....            | 84 |

## **CAPÍTULO V.**

### **ENSAYOS EN LA CAPA ANÓDICA DEL MATERIAL TRATADO**

|   |    |
|---|----|
| Figura No 5.1. Dispositivo eléctrico para determinar la continuidad de los acabados anódicos..... | 86 |
|---|----|

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

|  |    |
|--|----|
| Tabla No 1.1. Composición a utilizar en un baño.....             | 22 |
| Tabla No 1.2. Ácidos y bases de decapado más importantes.....    | 23 |
| Tabla No 1.3. Ventajas Entre el decapado químico y mecánico..... | 28 |
| Tabla No 1.4. Tabla con diferentes números de lijas y usos.....  | 29 |

### CAPÍTULO II

#### RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS POR ANODIZADO

|  |    |
|--|----|
| Tabla No 2.1. Rendimiento electrolítico de diversas soluciones.....  | 31 |
| Tabla No 2.2. Resistividad de diferentes soluciones a 25°C.....  | 34 |
| Tabla No 2.3. Diversos grados (categorías) del aluminio anodizado.....   | 48 |
| Tabla No 2.4. Espesores de la capa Anódica.....  | 49 |
| Tabla No 2.5. Características del aluminio vs alumina.....   | 49 |
| Tabla No 2.6. Valores de concentraciones de ácido sulfúrico.....   | 51 |
| Tabla No 2.7. Características del anodizado resultante, de aplicar con<br>ácido sulfúrico y ácido crómico..... | 52 |
| Tabla No 2.8. Características con el pintado y el acero inoxidable.....  | 61 |
| Tabla No 2.9. Características anodizantes del aluminio.....  | 63 |

### CAPÍTULO IV.

#### ANÁLISIS DE VARIABLES.

|  |       |
|--|-------|
| Tabla No 4.1 Parámetros obtenidos de las probetas y la práctica..... | 80-81 |
| Tabla No 4.2 Datos obtenidos en las pruebas.....                     | 82    |

### CAPÍTULO VI.

#### COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Tabla No 6.1 Costos del proyecto..... | 89-90 |
|---------------------------------------|-------|

## INTRODUCCIÓN

En todos los pueblos de la tierra se ha registrado siempre una tendencia lógica e innata a mejorar los aspectos de los objetos tanto en aplicaciones como en estética.

En muchos ambientes naturales el aluminio y sus aleaciones muestran una excelente resistencia a la corrosión atmosférica, es uno de los metales más importante de los metales no ferrosos, este y sus aleaciones se usan ampliamente en la industria de arquitectura y construcción.

Por otra parte, la aparición del aluminio y sus tratamientos superficiales, especialmente el anodizado, han popularizado el uso de un material extremadamente ligero que no necesita mantenimiento.

El aluminio tiene propiedades como: su peso liviano (baja densidad), resistencia natural a la corrosión, y un potencial muy bajo este hace que al contacto con el aire, la superficie del aluminio y sus aleaciones, se recubren espontáneamente de una fina capa de óxido de aluminio.

El aluminio en si, luego del extruido o decapado, este material entra en contacto con el aire y forma por sí solo una delgada película de óxido con un espesor más o menos regular de 0,01 micrones denominada óxido de aluminio, ésta tiene algunas mínimas propiedades protectoras.

Este equipo realizado en este proyecto posee características no solo para el anodizado se puede utilizar en otro recubrimiento como el cableado.

En si el proceso de anodizado es una forma de proteger el aluminio contra de los agentes atmosféricos el cual se realiza artificialmente, mediante procesos adelante detallados.

## RESUMEN

Este proyecto está dirigido al estudio y construcción de un Equipo para Ensayos de Anodizado del Aluminio con el cual se podrá realizar las debidas practicas así obtener experiencia dentro de la industria de los Tratamientos Superficiales

El Estudio nos ayuda con el conocimiento para obtener de manera artificial películas de óxido de mucho más espesor y con mejores características de protección que las capas naturales. Estas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos. Se pueden obtener películas en las que el espesor es de 25 a 30 micrones en el tratamiento de protección o decoración y de casi 100 micrones con el procedimiento de endurecimiento superficial (Anodizado Duro).

El proceso industrialmente utilizado para lograr esta protección, se conoce como anodizado, mediante una forma controlada de parámetros importantes, la capa de espesor de la película anódica de  $Al_2O_3$  (Alumina) crece, sobre el aluminio y sus aleaciones.

Mediante las leyes de Faraday y controlando los parámetros se puede obtener la cantidad de material depositado en la superficie así como regular la capa de alumina esta puede ser en mayor o menor cantidad.

Los tipos de películas dependen principalmente del electrolito en que fueron formadas durante la anodización, para este caso tenemos 2 tipos y para la practica se utiliza el mas apropiado.

La infinidad de capas nos ayudan a obtener superficies de mejor calidad, adecuadas para diferentes aplicaciones. Ejemplo, en anodizado arquitectónico utilizado para Interiores y exteriores.

Con las capas obtenidas, se puede evitar corrosiones y desgates producidas por los agentes existentes en el medio ambiente, alargar su vida útil de las piezas con costos de mantenimientos muy bajos y en algunos casos cero.

Para la preparación de las piezas a someter al tratamiento se puede escoger el mejor proceso de limpieza los cuales pueden ser limpieza mecánica o química, mismos que están descritos en el presente trabajo.

Para realizar el tratamiento se construyó el equipo, mismo que constituye de componentes con medidas en menor escala, el cual puede ser empleado como una muestra para producción en grande, en empresas dedicadas en este campo.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

### 1.1 ELECTROQUÍMICA.

Es el estudio que trata de la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa.

La electroquímica es el estudio de las reacciones químicas que producen efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes.

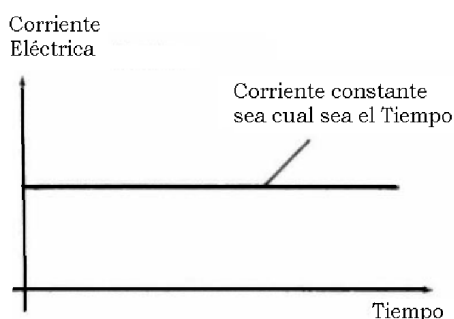
### 1.2 CORRIENTES ELÉCTRICAS.

Es el desplazamiento de cargas eléctricas en un conductor. La corriente eléctrica más generalizada consiste en el transporte de cargas negativas (electrones) a través de un conductor metálico y sin que se produzca ninguna alteración de éste, que actúa únicamente como sostén de los electrones.

Ya sabemos que la corriente eléctrica es el movimiento de electrones, ahora bien, atendiendo al sentido del movimiento de los electrones y a su cantidad, se puede hacer la siguiente clasificación de corrientes eléctricas.

#### 1.2.1 CORRIENTE CONTINÚA.

En cada instante los electrones circulan en la misma cantidad y sentido. Es el tipo de corriente generada por una pila o por una batería.



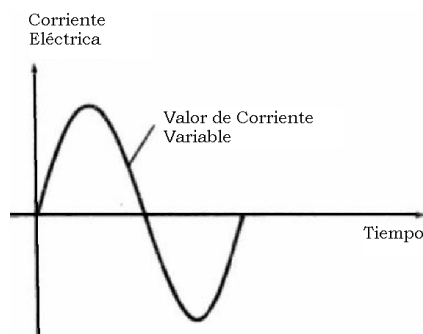
**Figura No 1.1**

Corriente constante de acuerdo al Tiempo

**Fuente:** Electricidad I

### 1.2.2 CORRIENTE ALTERNA.

Dependiendo del instante, los electrones circularán en un sentido o en otro, siendo también variable su cantidad. Es el tipo de corriente más empleada, siendo esta de la que se dispone en cualquier enchufe eléctrico de una vivienda.



**Figura No 1.2**

Corriente variable de acuerdo al Tiempo

**Fuente:** Electricidad I

### 1.2.3 INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

La intensidad del flujo de los electrones de una corriente eléctrica que circula por un circuito cerrado depende fundamentalmente de la tensión o voltaje (V) que se aplique y de la resistencia (R) en (ohm) que ofrezca al paso de esa corriente la carga o consumidor conectado al circuito. Si una carga ofrece poca resistencia al paso de la corriente, la cantidad de electrones que circulen por el circuito será mayor en comparación con otra carga que ofrezca mayor resistencia y obstaculice más el paso de los electrones.

La intensidad de una corriente eléctrica es la carga que atraviesa una sección de conductor por unidad de tiempo.

### 1.3 MEDIDAS ELÉCTRICAS.

El flujo de carga, o intensidad de corriente que recorre un cable conductor se mide por el número de culombios que pasan en un segundo por una sección determinada de cable. Un culombio por segundo equivale a 1 amperio ( $C/s=1A$ )

Aunque desde hace años el Sistema Internacional de Medidas (SI) estableció oficialmente como “**ampere**” el nombre para designar la unidad de medida del amperaje o intensidad de la corriente eléctrica, en algunos países de habla hispana se le continúa llamando “**amperio**”.



### 1.3.1 EL AMPERE.

Un ampere (1A) se define como la corriente que produce una tensión de un volt (1V), cuando se aplica a una resistencia de un ohm ( $1\Omega$ ).

Un ampere equivale una carga eléctrica de un coulomb por segundo (1C/seg) circulando por un circuito eléctrico, o lo que es igual,  $6\,300\,000\,000\,000\,000\,000 = (6,3 \cdot 10^{18})$  (seis mil trescientos billones) de electrones por segundo fluyendo por el conductor de dicho circuito. Por tanto, la intensidad (I) de una corriente eléctrica equivale a la cantidad de carga eléctrica (Q) en coulomb que fluye por un circuito cerrado en una unidad de tiempo.

#### 1.3.1.1 Los submúltiplos más utilizados del ampere son los siguientes:

- ✓ Mili ampere (mA) =  $10^{-3}$  A = 0,001 ampere
- ✓ Micro ampere (mA) =  $10^{-6}$  A = 0, 000 000 1 ampere.

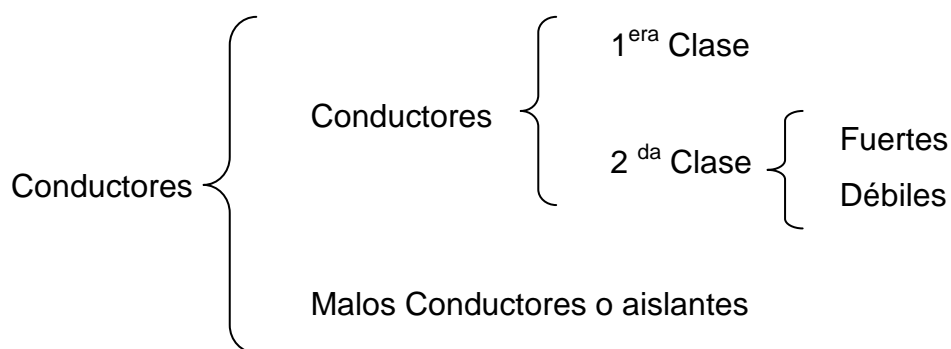
### 1.4 CONDUCTORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.

A veces, el conductor puede ser de naturaleza distinta (una disolución electrolítica, un gas ionizado o un semiconductor), en cuyo caso las cargas eléctricas que constituyen la corriente pueden ser negativas o positivas y alterar o no la naturaleza física y química del elemento conductor.

Cualquier material que ofrezca poca resistencia al flujo de electricidad se denomina conductor eléctrico, como las disoluciones la mayoría de los ácidos inorgánicos bases y sales, son buenos conductores de electricidad.

En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones, en disoluciones y gases se hace por movimiento de iones.

**Se clasifican en:**



## 1.4.1 CONDUCTORES.

**4.1.1.1 Conductores de primera clase:** Son aquellos que permiten fluir la electricidad sin sufrir alteraciones, a este grupo pertenece los metales.

**4.1.1.2 Conductores de segunda clase o electrolitos:** estos se ionizan, entonces conducen las corrientes eléctricas, como las soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, así también las sales fundidas.

**4.1.1.2.1 Fuertes.** Son los electrolitos que proporcionan disoluciones altamente conductoras se llama electrolitos fuertes como el Acido nítrico o el cloruro de sodio)

**4.1.1.2.2 Débiles.** Son los que producen disoluciones de baja conductividad reciben el nombre de electrolitos débiles como cloruro mercurioso ( $\text{HgCl}_2$ )

### 4.1.1.3 Malos Conductores o Aislantes.

Toda materia que impida el paso de corriente eléctrica se denomina mal conductor o aislador eléctrico como las disoluciones de azúcar, alcohol, glicerina y muchas otras sustancias orgánica, toda las sustancias conducen electricidad, como la plata o el cobre estos pueden tener una conductividad mil millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica.

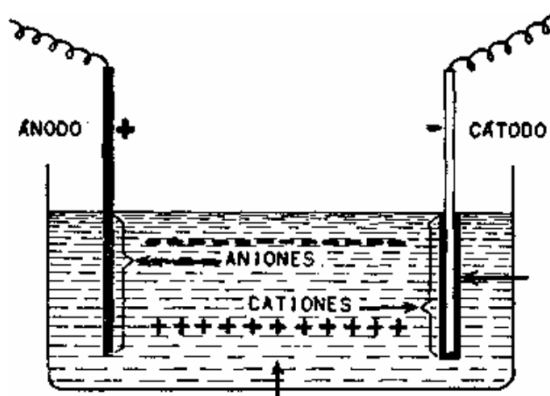
## 1.5 ELECTRÓLISIS.

La electrólisis es un proceso donde la energía eléctrica cambiará a energía química. El proceso sucede en un electrolito, una solución acuosa o sales disueltas que den la posibilidad a los iones ser transferidos entre dos electrodos. El electrolito es la conexión entre los dos electrodos que también están conectados con una corriente directa.

Si usted aplica una corriente eléctrica, los iones positivos migran al cátodo mientras que los iones negativos migrarán al ánodo. Los iones positivos se llaman cationes y son todos los metales. Debido a su valencia perdieron electrones y pueden tomar electrones. Los aniones son iones negativos. Llevan normalmente los electrones y entonces tienen la oportunidad de cederlos. Si los cationes entran en contacto con el cátodo, captan de nuevo los electrones que perdieron y pasan al estado elemental. Los aniones reaccionan de una manera opuesta. Si entran en

contacto con el ánodo, ceden sus electrones y pasan al estado elemental. En el electrodo, los cationes serán reducidos y los aniones serán oxidados.

Para controlar las reacciones en la célula usted puede elegir entre diversos materiales para el electrodo. Así como usted puede utilizar varios electrólitos para las reacciones y los efectos especiales. El electrolito contiene los iones, que conducen la corriente.



**Figura No 1.3**

Dirección de los electrones del ánodo al cátodo.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

## 1.6 LEYES DE FARADAY.

La ley de Faraday nos dice que la magnitud de la **fuerza electromotriz** (*Diferencia de potencial entre las terminales entendiendo que existe una resistencia  $R$  asociada al circuito.*) inducida en un circuito es igual a la razón de cambio del flujo magnético a través del circuito.

### 1.6.1 PRIMERA LEY DE FARADAY.

La masa de un elemento depositada en una célula electrolítica es independiente de la composición química del electrolito, con la condición de que funcione siempre con la misma valencia.

Si se conectan en serie varias celdas conteniendo soluciones de sales de diferentes metales como por ejemplo,  $\text{CuSO}_4$  y  $\text{AgNO}_3$  se puede comprobar que las cantidades depositadas son químicamente equivalentes, lo cual significa que están en la misma relación de los equivalentes químicos, o sea, el cociente entre el peso atómico y la valencia del metal.

**Ejemplo**

Para el caso anterior se tiene:

Pesos atómicos:

$$Cu : 63,57 \left[ \frac{gr}{mol} \right]$$

$$Ag : 107,88 \left[ \frac{gr}{mol} \right]$$

Valencias:

$$Cu : +2$$

$$Ag : +1$$

Si se denota por “**M<sub>1</sub>**” al equivalente químico del **Cu** y “**M<sub>2</sub>**” al de la plata, se cumple:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{63,57/2}{107,88/1} = 0,2947$$

Relación que se cumple siempre y cuando no existan fenómenos secundarios como dilución de las especies depositadas reacciones químicas posteriores.

Si se depositan elementos distintos en los electrodos de la misma célula se verifica algo similar lo cual puede enunciarse mediante la segunda ley de Faraday.

**1.6.2 SEGUNDA LEY DE FARADAY.**

Las masas de diversos elementos depositados en un mismo circuito son proporcionales a sus pesos atómicos e inversamente proporcionales a la valencia. Se deduce luego que las cantidades depositadas son proporcionales a los equivalentes químicos de modo que se cumple:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{P.A_1/v_1}{P.A_2/v_2}$$

Donde “**P.A.**” es el peso atómico, “**M**” es el equivalente químico y “**V**” es la valencia.

**1.6.3 TERCERA LEY DE FARADAY.**

La masa de un elemento depositado en una celda electroquímica, depende de la cantidad total de electricidad que circule por ella y es proporcional a ésta.

Se tiene:

$$M = E \cdot q$$

**Donde:**

“E” es una constante para cada elemento conocida como equivalente electroquímico y representa la masa del elemento depositada por unidad de electricidad y “q” es la cantidad de electricidad.

Si la corriente es de intensidad constante se tiene:

$$q = i \cdot t$$

$$M = E \cdot i \cdot t$$

**Donde:**

“q” se mide en coulombs, “t” es el tiempo en segundos e “I” se mide en amperes (C/s).

Así se cumple además:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{E_1 \cdot q}{E_2 \cdot q} = \frac{E_1}{E_2}$$

Se obtiene:

$$\frac{E}{\frac{P.A.}{v}} = cte.$$

Se denomina por peso equivalente a una cantidad del elemento químico que cumple con la condición de que el peso expresado en gramos sea igual a su equivalente químico. Por tanto la cantidad de electricidad necesaria para depositar un peso equivalente de un elemento es:

$$M = E \cdot q$$

$$q = \frac{M}{E}$$

$$M = \frac{P.A.}{v} (gr)$$

$$q = \frac{\frac{P.A.}{v}}{E} = F$$

Donde F es la conocida constante de Faraday.

Luego:

$$E = \frac{1}{F} \frac{P.A.}{v}$$

$$M = \frac{1}{F} \frac{P.A.}{v} q$$

### 1.6.4 NÚMERO DE FARADAY.

Para depositar el equivalente electroquímico de cualquier elemento se necesita la misma cantidad de electricidad, la constante o número de Faraday (F) es de 96500 culombios (96494)

#### **Ejemplo.**

Para depositar. 1.008g de  $H^+$ , 107.8g de  $Ag^+$ , 31.75g de  $Cu^{++}$  O 63.5g de  $Cu^+$  son necesarios 96500 culombios.

Se debe aclarar que, 96500 culombios = carga de  $6.02 \times 10^{23}$  electrones de lo que se deduce que la carga de un electrón es  $1.6 \times 10^{-19}$  culombios.

### 1.6.5 EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO.

El Equivalente electroquímico de una sustancia es el peso de la misma sustancia en miligramos (mg) que se deposita sobre la superficie del metal durante el proceso de electrolisis esta en función de la cantidad de electricidad y del tiempo.

## 1.7 PESO DEL METAL DEPOSITADO DURANTE LA ELECTROLISIS.

En todos los casos, la cantidad de material que se deposita en cada electrodo al pasar la corriente por un electrolito sigue la ley enunciada por el químico físico británico Michael Faraday. Esta ley afirma que la cantidad de material depositada en cada electrodo es proporcional a la intensidad de la corriente que atraviesa el electrolito, y que las masas de distintos elementos depositados por la misma cantidad de electricidad son directamente proporcionales a las masas equivalentes de los elementos, es decir, a sus masas atómicas divididas por sus valencias.

La ecuación para el cálculo del peso del metal depositado es:

$$P = Eq \times I \times t$$

#### **Donde:**

$P$  = peso del metal depositado. (mg)

$Eq$  = Equivalente Electroquímico.

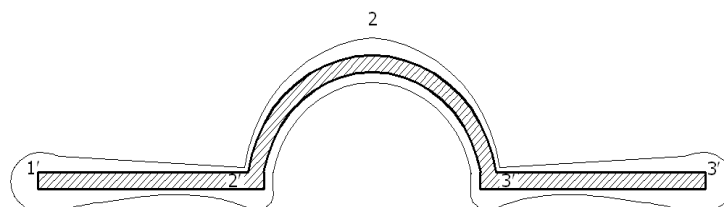
$I$  = Intensidad de Corriente. (A/dm<sup>2</sup>)

$t$  = Tiempo (S)

## 1.8 PODER DE PENETRACIÓN.<sup>1</sup>

Facultad que tiene un electrolito para repartir con regularidad la capa metálica depositada sobre un objeto de formas complejas, sobre las partes con relieve de dicho objeto y en sus aristas partes que siempre reciben mayor densidad de corriente haciendo referencia en la figura No 1.4 en la que se muestra un objeto de forma irregular.

Se dirá entonces que el poder de penetración es bueno si el espesor depositado en 1, 2 y 3 es decir sobre las aristas y las salientes del objeto, es prácticamente el mismo o difieren un poco del espesor depositado en 2' y 3' es decir en zonas cóncavas



**Figura No 1.4**

Disminución del espesor de recubrimiento electrofítico en una superficie irregular

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrofíticos. Pág.28

Los recubrimientos distribuyen su espesor en la forma que se indica en la figura anterior, si se utiliza un electrolito de poco poder de penetración se registran grandes diferencias de espesor entre 1, 2, 3 y 2', 3'

## 1.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE.

La destrucción o la pérdida de las características constructivas de estos materiales es la consecuencia inmediata de la misma, y la velocidad de desgaste o de pérdida del material en un plazo de tiempo es la medida empleada para determinar los riesgos que ésta conlleva.

El desgaste en instalaciones de transporte y almacenamiento de fluidos provoca principalmente perforaciones y debilitamiento de tanques y tuberías de acero enterradas. Sumergidas o que contienen un fluido conductor. Aunque también

<sup>1</sup>ARBELLOT L. Manual Practico de Recubrimientos electrofíticos. Pág.31

afecta a las estructuras mecánicas de soporte y a todos los sistemas de puesta a tierra.

### 1.9.1 DESVENTAJAS

- Pérdida de producto.
- Aumento del riesgo de accidentes personales.
- Aumento del riesgo de incendio y explosión.
- Aumento del riesgo de contaminación ambiental.
- Paros del proceso o servicio.
- Contaminación del producto.
- Elevados costes de reparación.
- Degradación de estructuras y sistemas.

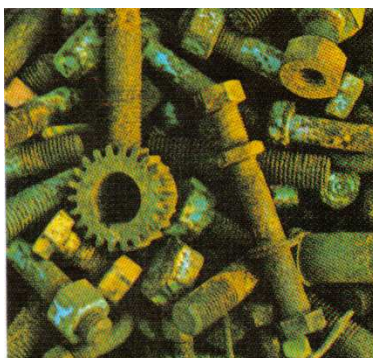
La solución para controlar este tipo de desgaste es la protección de la superficie con una capa impermeable, es el más barato y por ello el más común. Este método es válido mientras no aparezcan grietas en la capa exterior, en cuyo caso la oxidación se produce como si no existiera dicha capa.

## 1.10 TIPOS DE DESGASTES.

### 1.10.1 DESGASTE.

La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.

### 1.10.2 OXIDACIÓN:



**Figura No 1.5**

Oxidación en los metales que están expuestos al agua y oxígeno.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1117



Degeneración por el ataque del oxígeno a un material o lubricante. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos.

Las lacas transparentes se emplean en grado limitado para evitar el empañado y oxidación de las superficies metálicas pulimentadas.

#### **1.10.2.1 Desgaste por oxidación.**

Se refiere a la combinación de oxígeno con otra sustancia para producir un compuesto llamado óxido. El hierro, en presencia de agua, reacciona con el oxígeno de la atmósfera formando un óxido de hierro hidratado, conocido comúnmente como orín.

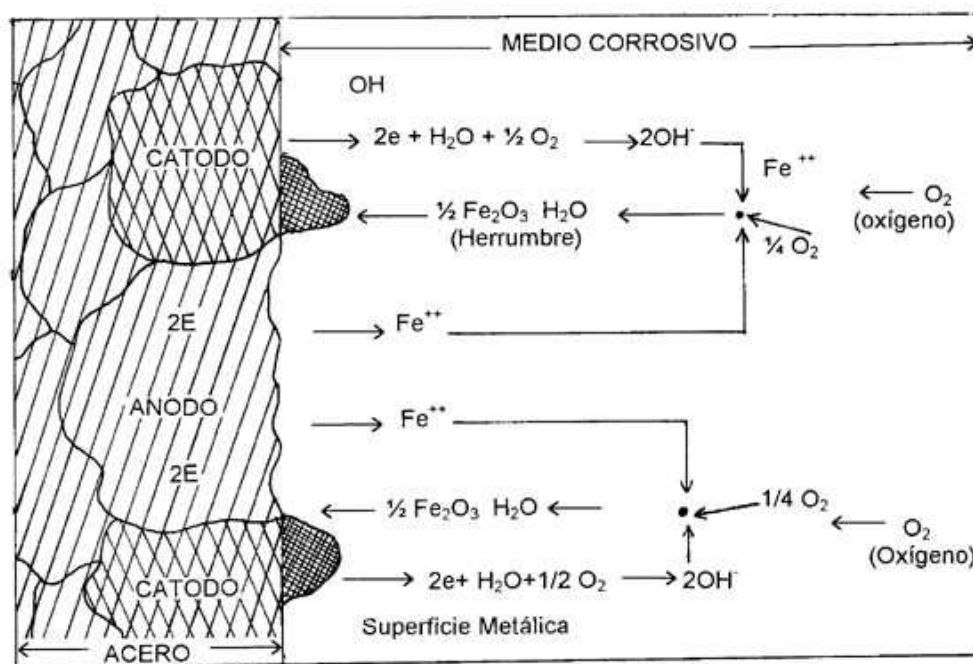
#### **1.10.2 CORROSIÓN.**

Ataque gradual sobre un metal producido por la atmósfera, la humedad y otros agentes así la destrucción lenta y progresiva de un material producida por el oxígeno del aire combinado con la humedad.

Los procesos de corrosión son procesos químico y electroquímico, ya que en la superficie del metal se generan micropilas galvánicas en las que la humedad actúa como electrolito.

Por consiguiente, se producen dos reacciones químicas simultáneas: *una reacción anódica y una reacción catódica.*

- *La reacción anódica.*- Tiene lugar en la superficie del metal, que actúa como ánodo y cede electrones, con lo que se forma el óxido correspondiente.
- *La reacción catódica.*- Consiste en la captura de los electrones por los radiales y el posterior desprendimiento de hidrógeno gas.



**Figura No 1.6**

Material visto en un medio corrosivo

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1126

### 1.10.2.1 Protección Contra La Corrosión.

Como los tratamientos superficiales no alteran las propiedades mecánicas del metal base, cuando se desea protegerlo de la corrosión, se recurre a diferentes técnicas de recubrimiento.

Los diferentes métodos empleados pueden clasificarse en varios grupos y subgrupos.

### 1.10.2.2 El Proceso De Corrosión.

Los metales escasamente son encontrados en su estado puro. Casi siempre se los encuentra en combinación química con uno o más elementos no metálicos. El mineral es generalmente una forma oxidada de metal. Por tanto se debe aplicar una cantidad significativa de energía para transformar el mineral en metal puro. Esta energía puede aplicarse por vías metalúrgicas o químicas.

También debe aplicarse energía adicional bajo la forma de trabajo en frío, o procesos de fundición necesarios para transformar el metal puro en una pieza de trabajo.

### 1.10.2.3 Desgaste por corrosión.

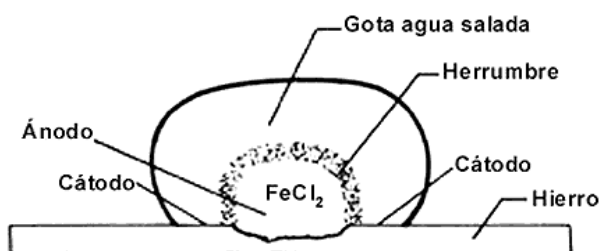


**Figura No 1.7**

Corrosión en materiales que no poseen ningún recubrimiento superficial.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1133

La corrosión está relacionada con una reacción de transferencia de electrones, y por tanto, con el paso de una corriente eléctrica de corrosión entre un ánodo y un cátodo. A través de un medio conductor (agua, suelo).



**Figura No 1.8**

Ataque producido por una gota de agua salada.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1125

## 1.11 FORMAS DE CORROSIÓN.

### 1.11.1 ELECTROQUÍMICA.

Aunque el aire atmosférico es el medio más común, las soluciones acuosas son los ambientes que con mayor frecuencia se asocian a los problemas de corrosión. En el término solución acuosa se incluyen aguas naturales, suelos, humedad atmosférica, lluvia y soluciones creadas por el hombre. Debido a la conductividad iónica de estos medios, el ataque corrosivo es generalmente electroquímico.

### 1.11.2 CORROSIÓN UNIFORME.

La corrosión uniforme puede ser descrita como una reacción de corrosión que ocurre por igual en toda la superficie del material, causando una pérdida general del metal.

### 1.11.3 CORROSIÓN GALVÁNICA.

Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo.

### 1.11.4 LOCALIZADA.

La segunda forma de corrosión, en donde la pérdida de metal ocurre en áreas discretas o localizadas.



**Figura No 1.9**

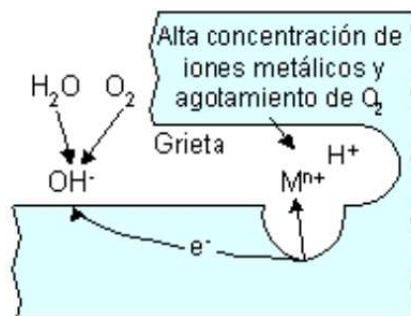
Sección de tubería de un sistema de agua, presentando corrosión localizada

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1130

Al igual que la General/Uniforme, la corrosión Localizada se subdivide en otros tipos de corrosión.

#### 1.11.4.1 Corrosión por Fisuras o “Crevice”.

La corrosión por *crevice* o por fisuras es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos (Ver Fig. 1.10) formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no metálico. En las fisuras de ambos metales, que también pueden ser espacios en la forma del objeto, se deposita la solución que facilita la corrosión de la pieza. Se dice, en estos casos, que es una corrosión con ánodo estancado, ya que esa solución, a menos que sea removida, nunca podrá salir de la fisura. Además, esta cavidad se puede generar de forma natural producto de la interacción iónica entre las partes que constituyen la pieza.



**Figura No 1.10**

Corrosión por fisuras producida por el contacto del metal con el Agua y el oxígeno.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1119

Algunas formas de prevenir esta clase de corrosión son las siguientes:

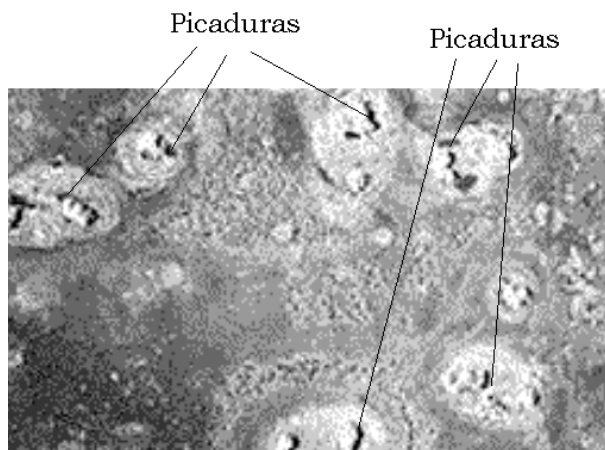
- rediseño del equipo o pieza afectada para eliminar fisuras.
- cerrar las fisuras con materiales no absorbentes o incorporar una barrera para prevenir la humedad.
- prevenir o remover la formación de sólidos en la superficie del metal.

#### 1.11.4.2 Corrosión por Picadura o “Pitting”.

Es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas “picaduras” (Ver Fig. 1.11) en el cuerpo que afectan. Puede observarse generalmente en superficies con poca o

casi nula corrosión generalizada. Ocurre como un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.

Esta clase de corrosión posee algunas otras formas derivadas:



**Figura No 1.11**

Picaduras en toda la superficie del material.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1118

#### **1.11.4.3 Corrosión por Fricción o Fretting.**

Es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultadas por los productos de la corrosión y sólo son visibles cuando ésta es removida.

#### **1.11.4.4 Corrosión por Cavitación.**

Es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal (en contacto con un líquido). Es un fenómeno semejante al que le ocurre a las caras posteriores de las hélices de los barcos. Genera una serie de picaduras en forma de panal.

#### **1.11.4.5 Corrosión Selectiva.**

Es semejante a la llamada Corrosión por Descincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este caso, es selectiva

porque actúa sólo sobre metales nobles como al Plata-Cobre o Cobre-Oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

#### **1.11.5 CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA (MIC).**

Es aquella corrosión en la cual organismos biológicos son la causa única de la falla o actúan como aceleradores del proceso corrosivo localizado.

La MIC se produce generalmente en medios acuosos en donde los metales están sumergidos o flotantes. Por lo mismo, es una clase común de corrosión.

#### **1.11.6 CORROSIÓN ÍNTER GRANULAR.**

Es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.

#### **1.11.7 CORROSIÓN POR ESFUERZO.**

Se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

### **1.12 MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE LOS METALES CONTRA LA CORROSIÓN.**

Las medidas utilizadas para combatir la corrosión están las siguientes:

- Uso de materiales de gran pureza.
- Presencia de elementos de adición en aleaciones, ejemplo aceros inoxidables.
- Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones.
- Inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, ejemplo los anticongelantes usados en radiadores de los automóviles.
- Recubrimiento superficial: pinturas, capas de oxido, recubrimientos metálicos
- Protección catódica.

## 1.13 MÉTODOS DE LIMPIEZA.

### 1.13.1 MECÁNICOS.

Con este método de preparación de superficies se eliminan la calamina que no está firmemente adherida, las pinturas deterioradas, el óxido y los demás productos de la corrosión. Se emplean para ello, maquinarias eléctricas como cepillos giratorios de alambre, discos abrasivos o pulidores.

#### 1.13.1.1 Desbaste.

Es un método de limpieza superficial mecánica para eliminar excesos y corregir defectos superficiales.

##### *1.13.1.1.1 Desbaste Grueso.*

Se trata de arrancar gran cantidad de viruta por esta razón los útiles de desbastar son de construcción robusta.

Una vez que la superficie se encuentra libre de capas de **pintura**, o capas superficiales de óxido, se procede a efectuar un **desbaste** fino.

##### *1.13.1.1.2 Desbaste Fino.*

Se trata de obtener una superficie cuidadosamente terminada.

El **desbaste** fino, se realiza mediante la aplicación en la superficie del material de lijas sucesivas con los siguientes tamaños de grano: **120, 180, 240, 320, 400, 600 y hasta 1000.**

##### *1.13.1.1.3 Defectos.*

Rasguños, manchas de calentamiento Rugosidades Marcas de electrodos Salpicaduras Marcas de decapante de soldadura de soldadura Residuos de adhesivos.

##### *1.13.1.1.4 Pulido.*

Una vez finalizado el **desbaste**, se procede a pulir la pieza. Para el pulido utilizamos la misma herramienta utilizada para el **desbaste** fino, pero con paños



de pulido y como agente abrasivo se recomienda ampliamente pastas de diamante con los siguientes tamaños de grano: **9 mm, 3mm, 1mm**.

#### **1.13.1.2 Cepillado.**

El alambre apropiado para cada aplicación debe ser seleccionado según las características del cepillo, incluyendo el tipo de alambre.

#### **1.13.1.3 Chorro Mecánico (Arena).**

Consiste en la preparación de las superficies del aluminio para el tratamiento proyectando granos abrasivos por soplo de aire comprimido, o por la fuerza centrífuga de un rotor.

##### **1.13.1.3.1 Composición química.**

- Sílice, cuarzo cristalino (inhalable).
- Nombre químico: dióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$ .
- Composición: 95% mínimo de  $\text{SiO}_2$ .
- Excedente:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ .
- Nombre vulgar: arena de sílice, polvo de sílice, arena pulverizada, arena de filtro, grava de filtro.



**Figura No 1.12**

Limpieza de superficie mediante chorro de arena.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1150

#### ***1.13.1.3.2 Otros materiales utilizados.***

- Sirven para el caso de diversos materiales que tengan propiedades de alta dureza: granalla de acero, granos de acero o hierro fundido, producto sintético granos de vidrio, óxido, carborundum y otros semejantes.
- También pueden usar materiales de baja dureza, cáscara de arroz, de nuez, de maní y sustancias parecidas. Estos abrasivos son generalmente utilizados en instalaciones donde se pueda establecer un circuito cerrado, con elevada tasa de reciclaje. La arena, es el único abrasivo de posible aprovechamiento económico en instalaciones de obra.
- Inhibidores de corrosión para arenado de superficies, son utilizados en los casos de limpieza húmeda, y en limpieza seca convencional con ambiente de una humedad sobre el 85%.

#### ***1.13.1.3.3 Condiciones.***

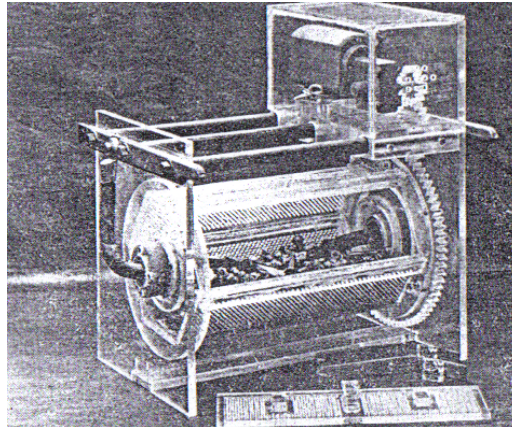
- Condiciones mínimas de aceites y grasas podrán ser removidas por el propio chorro. El abrasivo aplicado podrá ser reutilizado.
- La superficie limpiada no debe ser tocada con las manos.
- En condiciones normales de humedad y temperatura, el intervalo máximo entre la limpieza y la aplicación de pintura no podrá exceder de 6 horas.
- Cuidados especiales deben ser tomados en la limpieza de cordones de soldadura locales, éstos, por su naturaleza, tienen acentuada porosidad.
- Todos los residuos de escoria, fundentes y salpicaduras de soldadura deben ser removidos por el arenado.
- Con respecto a la calidad, la arena debe contener alto porcentaje de sílice, bajo porcentaje de arcilla, no estar contaminada con sales solubles.
- La arena o cualquier abrasivo precisan estar en estado completamente seco, salvo cuando se trata de arenado de abrasivo húmedo o cuando es el agua la que hace las veces de líquido propulsor.

#### ***1.13.1.4 Volteo Con Barril.***

Operación en la cual las partes o piezas metálicas, se colocan en un tambor o barril hasta que esté casi lleno, junto con trozos metálicos o abrasivos; algunas

veces se colocan compuestos químicos destinados a ejercer algún tipo de protección a dichas piezas.

Transmitiendo movimiento al barril, se consigue que el abrasivo y el compuesto ataquen las superficies de las piezas, lográndose el acabado requerido.



**Figura No 1.13**

Limpieza de superficie mediante un barril

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1201

#### ***1.13.1.4.1 Características del Barrilado.***

- Extraordinaria uniformidad a una serie de piezas, trabajándolas simultáneamente.
- Elevado rendimiento del operario/hora, pues el proceso lo efectúa la máquina.
- Es uno de los métodos mas utilizados para el acabado superficial.
- El barrilado es un método económico de limpieza.
- Con la carga (abrasivo) que se utilice, se podrá llegar a todos los rincones de la superficie a limpiar, llegando hasta una precisión de 0.01 mm.
- Instalaciones más complejas (requiere un diseño específico según el tipo de piezas a tratar).

#### **1.13.2 QUÍMICOS.**

Antiguo sistema empleado para eliminar calamina del acero. Existen varios procesos que se utilizan todavía, entre ellos el sistema duplex de ácidos agresivos y pasivadores.

Una desventaja de los baños químicos es que deja el acero limpio pero sin el "perfil de rugosidad.

**Tabla No 1.1**

| CARACTERÍSTICAS       | PARÁMETROS    |
|-----------------------|---------------|
| Poli sulfuro se Sodio | 2,1 a 3,5 g/l |
| Soda o amoniaco       | 0,75 g/l      |
| Temperatura           | 20 a 25°C     |
| Tiempos de inmersión  | 30 s a 1 min  |

Composición a utilizar en un baño Químico

**Fuente:** Corrosión y Protección.

#### 1.13.2.1 Decapado.

- Consiste en la eliminación de los óxidos de la superficie del metal base mediante su disolución química o electroquímica.
- El decapado químico, el más usado por su bajo costo, se realiza por medio de ácidos.
- Los Ácidos más empleados son el sulfúrico, el clorhídrico o el fosfórico, aunque en algunos caso también se emplean mezclas y diferentes proporciones de ácido nítrico, el fluorhídrico, crómico y el fluoruro sódico.
- El decapado es la operación necesaria para eliminar completamente la sutil película de acero y las partículas de óxidos de la superficie de la pieza trabajada, para evitar que se inicie un proceso de corrosión y por motivos estéticos.

Solamente después de la operación de decapado, la superficie está preparada para pasar al otro proceso. La norma ASTM A380 da una serie de soluciones para limpieza química y tratamiento ácido

Tabla No 1.2

| TIPO Acido/Base | CONC. INICIAL | DISOLUCIÓN FINAL MAS HABITUAL | TEMPERATURA DE TRABAJO T°C | TIPO DE METAL A DECAPAR                   |
|-----------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|---|
| HC1             | 33%           | 18%                           | 20-30/80                   | Hierro y acero no aleado                  |
| H2SO4           | 98%           | 5-35%                         | 50-80                      | Hierro y acero no aleado, cobre, aluminio |
| HNO3            | 60%           | 5-30%                         | 50(?)                      | Cobre y acero inoxidable                  |
| HF              | 70%           | 3-10%                         | 50(?)                      | Acero inoxidable (como mezcla)            |

Ácidos Y Bases De Decapado Mas Importantes

**Fuente:** Corrosión y Protección.

**1.13.2.1.1** *La operación de decapado se puede efectuar de las siguientes maneras:*

- Inmersión de la pieza en baños químicos.
- Aplicación de gel o pastas decapantes en la zona alterada.
- Utilización de productos abrasivos en la zona alterada.
- Utilización de pulidores electrolíticos como CLINOX en la zona alterada.

**1.13.2.1.2** *Parámetros a Utilizar.*

- Tipo de Acido.
- Concentración del ácido.
- Temperatura del ácido.
- Concentración del Hierro.

**1.13.2.2** **Desengrasado.**

Es una operación de limpieza superficial necesaria para eliminar las grasas e impurezas (moléculas orgánicas, principalmente carbono) depositadas en la superficie de la pieza antes de realizar cualquiera de los procesos previos de

tratamiento ya sea térmico, termoquímico ó superficial y que pueden interferir con el proceso ó el tratamiento de protección.

*El procedimiento de limpieza por desengrasado puede efectuarse de las siguientes maneras:*

#### ***1.13.2.2.1 Por Disolventes Líquidos.***

Mediante este proceso, las piezas se someten ó se cepillan con un disolvente adecuado, que puede ser gasolina. Si la cantidad de escoria es muy grande se usa cepillos metálicos.

Cuando se necesita desengrasar continuamente se usan depósitos con rejillas. Los sedimentos se acumulan en el fondo y pueden ser evacuados por un desagüe. La limpieza de las piezas debe realizarse con cuidado y se las seca con aserrín.

#### ***1.13.2.2.2 Por Vapores Disolventes.***

Se utiliza en productos que necesitan buen acabado exterior.

El método extrae perfectamente los residuos.

El disolvente se evapora con un calentador, el vapor extrae los residuos y cae en estado líquido de nuevo hacia el condensador.

#### ***1.13.2.2.3 Por soluciones alcalinas.***

Es un método antiguo, aunque todavía se utilice en ciertos talleres de reducida producción.

Se efectúa en recipientes de gran tamaño, para lo cuál se calienta la solución y se agita con aire.

Los compuestos pueden ser sosa cáustica, carbonato de sodio y fosfato trisódico. Antes de retirar las piezas del recipiente se retira la espuma para no arrastrar residuos.

Finalmente se enjuaga para darle los siguientes procesos de acabado.

Se emplea con bastante frecuencia para la preparación de piezas destinadas a ser niqueladas en tambor.

#### ***1.13.2.2.4 Por Electrólisis.***

Las piezas sujetas son sumergidas en un baño de desengrase electrolítico a partir de sosa cáustica y cianuro sódico, o incluso de carbonato sódico o fosfato sódico. Se conectan las piezas a la barra catódica bajo fuente de densidad de corriente de 10 a 15 A/dm<sup>2</sup>. Las burbujas de hidrógeno que se desprenden violentamente de la superficie de las piezas realizan una acción mecánica muy favorable que provocan el desprendimiento de los residuos.

#### ***1.13.2.2.5 Inmersión.***

Esta operación se realiza para quitar restos de grasas, aceites o suciedades que existen en las piezas, como producto de las operaciones de corte, sumergiendo las piezas en soluciones alcalinas, o en disolventes orgánicos.

Esta operación se lleva a cabo a temperaturas superiores a los 60°C

##### ***1.13.2.25.1 Soluciones Utilizadas.***

Las más comunes son aquellas que contienen ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), con una concentración de alrededor del 20%, para eliminar la coloración y los óxidos de soldadura se sugiere una solución de ácido nítrico al 10% con 2% de ácido fluorhídrico, también se utiliza el cloruro de hidrógeno (HCl) y desinfectantes, como el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

##### ***1.13.2.25.2 Impurezas Que Remueve.***

- Las incrustaciones de hierro.
- Las coloraciones de soldaduras.
- La capa reducida en cromo que se encuentra debajo de los óxidos y coloraciones de soldadura.
- Remueve el óxido.
- Aceites, grasas.
- Tierra.

En este método los baños son rápidamente contaminados con grasa y aceites que tienen las superficies a limpiarse.

### **1.13.2.1 Limpieza Electrolítica.**

La limpieza electrolítica es una limpieza en la cual la pieza es sumergida en baños alcalinos o ácidos con inducción de corriente.

#### ***1.13.2.1.1 Las impurezas que eliminan este tipo de limpieza son:***

- Las incrustaciones de hierro.
- Las coloraciones de soldaduras.
- La capa reducida que se encuentra debajo de los óxidos.
- Las capas superficiales alteradas por tratamiento mecánico y de pulido.

La limpieza electrolítica debe ser precedida por un cepillado para retirar los productos de corrosión adheridos en forma débil.

Deben tomarse las debidas precauciones para asegurar un buen contacto eléctrico con la pieza, evitando la contaminación de la solución de limpieza con iones metálicos fácilmente reducibles, y para asegurar que no se produzca una descomposición del inhibidor.

#### ***1.13.2.1.2 Pulido Electrolítico.***

Es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser limpiado actúa como ánodo. Funciona básicamente debido que, al disolverse el metal bajo la circulación de corriente, se forma una capa viscosa de productos de la disolución, la cual se va difundiendo lentamente en el baño electrolítico.

#### **Ventajas.**

- El uso de este proceso permite obtener superficies lisas y brillantes.
- Tratar piezas de forma irregular y de gran tamaño, en un tiempo corto y con gran ahorro de mano de obra.
- Aumentar la resistencia a la corrosión ya que el proceso permite eliminar las capas superficiales formadas por labores de laminación y pulido.
- Eliminar la coloración debida a procesos de soldadura o calentamiento, ahorrándose el proceso manual de su eliminación.
- Limpiar piezas de formas intrincadas, en las que otros métodos resulta inaccesible. Esto es posible lograrlo en un solo tratamiento, proporcionando



un aspecto uniforme en toda la superficie, lo cual sería difícil de lograr mediante métodos convencionales.

- Disminuir el tiempo y costo del pulido, debido a la posibilidad de automatización del proceso, ahorro en insumos y mano de obra.

#### ***1.13.2.1.3 Decapado Electrolítico.***

El material actúa como ánodo o cátodo dentro de un baño electrolítico. Presenta ventaja por la velocidad de la operación y la eliminación de la cascarilla de óxidos metálicos y cascarilla de la superficie de la pieza.

Según el tipo de óxido a eliminar se utilizan baños ácidos en frío o en caliente.

Entre los principales compuestos que se utilizan se pueden destacar:

- ácido clorhídrico,
- ácido sulfúrico,
- agentes inhibidores.

#### **1.13.2.2 Limpieza Con Disolventes.**

Realmente no es un sistema de preparación de superficie, pero se utiliza para eliminar aceites, grasas y otros contaminantes, empleando disolventes.

La limpieza con disolventes no elimina completamente la contaminación aceitosa y debe complementarse con el lavado con agua y agentes limpiadores.

#### **1.13.2.3 Limpieza Con Ajustadores.**

Realmente no es un sistema de preparación de superficie pero se utiliza para eliminar aceites, grasas y otros contaminantes. La limpieza con solventes no elimina completamente la contaminación aceitosa y debe complementarse, previamente lavando con agua y agentes limpiadores.

Tabla No 1.3

| TIPOS                                 | VENTAJAS  | DESVENTAJAS   |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>DECAPADO QUÍMICO</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buen acabado superficial (liso y uniforme).</li> </ul> <p>Buen ataque del ácido de forma prácticamente independiente de la forma de la pieza a decapar</p>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo de productos tóxicos.</li> <li>• Formación de vapores corrosivos que repercuten en el ambiente de trabajo.</li> <li>• Necesidad de tratar los efluentes previamente a su vertido.</li> <li>• Necesidad de gestionar adecuadamente un elevado volumen de residuos (baños agotados).</li> </ul> |
| <b>DECAPADO MECÁNICO (GRANALLADO)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere la utilización de productos químicos tóxicos.</li> <li>• El volumen y toxicidad de los residuos generados es mínimo.</li> <li>• Ambiente de trabajo mejor y más limpio.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones más complejas (requiere un diseño específico según el tipo de piezas a tratar).</li> <li>• Peor acceso de la granalla en las concavidades de las piezas.</li> <li>• Necesidad de realizar un mantenimiento adecuado de las boquillas.</li> </ul>                                       |

Ventajas Entre El Decapado Químico Y Mecánico

**Fuente:** Corrosión y Protección.

### 1.13.3 LIMPIEZA MANUAL.

Es la forma tradicional de remoción manual de calamina floja, pintura y óxido del aluminio y otras superficies, este método se encuentra en talleres pequeños y grandes dedicados a la producción de productos metálicos de pequeña y gran

escala esta limpieza se realiza con cepillos de alambre, martillos, rasquetees, papeles, telas abrasivas.

Siempre con movimientos constantes para su total remoción



**Figura No 1.14**

Instrumentos para limpieza Manual. Cepillos, lijas.

**Fuente:** Enciclopedia Autodidáctica Océano Volumen 5. Pág. 1110

**Tabla No 1.4**

| USOS   | PAPEL DE LIJA No |
|--|------------------|
| Para lijar lamina.....                           | 150 o 180        |
| Para lijar pinturas antiguas.....                | 120              |
| Para lijar pinturas antiguas en buen estado..... | 240 o 320 o 360  |
| Lijar masillas.....                              | 120 o 180 o 220  |
| Lijar Fondos.....                                | 320 o 360 o 400  |

Tabla con diferentes números de lijas y usos.

**Fuente:** Corrosión y Protección.

## CAPÍTULO II

### RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS POR ANODIZADO.

#### 2.1 ELECTROLITOS.

El electrolito tiene una importancia capital sobre los fenómenos que se desarrollan en la superficie anódica.

Se pueden señalar dos tipos de reacciones anódicas:

1. En los electrolitos que no tienen acción disolvente sobre la capa de oxido, se forma una película muy adherente y no conductora. El crecimiento de la película se realiza hasta que su resistencia impide a la corriente llegar al ánodo. Se forma una capa llamada Capa Barrera.
2. En los electrolitos que tienen una acción disolvente sobre la capa de oxido, si el metal mismo es disuelto y si los productos de reacción son solubles en el electrolito, no se forma la capa de oxido. Si los productos de reacción son poco solubles, puede existir formación de una película de gran adherencia, en la que el crecimiento va acompañado de una disolución que origina una capa porosa conductora cuando están en el electrolito y no conductora cuando las piezas son lavadas y secas

##### 2.1.1 RENDIMIENTO ELECTROLÍTICO.

El rendimiento electrolítico es el peso del metal efectivamente depositado sobre el cátodo. Ánodo en el caso del Anodizado, en relación al peso teórico que resulta por la aplicación de la ley de faraday.

Este rendimiento es muy variable en función del elemento que conforme la solución.

##### **Ejemplo.**

Para el cromo el rendimiento no excede del 15% pero a menudo es el origen del 90% o mayor aun, puede también definirse el rendimiento como la relación entre el peso del metal efectivamente utilizado en la electrolisis y el peso total introducido como ánodo.

Tabla No 2.1

| SOLUCIÓN           | RENDIMIENTO % |
|--------------------|---------------|
| Cádmio             | 90 a 95       |
| Cromo              | 10 a 15       |
| Cobre (sulfato)    | 96 a 100      |
| Cobre (cianuro)    | 40 a 65       |
| Níquel             | 95 a 98       |
| Estaño acido       | 85 a 95       |
| Estaño (estannato) | 70 a 85       |
| Zinc (sulfato)     | 90 a 95       |
| Zinc (cianuro)     | 85 a 90       |

Rendimiento electrolítico aproximado de diversas soluciones.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

## 2.1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS APLICACIONES ELECTROLÍTICAS.<sup>2</sup>

Son varios los factores que influyen en la formación de los recubrimientos.

Los más importantes son:

- Densidad de corriente.
- Concentración.
- Composición del electrolito.
- Acidez y especialmente, concentración de iones de hidrogeno.
- Temperatura.
- Agitación.

### 2.1.2.1 Densidad de Corriente.

La densidad de corriente expresada en amperios por  $\text{dm}^2$  regula el espesor de la capa electrolítica siempre que ello sea posible conviene utilizar densidades de corriente bastante elevadas. Por otra parte la densidad de corriente es un

<sup>2</sup> ARBELLOT L. Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág. 28-31

parámetro muy importante para determinar el tamaño de grano del metal depositado.

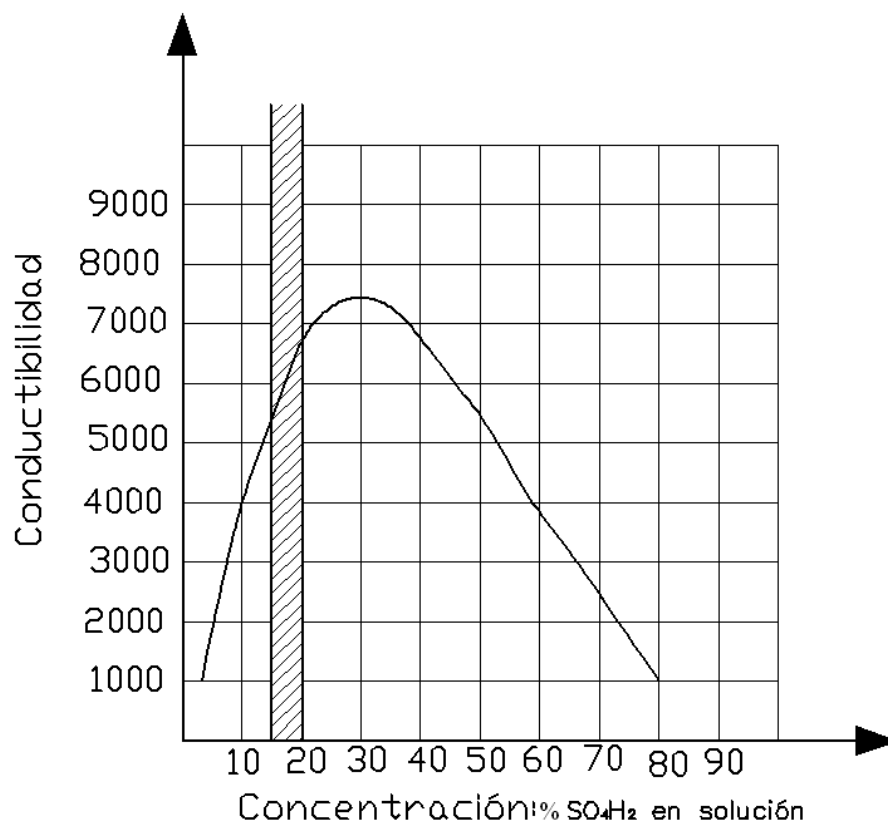
El aumento de densidad de corriente afina el tamaño de grano hasta cierto límite, ya que si tiene amperajes demasiados elevados se corre el riesgo de tener como resultado superficies quemadas, es decir superficies sin consistencia.

### 2.1.2.2 Concentración.

El aumento de la concentración de las sales en la solución, que constituyen el electrolito permite elevar la densidad de la corriente especialmente si este aumento se combina con una elevación de la temperatura y con la agitación.

Por otra parte el aumento hasta corto límite, de las concentraciones incrementa la conductividad de los baños.

La velocidad de oxidación es proporcional al grado de disociación electrolítica que se mide por la conductibilidad del electrolito en el siguiente cuadro se observa la variación de esta característica en función de la concentración se ve que esta presenta un máximo para un 30% de  $H_2SO_4$  aproximadamente.



Conductibilidad de las soluciones de ácido sulfúrico en función de la concentración.

Si el 30% de  $H_2SO_4$  es un máximo para la velocidad de oxidación entonces esto quiere decir que la velocidad de disolución es más fuerte. Para la práctica se admite un aproximado del 20% o (180g/l) de  $H_2SO_4$ . La reducción de la concentración a (150g/l) tiende a disminuir la velocidad de disolución la cual esta resulta ser muy pequeña

### 2.1.2.3 Composición del electrolito.

Un electrolito no comprende tan sólo la sal del metal que se desea depositar. También incluye otros diversos cuerpos en mayor o menor cantidad. La adición de estos cuerpos tiene por fin aportar mejoras.

Por ejemplo.

- Aumentar la conductibilidad de la solución.
- Afinar el grano del metal depositado.
- Facilitar la corrosión de los ánodos, etc.

Se ha comprobado que los cuerpos que presentan una fuerte disociación electrolítica (es decir, que forman gran cantidad de iones) aumentan la conductibilidad siendo este caso, por ejemplo, el del ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, etc. Se ha comprobado también que, por lo contrario, los cuerpos débilmente disociados, como el ácido bórico o el acético, disminuyen esta conductibilidad.

Los cloruros, como el cloruro de sodio, el amónico, etc., por liberar cloro, que se dirige al ánodo, facilitan el ataque de este último.

La conductibilidad de los baños se halla en relación directa con el poder de penetración de los mismos.

Si al momento de tratar las piezas el electrolito se encuentra retenido, este es el caso de chapas unidas por remachado o en cavidades, pueden existir futuras corrosiones para evitar esto neutralizar el electrolito mediante un lavado en agua y un secado total de las piezas.

Tabla No 2.2

|                   |                                 | Concentración |       |       |
|-------------------|---------------------------------|---------------|-------|-------|
| Producto          | Producto                        | N (1)         | 0,5 N | 0,1 N |
| Acido Clorhídrico | HCl                             | 3,01          | 5,54  | 26    |
| Acido Sulfúrico   | SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>  | 4,81          | 9,28  | 40    |
| Acido Bórico      | BO <sub>3</sub> H <sub>3</sub>  | 70            | 220   |       |
| Acido Crómico     | CrO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> | 9,38          | 5,81  | 27    |
| Potasa Cáustica   | KOH                             | 5,07          | 9,48  | 46    |
| Cloruro Potasico  | KCl                             | 8,94          | 17,1  | 78    |
| Sosa Cáustica     | NaOH                            | 5,77          | 10,6  | 50    |

Resistividad en ohmios-cm. de diferentes soluciones a 25°C.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

#### 2.1.2.4 Acidez, concentración de iones de Hidrogeno.

N, indica la solución normal, es decir, la que contiene una valencia gramo por litro.

Para simplificar las cosas, ha sido tomado como valor de ph el del exponente de dicha potencia. Es así como 0,001, que representa la milésima parte de la concentración normal en hidrógeno (1 g/litro), corresponde al ph 3.

#### 2.1.2.5 Temperatura.

La elevación de la temperatura provoca el aumento de la conductividad del electrolito y la solubilidad de las sales que intervienen en composición del mismo de ahí que aumento la posibilidad de concentración más elevadas y por lo tanto intensidades de corriente más fuertes.

De modo general la temperatura de un baño tiene gran importancia y para los baños actuando en frío no debe descender de los 15°C.

Tener en cuenta que mientras mas bajo es la temperatura la dureza del film anódico se hace mas duro.

En la práctica se recomienda un valor nominal de 20°C. La temperatura no solo actúa sobre la morfología de la capa sino también sobre el aspecto,



especialmente en las aleaciones. Para cada anodizado requiere precisar temperaturas:

Para el anodizado arquitectónico se precisa una temperatura de  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Para el anodizado decorativo (Metal Brillante) se precisa una temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$ .

Existen baños mas fríos pero los cuales resultan más difícil ejemplo en las aplicaciones decorativas y protectoras se precisa una temperatura de  $16^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$

El aumento de algunos grados de temperatura del baño puede conducir a la pulverulencia, fenómeno en el cual el reataque de la capa de oxido llega a no dejar, alrededor de los poros, mas que ligeros pilares de alumina, que se deshace con solo tocar con los dedos

#### **2.1.2.6 Agitación.**

La agitación impide el empobrecimiento en iones metálicos de la zona catódica, también impide en mayor o menor medida la adherencia de burbujas gaseosas sobre el cátodo, mismas que producen picaduras en su superficie, la agitación sin embargo pone en suspensión las impurezas del baño las cuales hacen que el recubrimiento resulte rugoso inclusive picado por lo tanto se hace necesario filtrar las soluciones agitadas.

#### **2.1.3 CLASES DE ELECTROLITOS.**

Hay tres clases de electrolitos o conductores que son:

- **Primera clase:** Son aquellos conductores sólidos que conducen la corriente eléctrica sin sufrir alguna alteración química. Constituyen los metales, pueden ser muy buenos conductores: Au, Ag y Pt, Buenos: Cu, Ni. Malos Pb, Sn.
- **Segunda Clase:** Aquellos que sufren transformaciones químicas cuando conducen la electricidad. Lo constituyen los ácidos, bases y sales que se ionizan.
- **Tercera Clase:** Son aquellos que conducen difícilmente la electricidad como sucede con los gases a baja presión.

No todos los electrolitos conducen la corriente eléctrica con la misma intensidad debido al diferente grado de ionización. Según esto existe:

- **Electrolitos fuertes:** Aquellos que tienen una alta constante de ionización es decir entre 90 y 100% por lo que se forman soluciones conductoras de electricidad. A este grupo pertenece el NaCl, HCl, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- **Electrolitos débiles:** Son aquellos cuyo grado de ionización es bajo por lo que sus soluciones no son buenas conductoras de la electricidad. Estas son: Acido Acético, hidróxido de amonio, sulfato de cadmio, etc.

### **2.3 DISEÑO DE LAS PIEZAS PARA EL RECUBRIMIENTO.**

A la hora de diseñar y fabricar artículos que vayan anodizar, deben tenerse en cuenta algunas pocas reglas básicas. Para que presenten un buen aspecto y conseguir la calidad adecuada.

Las reglas son de dos clases.

Unas tienen por finalidad obtener recubrimientos de la mejor calidad posible, consiguiendo llegar a todas las superficies de las piezas, tanto externas como internas.

Otras reglas tienen por objeto garantizar la seguridad de los operarios del taller de anodizado. Al momento de preparar el electrolito tener muy en cuenta que se debe agregar el ácido en el agua y nunca agua ácido (Se explica más adelante) porque pueden dar lugar a explosiones en la cuba de anodizado, produciendo graves daños para los operarios.

- Las reglas básicas concernientes al diseño y a la fabricación son las siguientes:
  - Pueden anodizarse todas las clases de aluminios, algunos aleados.
- Pueden anodizarse piezas con una gran variedad de formas, tamaños y pesos, pero conviene consultar con el anodizador.
- Prevea una holgura entre piezas que vayan a estar sometidas al tratamiento. Esto para su debido movimiento en el tratamiento.

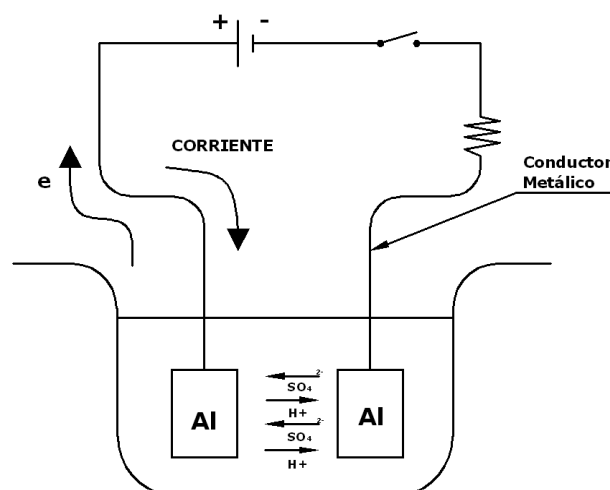
- Evite en lo posible las superficies solapadas. Si no fuera posible, tenga en cuenta las recomendaciones de diseño para facilitar la ventilación en estas zonas.
- Recuerde que el anodizador debe colgar sus piezas para introducirlas en el baño, Asegúrese de que se dispongan los necesarios puntos de enganche.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ELECTROLÍTICO POR ANODIZADO.

### 2.4.1 PRINCIPIO DEL ANODIZADO

Si se llena una cuba con agua agregada una pequeña porción de ácido, en este electrolito se dispone de un cátodo conectado electricidad de polo negativo, y un ánodo de aluminio conectado electricidad de polo positivo, se observa que en el cátodo empieza a desprender hidrogeno, y ningún desprendimiento en el ánodo. Transcurrido el tiempo se observa un recubrimiento en el ánodo. El oxígeno procedente de la disociación electrolítica del agua ah sido utilizado para oxidar el aluminio (ánodo). Es por eso la expresión ***Oxidación Anódica***.

### 2.4.2 ANODIZADO

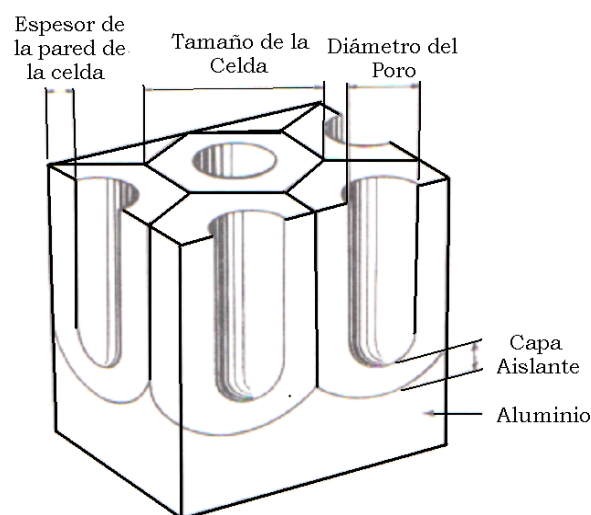


**Figura No 2.1**

Proceso del anodizado del aluminio transporte de iones en un medio electrolítico.

**Fuente:** Grafica realizada para la tesis

El Anodizado consiste en formar artificialmente una capa de óxido de aluminio en la superficie del metal, este procedimiento eléctrico y térmico llevado a cabo en un medio electrolítico y a través de la acción de corriente eléctrica se separa el oxígeno de los cátodos sobre la pieza a tratar cuya acción el metal se va transformando progresivamente desde la superficie hacia el interior, este es un tratamiento electroquímico que permite aprovechar una propiedad que el aluminio ya tiene, como vimos anteriormente el material que produce la oxidación, es óxido de aluminio, muy característico por su excelente resistencia a los agentes químicos, dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa, esta última junto con las anteriores, es la que nos permite darle una excelente terminación, características que la hacen adecuada y valiosa a la hora de elegir un medio de protección para este elemento.

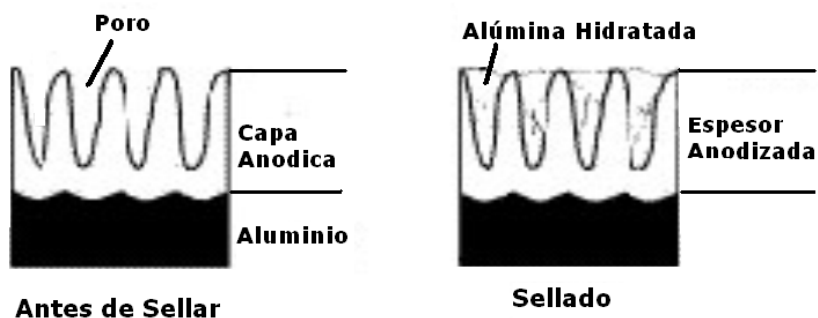


**Figura No 2.2**

Micro sección de un film anódico en el que se puede apreciarse la estructura

**Fuente:** La Oxidación Anódica Del Aluminio. Pág.7

La capa de óxido de aluminio (alúmina) formada durante el proceso es porosa. Esta porosidad absorberá suciedad y otros elementos lo cual terminarían afectando la estética del material. Para evitarlo se procede a hidratar la capa de óxido de aluminio de modo de cerrar los poros. (Ver fig. 2.3).



**Figura No 2.3**

Superficie antes y después del sellado.

**Fuente:** Oxidación Anódica Del Aluminio. Pág.7

La mejor forma de proteger al aluminio y sus aleaciones de tales ambientes corrosivos, se consigue recubriendo su superficie con gruesas capas de óxido de hasta 0,2 mm.

En la Formación de la capa anódica mediante ácido sulfúrico existen dos factores Principales:

**Primer.-** Crecimiento de la capa de óxido desde el interior al exterior provocado por un fenómeno puramente electroquímico.

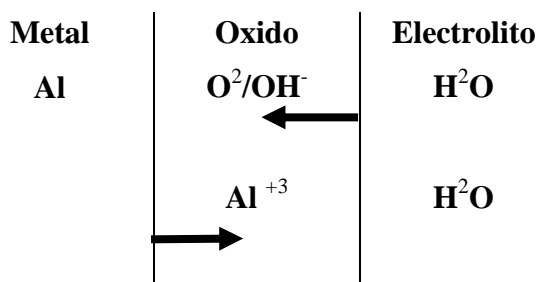
**Segundo.-** Disolución de esta capa de óxido debido a su solubilidad respecto al electrolito.

En este segundo punto consiste en mantener relación de los parámetros de tal forma que la velocidad de oxidación se conserve siempre por encima de la velocidad de disolución. Este parámetro es fundamental. Para los recubrimientos electrolíticos.

$$\begin{array}{ll}
 V_o > V_d & \longrightarrow \text{Anodizado.} \\
 V_o \# V_d & \longrightarrow \text{Abrillantado} \\
 V_o < V_d & \longrightarrow \text{Decapado Electrolítico}
 \end{array}$$

La capa se forma gracias a la disociación electrolítica del agua que libera el oxígeno para así oxidar el aluminio en el ánodo por tal razón el proceso del anodizado se llama oxidación anódica

### Movimiento de iones hacia y desde la superficie metálica.



#### 2.4.2.1 Tipos de anodizados.<sup>3</sup>

##### 2.4.2.1.1 El anodizado arquitectónico.

Para el acabado arquitectónico se emplea la solución al 10 % en ácido sulfúrico, tal como se indica más adelante, y la temperatura de trabajo se fija a  $20^{\circ} \pm 1^{\circ}C$ . La densidad normal de corriente es de 1.6 amp por  $dm^2$  y para un grosor de capa de 25 micrones se precisa un tiempo de anodizado entre 60 y 75 minutos. Para obtener una densidad de corriente se precisa un voltaje comprendido entre los 16 y 22 voltios.

El grosor de capa que se precisa está entre los 16 y 30 micrones, y para obtener un acabado uniforme y eliminar las señales de la extrusión, es una práctica muy usual que antes del anodizado se ataque químicamente o se dé un tratamiento mecánico al aluminio.

El recubrimiento anódico debe sellarse bien mediante agua desionizada hirviendo o con vapor a baja presión. Si se desea obtener una satisfactoria resistencia a la corrosión es esencial un sellado perfecto.

##### 2.4.2.1.2 Anodizado Semiduro Y Duro.

Para aumentar la dureza del film anódico obtenido mediante la solución de ácido sulfúrico se rebaja la temperatura de trabajo, como más baja es la temperatura tanto más duro es el film resultante.

##### 2.4.2.1.3 El anodizado semiduro.

Cuando se precisa un acabado brillante más resistente a la abrasión del que se consigue mediante el anodizado normal, por ejemplo para el uso de adornos para

<sup>3</sup> VILADRAU GERONA. La Oxidación Anódica del Aluminio 16 - 17

el automóvil, se aconseja que se utilice la solución a base de ácido sulfúrico y ácido oxálico, o como una variante que se emplee la solución de ácido sulfúrico al 10 % pero fijando la temperatura entre 10°-15°C, según sea la dureza del film que sea necesaria. La usual densidad de corriente es de 1 amp/dm<sup>2</sup>, y para una capa de 10 micrones se precisaría una duración del tiempo de anodizado de 36 minutos.

#### **2.4.2.1.4 El anodizado duro.**

Para conseguir el anodizado duro se ajustan las condiciones de trabajo de la solución de forma que resulten recubrimientos que sean muy duros y también más gruesos que los acabados anódicos normales. Las principales aplicaciones se hallan para la producción de superficies de aluminio muy resistentes al desgaste

La dureza del film anódico es del orden de las 500 VPN. El espesor de capa oscila generalmente entre los 25 y 100 micrones, pero sobre aleaciones adecuadas pueden conseguirse recubrimientos más gruesos.

#### **2.4.2.2 Mecanismo de la formación y estructura de la capa anódica**

Si se oxida una pieza de aluminio en un electrolito sin acción disolvente sobre la capa de alumina, se observa que la intensidad de corriente disminuye de acuerdo pasa el tiempo hasta llegar a nula.

Desde los primeros instantes se forma una capa de alumina continua, compacta, que cierra el paso de la corriente, el espesor de esta película representa la distancia que un ion metálico puede alcanzar a través de su propio óxido bajo la influencia de un potencial dado.

Después de los primeros segundos de la electrolisis, se forma una verdadera capa barrera, en el cual el espesor tiende hacia el valor límite de 14 Å/V.

El óxido formado en este estado consiste en una alumina anhidra, amorfa, en los últimos tiempo que esta constituida por un apilamiento de células hexagonales yugtrapuestas, en las que, precisando mas, el centro será de alumina amorfa poco resistente a los ácidos, mientras que la periferia estará formada por alumina y cristalina, muy resistente a los ácidos.

Aparecen en la superficie de la capa una multitud de puntos de ataque como consecuencia del efecto de disolución de la película por electrolito que se produce en el centro de las células de alumina, y que constituye en inicio de los poros.

#### **2.4.2.3 Tipos de Películas Anódicas en Aluminio.**

La morfología de las películas anódicas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Alúmina), depende principalmente del electrolito en que fueron formadas durante la anodización, y se clasifican en dos tipos: películas tipo barrera y películas tipo porosas.

##### ***2.4.2.3.1 Películas Anódicas Tipo Barrera.***

Las películas tipo barrera, son aquellas películas formadas en electrolitos neutros, donde existe muy poca solubilización del óxido.

Las películas tipo barrera se desarrollan durante el anodizado de aluminio en electrolitos en los cuales la película de óxido es prácticamente insoluble. Estas películas se caracterizan por ser finas, compactas y con propiedades dieléctricas, por lo cual tienen gran aplicación en la industria electrónica.

Algunos de los electrolitos usados en la formación de estas películas son soluciones acuosas de boratos, tartratos, citratos y fosfatos (pH 6-7).

##### ***2.4.2.3.1.1 Comportamiento Voltaje-Tiempo de Películas Tipo Barrera.***

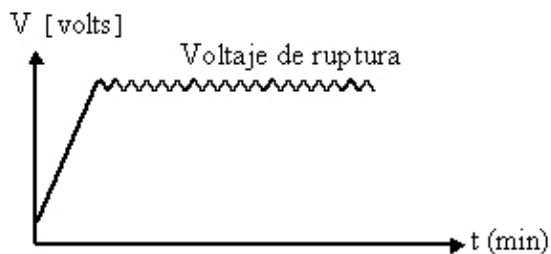
La figura 2.4, representa el comportamiento general del voltaje en función del tiempo, para la anodización a corriente constante de aluminio. En esta figura, se aprecia que el crecimiento de este tipo de películas se caracteriza por un aumento del voltaje, aproximadamente lineal con el tiempo, desde el inicio del anodizado hasta llegar a un voltaje de ruptura del óxido.

Durante la región lineal, el espesor del óxido es proporcional al voltaje de formación y existe un campo eléctrico constante a través del óxido. La fuerza del campo, definida como el voltaje a través del óxido dividido por el espesor del óxido, se encuentra en el rango de 106 - 107 V/cm.

Las películas de alúmina anódica tienen una baja conductividad electrónica, pero una alta conductividad iónica; por lo tanto bajo la influencia de una fuerza de



campo eléctrico alta, la conducción iónica es el modo predominante de transporte de carga.



**Figura No 2.4**

Comportamiento de voltaje en función del tiempo, a corriente constante

**Fuente:** Electricidad I

#### ***2.4.2.3.1.2 Morfología y Estructura de las Películas Tipo Barrera.***

Estudios realizados a través de microscopía de transmisión electrónica de secciones de óxido, han mostrado que las películas barreras formadas a temperatura ambiente son generalmente compactas y con espesores uniformes. La morfología y estructura de la película resultante, están relacionadas con el pretratamiento dado al aluminio puro antes del anodizado y de las condiciones del anodizado.

#### ***2.4.2.3.2 Películas Anódicas Tipo Porosas.***

Las películas anódicas tipo porosas se desarrollan durante el anodizado de aluminio en electrolitos donde el óxido es parcialmente soluble. Estas películas se caracterizan por tener una morfología porosa, espesores de varios micrones y muy buenas propiedades de resistencia a la abrasión y corrosión, por lo cual se las emplea en construcciones arquitectónicas, automóviles y aeronáutica. Algunos de los electrolitos más utilizados son soluciones acuosas de ácidos sulfúrico, fosfórico, oxálico y crómico.

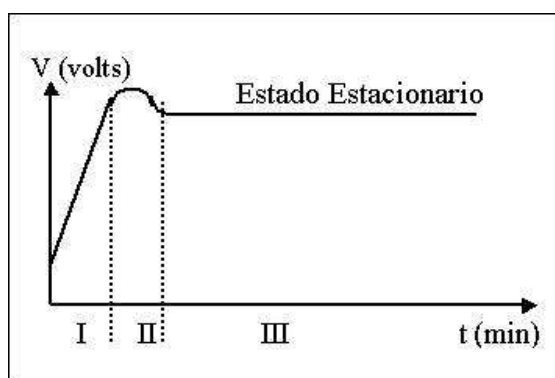
##### ***2.4.2.3.2.1 Comportamiento Voltaje-Tiempo.***

El comportamiento voltaje-tiempo durante el anodizado a corriente constante, que lleva al desarrollo de películas porosas, se caracteriza por poseer tres zonas particulares como se observa en la figura 2.5. En la primera zona, que corresponde al comienzo del anodizado, el voltaje aumenta en forma

aproximadamente lineal con el tiempo, hasta llegar a un máximo.

En la segunda zona, hay una reducción del voltaje, que se asocia a una baja en la resistencia iónica del óxido debido a la formación de los poros. En la tercera zona, que corresponde al estado estacionario, existe un equilibrio dinámico entre el crecimiento de la película y la disolución asistida por el campo eléctrico en la base del poro, manteniéndose el equilibrio de tal manera que sólo los poros mayores continúen propagándose durante el crecimiento de la película anódica porosa y la capa barrera de ésta, mantenga un espesor constante.

Tanto el voltaje máximo como el voltaje del estado estacionario, dependen de la densidad de corriente aplicada, la temperatura y el tipo de electrolito ácido.



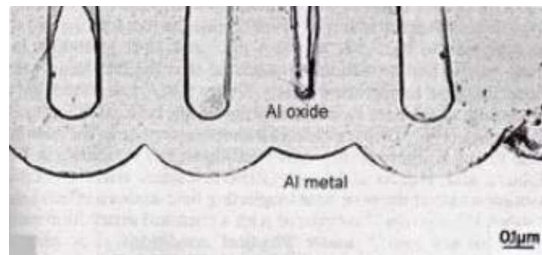
**Figura No 2.5**

Comportamiento de voltaje en función del tiempo, a corriente constante. Zona I: formación de capa barrera, Zona II: formación de poros y Zona III: equilibrio dinámico entre la formación y disolución del óxido en la base del poro

**Fuente:** Electricidad I

#### **2.4.2.3.2.2 Morfología y Estructura de las Películas Tipo Porosas.**

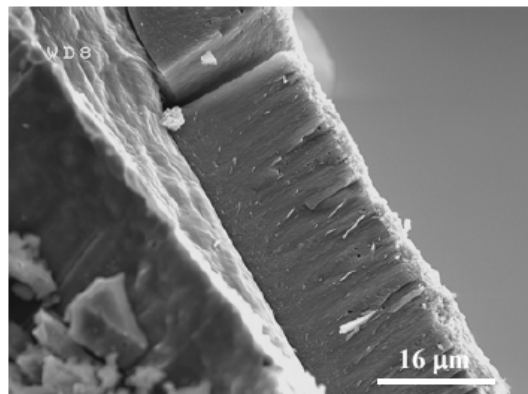
Micrografías electrónicas de las películas han mostrado que estos óxidos están caracterizados por una capa barrera unida al metal base y una capa exterior porosa ubicada sobre la capa barrera (Figura. 2.6 y 2.7). Se informa en la literatura, que el espesor de ambas capas y el diámetro de los poros, se relacionan con las condiciones experimentales usadas durante el anodizado de aluminio.



**Figura No 2.6**

Micrografía de Transmisión Electrónica de una sección de un óxido poroso

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).



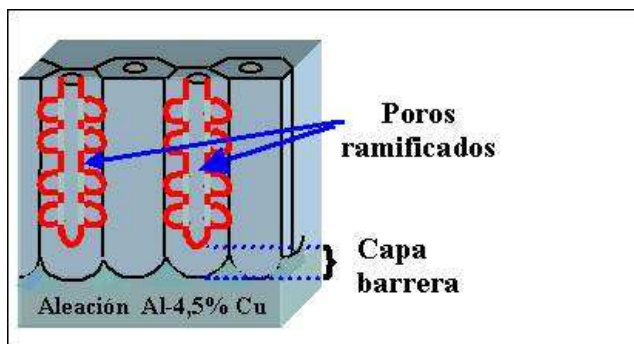
**Figura No 2.7**

Vista lateral del recubrimiento de alumina producido por anodizado

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).

El tamaño de las celdas aumenta con el aumento del voltaje de anodizado.

El diámetro del poro en su base varía dependiendo principalmente del tipo de ácido, como también de la composición y pretratamiento del sustrato metálico, pH, temperatura y densidad de corriente o voltaje de anodización. En estudios morfológicos del óxido, también se informa que el contorno de las secciones de los poros puede variar desde poros cilíndricos, a poros ramificados, cuando se anodizan aleaciones de aluminio, en especial si contienen cobre, tal como se aprecia esquemáticamente en la figura 2.8



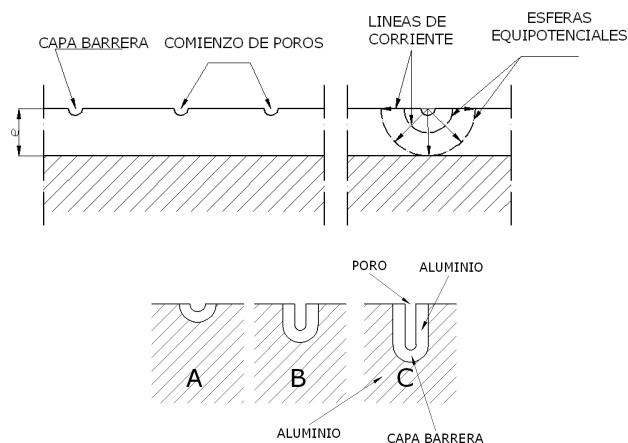
**Figura No 2.8**

Representación de una capa de óxido poroso obtenido en una aleación Al-Cu.

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).

#### 2.4.2.3.2.3 *Iniciación del Poro.*

La iniciación de los poros esta estrechamente relacionada con las características de la superficie del metal previo al anodizado. Las características de la superficie dependen del tratamiento superficial empleado durante la preparación de las piezas. Como resultado del pulido mecánico, la superficie del metal presenta una serie de concavidades y picos.



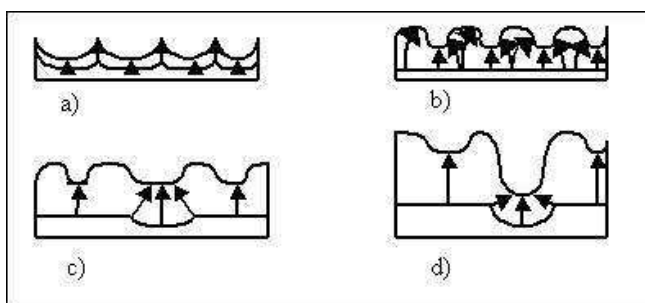
**Figura No 2.9**

Principio de formación de los poros en un electrolito

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

La relación entre la distribución no uniforme de corriente, durante el crecimiento inicial de la película, el desarrollo del poro y el aspecto original del metal.

La figura 2.10 muestra la distribución no uniforme de la corriente durante el crecimiento inicial y secuencias del desarrollo del poro.



**Figura No 2.10**

Distribución no uniforme de la corriente, durante el crecimiento inicial del poro

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

- Crecimiento inicial uniforme, donde la distribución de corriente es relativamente uniforme.
- La corriente es mayor en la parte superior de las rugosidades del metal, con el consecuente desarrollo local de gruesas capas de óxido, procurando la llanura de la interfase metal-óxido.
- Crecimiento preferencial local de gruesas capas de óxido y crecimiento de la capa barrera hasta que la corriente se concentra en delgadas regiones entre las protuberancias, que por su delgado espesor forman senderos de baja resistencia.
- Hay una distribución efectiva de tamaños de celda entre las protuberancias, las celdas mayores son sitios preferentes para promover concentraciones de corriente y eventualmente desarrollar poros. Como el aluminio es consumido en este crecimiento de la película, la interfase metal-óxido toma una forma ondulada para mantener uniforme la fuerza del campo en esta región. El desarrollo de poros mayores aumenta.

#### 2.4.2.4 Especificaciones para los recubrimientos anódicos.<sup>4</sup>

- Especificación inglesa **B.S. 1615:1961** para los recubrimientos de oxidación anódica sobre el aluminio.
- La **BS 1615:1961** especifica el espesor de capa anódica que es necesaria para varias aplicaciones y también abarca los requisitos para el sellado del

<sup>4</sup> VILADRAU GERONA. La Oxidación Anódica del Aluminio Pág. 10

film, la solidez a la luz de los recubrimientos coloreados, la reflectividad y claridad de la imagen, la resistencia de los colorantes a la lixiviación, la resistencia a la corrosión y a la abrasión y la descarga disruptiva del voltaje eléctrico.

En la Tabla 2.3 se indican las distintas calidades de recubrimientos anódicos que aparecen en la norma, **BS 1615:1961**.

**Tabla No 2.3**

| Grado (Al) | Espesor promedio mínimo |          |
|------------|-------------------------|----------|
|            | Micrones                | Pulgadas |
| AA 35      | 35                      | 0.0014   |
| AA 25      | 25                      | 0.0010   |
| AA 15      | 15                      | 0.0006   |
| AA 10      | 10                      | 0.0004   |
| AA 5       | 5                       | 0.0002   |
| AA 3       | 3                       | 0.00012  |
| AA 1       | 1                       | 0.00004  |

Diversos grados (categorías) del aluminio anodizado

**Fuente:** La Oxidación Anódica del Aluminio.

Para las aplicaciones arquitectónicas se especifican normalmente las calidades AA 25 y AA 35, pero cuando las superficies se limpian periódicamente, entonces puede resultar aceptable la calidad AA 15.

Para la protección contra la corrosión en general deberían utilizarse las calidades AA 15 y AA 10, mientras que para los adornos de automóviles y otras aplicaciones exteriores de anodizado brillante, en donde las superficies se limpian periódicamente, pueden utilizarse las calidades AA 10 y AA 5.

Para las aplicaciones interiores del anodizado brillante resulta, adecuada la calidad AA 5, pero para algunas aplicaciones en donde las condiciones son duras, entonces puede resultar conveniente recomendar las calidades AA 10 o AA 15. Pueden especificarse las calidades AA 3 o AA 1 para los reflectores y cuando tienen que servir de base para pinturas o lacas.

#### *2.4.2.3.1 Espesores Típicos De Anodizado.*

**Tabla No 2.4**

| <b>ESPESORES EN MICRONES</b> | <b>CAMPO DE APLICACIONES</b>                             |
|------------------------------|--|
| 10                           | Interiores, intempérie na agresiva, rural o urbana       |
| 15                           | Atmósfera marina o industrial, urbana con gran polución  |
| 20                           | Ambiente marino con gran exposición, ambientes agresivos |

Espesores de la capa Anódica

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

#### *2.4.2.3.2 Características del Aluminio y la Alumina*

**Tabla No 2.5**

| <b>Nombre</b>     | <b>Formula</b>                 | <b>Peso Molecular</b> | <b>Punto de Fusión</b> | <b>Forma Cristalina</b> | <b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>.)</b> |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Oxido de Aluminio | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 101,92                | 2015                   | Hexaédrica              | 3,965                               |
| Aluminio          | Al                             | 26,98                 | 660                    | Cúbica                  | 2,7                                 |

Características del aluminio vs. Alumina

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

#### *2.4.2.3.3 Los Procedimientos De Oxidación Anódica.*

Los métodos de fabricación que más se utilizan para la oxidación anódica del aluminio son los basados en los ácidos sulfúrico y crómico. El sistema con el

ácido sulfúrico es el que generalmente más se utiliza para la producción de recubrimientos decorativos, protectores, duros y resistentes al desgaste. Los procedimientos a base del ácido crómico se emplean cuando se precisa conseguir la protección máxima con una pérdida mínima en grosor del metal. También se emplean cuando se requiere un acabado decorativo parecido al de un esmalte, para la detección de imperfecciones en las piezas de fundición y para el tratamiento de piezas remachadas y ensambladas.

La adición de ácido oxálico a las soluciones de ácido sulfúrico permite utilizar una temperatura de trabajo más elevada, o bien el que se consiga obtener depósitos más duros de los que resultarían si se emplea en soluciones puras de ácido sulfúrico operando en las mismas condiciones.

En la Tabla 2.7 se indican las propiedades de los films anódicos obtenidos mediante los procedimientos de fabricación con los ácidos sulfúrico y crómico.

#### **2.4.2.5 El Procedimiento Con Ácido Sulfúrico.**

Con el sistema a base de ácido sulfúrico se utilizan soluciones que oscilan entre concentraciones del 5 % y el 20 % en volumen. La Tabla 2.6 refleja algunos datos interesantes en lo que hace referencia a las concentraciones del ácido.

Para las aplicaciones generales, incluidas el anodizado brillante y el destinado a fines arquitectónicos, se emplea normalmente una solución de ácido sulfúrico con una concentración del 10 % en volumen. Algunas veces se prefiere la concentración del 15 % en volumen cuando el film tiene que ser coloreado a una tonalidad intensa.

Para una fabricación corriente se utiliza una temperatura de trabajo comprendida entre 20° y 25 °C, si es necesario conseguir un acabado bastante más duro y más resistente al desgaste. Para la producción de films anodizados duros se utiliza la solución del ácido sulfúrico a una temperatura limitada entre -5° y +5°C.

Es necesario recordar la teoría de la formación de las capas de óxido porosa los dos factores vistos anteriormente



Tabla No 2.6

| Acido sulfúrico de peso específico 1,84 (95 %) | Densidad de la solución nueva |              |                 | Acido sulfúrico (al 100 %) |                    |                           |
|--|-------------------------------|--------------|-----------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|
|  | Peso específico               | Grados Baumé | Grados Twaddell | g/l                        | %peso/peso g/100 g | % Vol./Vol. c.c./100 c.c. |
| Solución al 5% en Vol.                         | 1,057                         | 8°           | 11,3°           | 87.5                       | 8.25               | 4,75                      |
| Solución al 10% en Vol.                        | 1,111                         | 14.5°        | 22,25°          | 175                        | 15.75              | 9,5                       |
| Solución al 15% en Vol.                        | 1,162                         | 20°          | 32,40°          | 262                        | 22.5               | 14,25                     |
| Solución al 20% en Vol.                        | 1,213                         | 25.5°        | 42,6°           | 350                        | 28.8               | 19                        |

Valores de las diferentes concentraciones de ácido sulfúrico.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

Para trabajar en condiciones tropicales, donde resulta difícil mantener una temperatura de 20° a 25 °C, puede hacerse una adición del 5 % de ácido oxálico a la solución del 10 % en volumen para facilitar que funcione con eficacia el proceso del anodizado a una temperatura más elevada.

#### 2.4.2.6 El Procedimiento Con Ácido Crómico.

Se emplea el sistema de anodizado con ácido crómico cuando se precisa una gran resistencia contra la corrosión en aquellas aplicaciones en que la detección de grietas constituye una exigencia secundaria, para el tratamiento de los montajes en aluminio y para la producción de acabados parecidos al de los esmaltes opacos.

Se utiliza para tratamientos de piezas en las que el electrolito queda retenido, este es el caso de chapas unidas por soldadura por puntos o por remachado.

Las soluciones de electrolito quedan retenidas por capilaridad, aunque los lavados sean abundantes no se puede eliminar totalmente.

Si el electrolito fuera ácido sulfúrico pueden existir posteriores peligros de corrosión, por lo contrario si fuera el electrolito ácido crómico no se debe tener en cuenta este peligro.

Las capas de Alumina obtenidas por este procedimiento nos resulta capas opacas y de color gris, el tono varia del gris claro para el aluminio puro, al gris muy oscuro para las aleaciones con silicio.

Estas capas obtenidas son menos porosas y mas delgadas que las obtenidas con el baño con acido sulfúrico por lo consiguiente son mas flexibles, y menos aptas para colorear con un tono oscuro.

**Tabla No 2.7**

| Propiedades |  | Método con acido sulfúrico  | Método con acido crómico   |
|-------------|--|---|--|
| 1           | Opacidad del film anódico  | Transparente  | De translúcido   |
| 2           | Color Natural Del film anódico                                     | Incoloro e invisible sobre el aluminio puro, y oscuro sobre las aleaciones                              | De color gris claro sobre el aluminio puro, y de un gris púrpura oscuro sobre las aleaciones         |
| 3           | Apariencia de los films coloreados                                 | Colores transparentes brillantes y se puede ver a través del film el lustre del metal.                  | Tonalidades pastel apagadas o tenues y colores intensos sin que pueda verse el lustre metálico.      |
| 4           | Brillo del film anódico  | Queda retenido el lustre metálico, de ahí proviene el término anodizado plata.                          | El lustre metálico queda destruido por el anodizado  |
| 5           | Durabilidad del film anódico                                       | Mas duro que con el sistema del acido crómico, se modifica el proceso para conseguir un film mas dúctil | Suficientemente dúctil como para permitir el doblado y el plegado de las planchas de calibre ligero. |
| 6           | Resistencia a la abrasión del film                                 | Puede modificarse el procedimiento para que resulten film más duros.                                    | Es buena, pero no igual a la de los recubrimientos con acido sulfúrico                               |
| 7           | Resistencia a la corrosión de los films                            | Es buena  | Es buena   |
| 8           | Idoneidad para la detección de imperfecciones                      | No resulta adecuado para poner de manifiesto las grietas y la porosidad.                                | Descubre las grietas en forma de rayas oscuras bordeadas por manchas amarillas.                      |
| 9           | Idoneidad para las piezas que contienen remaches o juntas estancas | El acido sulfúrico que queda ocluido puede corroer y debilitar la estructura                            | El acido crómico que queda ocluido es inerte y no corroe al metal.                                   |
| 10          | Aplicabilidad para las aleaciones de Cobre                         | Tiene una tolerancia mayor que el sistema con el acido crómico para el cobre y los constituyentes       | Resulta inadecuado para las aleaciones que contiene más del 5% en cobre.                             |

Características del anodizado, resultante de aplicar con ácido sulfúrico y ácido crómico.

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

#### **2.4.2.7 Instalación necesaria para el anodizado.**

Para el sistema basado en el ácido sulfúrico puede emplearse un equipo revestido de caucho o forrado con plomo. El tanque (depósito) se equipa con extracción de vapores o esta instalada donde exista posibilidad de disipación para eliminar la fina neblina acida que se produce durante la electrólisis, también debe disponerse de agitación por aire y de medios adecuados para calentar o enfriar la solución y facilitar la estabilización de la temperatura de trabajo dentro de los límites previamente fijados. En las instalaciones grandes y donde se empleen bajas temperaturas de funcionamiento puede resultar necesario disponer de medios de refrigeración. También puede resultar preciso disponer de un equipo de filtración para mantener la solución libre o exenta de materias o partículas en suspensión.

#### **2.4.2.8 Los Cátodos.**

Son las piezas revestidas de caucho, que están provistos con una barra catódica central, pueden emplearse cátodos de aluminio o bien de plomo. Cuando se utiliza un depósito forrado de plomo, el propio revestimiento puede servir como cátodo.

#### **2.4.2.9 Composición de la solución.**

Para preparar el electrolito, el mas común consiste de una solución de Ácido Sulfúrico al 20 % o (180g/l) hasta (150g/l), en agua a una temperatura de 20°, *“Siempre debe agregarse el ácido en el agua lentamente, notaran que el mismo se ira calentando lo cual es normal. Nunca, pero nunca al revés, (agua al ácido) ya que esto produciría una explosión que los podrá lastimar muy seriamente”*, Es aconsejable trabajar durante todo el proceso con anteojos y guantes protectores.

#### **2.4.2.10 Preparación.**

Para preparar la solución anodizante llenar el depósito hasta aproximadamente 2/3 partes de su capacidad con agua limpia y fría, y a continuación agregar lentamente el volumen necesario de ácido sulfúrico, en la practica se admiten el 20% (180g/l) hasta (150g/l), al mismo tiempo agitando la solución. Durante la preparación de la solución poner en marcha el sistema de enfriamiento, agregar con pausa para evitar las salpicaduras. Durante la fase de dilución se genera una

considerable cantidad de calor. Por esto es aconsejable que las adiciones del ácido se interrumpan para dar tiempo a que se enfríe la solución. Cuando se termine de dosificar la totalidad del ácido ya puede entonces diluirse la solución con agua hasta el nivel de trabajo.

Al emplear una instalación revestida con caucho, es esencial que el ácido sulfúrico concentrado no entre en contacto con la superficie del revestimiento. Preferentemente debería diluirse el ácido sulfúrico, al menos parcialmente, en un recipiente aparte forrado de plomo, y cuando ya se ha enfriado dosificarlo al depósito para el anodizado.

Es importante que el agua que se utilice para preparar la solución anodizante contenga un bajo porcentaje en cloruros.

#### **2.4.2.11 Operaciones de pretratamiento.**

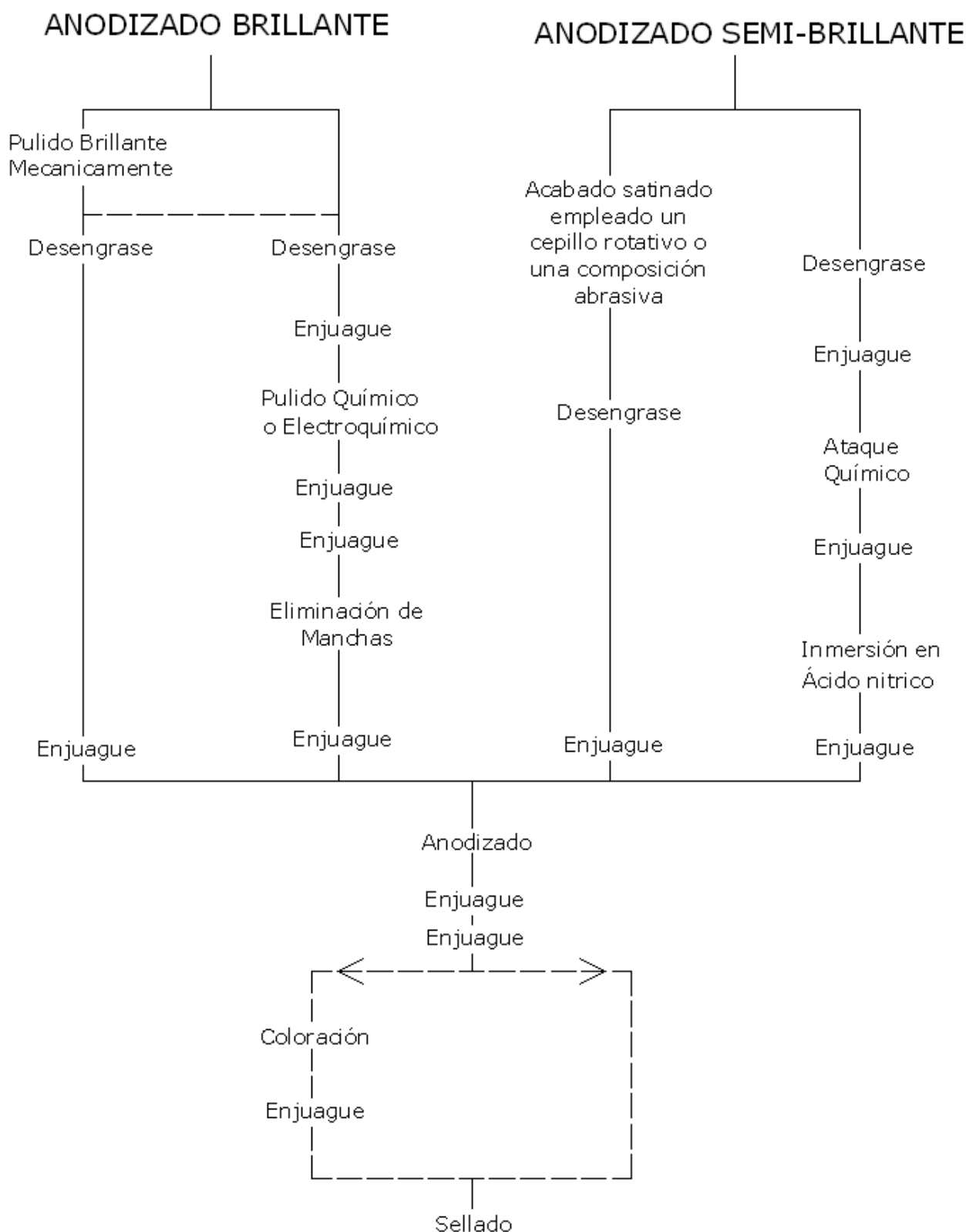
Las operaciones de pretratamiento antes del anodizado dependen del tipo de acabado que se precise.

Generalmente se emplea el desengrase con tricloroetileno para la eliminación de una suciedad considerable, para este caso utilizar Hidróxido de Sodio (*soda cáustica*) al 5% en agua, a una temperatura de 50 o 60° C durante 2 a 3 minutos.

Mientras que para la extirpación de contaminaciones poco densas las piezas deben sumergirse en una solución ácida para neutralizar cualquier vestigio que pudiera haber quedado del baño anterior, esta solución preparar con Ácido Clorhídrico (*ácido muriático*) al 50 % en agua a temperatura ambiente, (*puede ser también Ácido Nítrico*), sumergir las piezas solo unos 2 a 5 segundo.

Cuando no se utiliza un procedimiento de abrillantado, y el sistema de desengrasado previo deja manchada la superficie del aluminio, se sumergen, en este caso, las piezas en una solución de ácido nítrico a temperatura ambiente, y a continuación se enjuagan bien antes de proceder a anodizarlas.

A continuación se encuentra los paso clásicos de anodizado.



**Figura No 2.11**

Etapas clásicas para el anodizado.

**Fuente:** La Oxidación Anódica del Aluminio. Pág.23

#### **2.4.2.12 Proceso.**

Consiste en tener ya listas todas las piezas para anodizar, con la terminación de la superficie, si se quiere que la pieza quede con una terminación brillante tipo laca, esta deberá pulirse antes de ser tratada, por el contrario si se quiere que tenga una terminación mate, esta deberá arenarse o esmerilarse.

##### **2.4.2.12.1 Lavado 1.**

Una vez con las piezas firmemente unidas al conductor proceder a desengrasarlas sumergiéndolas en una solución alcalina compuesta de Hidróxido de Sodio (soda cáustica) al 5% en agua, a una temperatura de 50 o 60° C. Mantener las piezas dentro por 2 a 3 minutos, luego las retirar y lavar en abundante agua, pero sin tocarlas.

Es conveniente trabajar con un par de guantes de látex y tomar las piezas solo del conductor que instalamos antes.

**Nota.-** Si se mantiene la pieza sumergida en exceso de solución comenzara a comerse el aluminio quedando las piezas con apariencia de haber dado un arenado muy fino. "esto puede usar para dar a las piezas una terminación mate"

##### **2.4.2.14.2 Lavado 2.**

Luego del lavado las piezas deben sumergirse en una solución ácida para neutralizar cualquier vestigio que pudiera haber quedado del baño anterior, esta solución se prepara con Ácido Clorhídrico (ácido muriático) al 50 % en agua a temperatura ambiente, (puede ser también Ácido Nítrico), sumergir las piezas solo unos 2 a 5 segundo.

#### **2.4.2.13 Tratamiento.**

No se deben tocar con los guantes, ya que de hacerlo las piezas presentaran unas manchas en su acabado final.

Luego del lavado y aún húmedas sujetar de los soportes y ubicar en el electrolito, teniendo la precaución de que estas no se toquen entre si ni el recipiente. Una vez todo en su lugar, conectamos el negativo del transformador al aro de plomo (CÁTODO), y el positivo a las piezas (ÁNODO), y dar corriente.

#### 2.4.2.14 Duración del proceso.

Mientras el tiempo sea mas largo, de mayor espesor es la capa de oxido. Pero al mismo tiempo tiende a la disolución a ser mas activa. Los conductores, que son los poros, tienden a alargarse aumentando su resistencia, como consecuencia, la temperatura de la capa, al mismo tiempo aumenta la disolución, como se puede observar en la Fig. 2.12.



**Figura No 2.12**

Película con poros ligeramente abiertos. Película reatacada poros muy abiertos

**Fuente:** Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones

El tiempo necesario para la electrolisis, calcular en base a la superficie de las piezas, para que el película de oxido se desarrolle de manera adecuada, manteniendo una porosidad que nos permita teñirla, se debe suministrar un flujo de corriente comprendido entre 1 y 1,5 amperios por  $Dm^2$  con un voltaje de entre 13 y 17 Volts aproximadamente.

- De 10 a 20 min para capas de 5 a 10 u utilizadas en los tratamientos de decoración.<sup>5</sup>
- De 30 a 40 min para capas de 10 a 15 u utilizadas en los tratamientos de protección contra la intemperie en condiciones medias.
- De 40 a 60 min para capas de 15 a 25 u exigidas en tratamientos de protección contra la intemperie severa y la resistencia al desgaste

Se Observa como comienzan a desprenderse burbujas del CÁTODO, estas son de hidrogeno procedentes de la descomposición electrolítica del agua, por lo que se debe trabajar en un lugar bien aireado, preferiblemente cerca de una ventana.

A medida que pasa el tiempo el amperaje que consume el proceso va decayendo, (Se comprueba así las propiedades no conductoras de la capa de oxido) esto indica que todo esta correcto.

<sup>5</sup> BARRAND PIERRE, Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones Pág. 234

### 2.4.2.15 La Coloración Del Aluminio.

La capa de oxido formada en este medio sulfúrico se asemeja a la textil, y puede ser teñida por medio de colorantes formulados para estas industrias. Existen tinturas especiales y más adecuadas para el proceso en si.

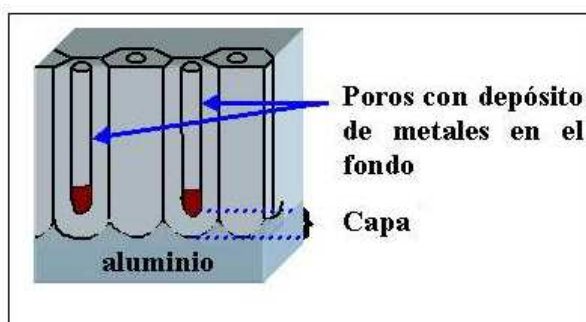
Como la capa es transparente, el brillo el metal base se transmite y puede obtenerse aspectos que ningún otro tratamiento por tintura o barniz es susceptible de igualar.

#### *Tipos de coloreado de la capa anódica.*

##### *2.4.2.15.1 electro coloreado.*

Es un proceso electroquímico con el cual se obtienen anodizados coloreados y requiere de uno o dos anodizados, un proceso de reducción y deposición de metales en el fondo del poro y un sellado final de poros en agua caliente. Cuando se quiere obtener un color café oscuro, se realiza un anodizado en solución de ácido sulfúrico y luego se colorea, sumergiendo las piezas anodizadas en una solución de sales de estaño y níquel, y se aplica corriente alterna por unos minutos.

El proceso termina con un sellado. En la figura 2.13, 2.14, se representa esquemáticamente una capa anódica porosa con un depósito de metales en el fondo de los poros.

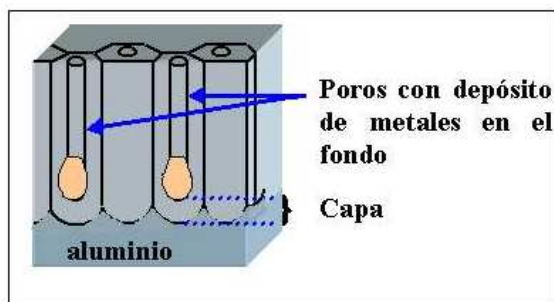


**Figura No 2.13**

Representación de una capa porosa con Electro coloreado con un anodizado.

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).





**Figura No 2.14**

Capa porosa con Electro coloreado con dos anodizados.

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).

#### ***2.4.2.15.2 Condiciones para el coloreado de las capas de oxido.***

Para que las capas de óxido sean susceptibles de ser teñidas con buenos resultados es necesario:

- Una vez realizado el tratamiento de anodizado se elimine en el mayor grado posible el electrolito que llena los poros, lo que exige un buen lavado y a veces una neutralización.
- Tener un espesor apropiado.
- Su absorción debe ser suficiente el cual exige que los poros estén bien abiertos.
- El espesor y la porosidad debe ser uniforme en toda la superficie el no ser ocasiona un coloreado no uniforme.
- Que el metal sea de buena calidad y la preparación de la superficie antes del anodizado sea cuidadosamente tratada.

#### ***2.4.2.15.3 El Coloreado Por Tintes Orgánicos.***

Con estos colorantes se puede hacer soluciones en agua, debe ser agua pura, destilada, la proporción en que se diluye es la indicada por cada fabricante.

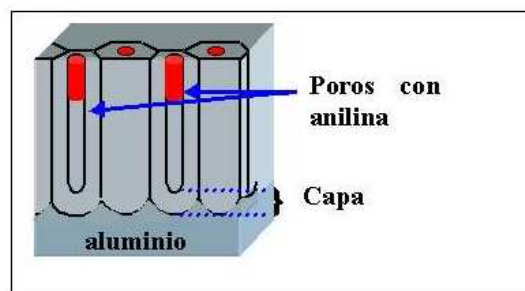
Pueden ser utilizados numerosos tipos de colorantes. Difieren especialmente en el mecanismo de su absorción. La mayor parte son absorbidos físicamente por capilaridad.

Otros dan lugar a una combinación química con el aluminio, como los colorantes a base de complejos metálicos, los colorantes diazo, los colorantes básicos. Estos

últimos exigen ser tratados con sustancias colágenas y son poco utilizados, porque su resistencia a la luz es débil.

Este es un proceso que permite colorear las películas anódicas porosas y requiere de un solo anodizado, en solución de ácido sulfúrico y luego una inmersión en solución de tintes orgánicos, tales como anilinas.

En este proceso los tintes orgánicos quedan incorporados en la zona superior de los poros y el color observado se debe al color de la anilina. En la figura 2.15 se representa esquemáticamente este coloreado. Este proceso se aplica en artículos decorativos que no requieran estar expuestos a la luz solar, ya que son menos resistentes a la radiación que los objetos electrocoloreados.



**Figura No 2.15**

Representación de una capa porosa con Coloreado por tintes orgánicos.

**Fuente:** [www.anodizados.com](http://www.anodizados.com).

#### **2.4.2.15.4 Condiciones de teñido.<sup>6</sup>**

- Temperatura del baño 55 a 65 C en general, calentamiento al baño maría.
- Cumplimiento de las concentraciones previstas.
- Vigilancia del pH de los baños de teñido.
- Duración de la inmersión, en general 5 a 15 min, pudiendo llegar hasta los 30 min para los colores fuertes, como el negro.
- Cuba de acero inoxidable.

<sup>6</sup> BARRAND PIERRE, Procesos de conformado del aluminio y sus aleaciones Pág. 255

#### 2.4.2.15.5 Ventajas del recubrimiento en base a tintas.

- Permiten gran variedad de colores.
- Gran durabilidad y resistencia a la abrasión.
- Uniformidad de color entre partidas o perfiles.
- Menor cuidado en obra (no se manchan).
- No desgasta las maquinarias de corte.
- Se pueden efectuar retoques.
- Costo inferior al anodizado color.

#### 2.4.2.16 Sellado De La Capa Anódica.

El sellado consiste en sumergir las piezas en agua destilada hirviendo, (100° C.) por el término de 2 a 3 minutos. Con esto se obtiene cerrar los poros de la capa anódica mediante un proceso hidrotermal con lo cual se evita el ataque o la modificación de esta por cualquier agente externo.

Es imprescindible tomar recaudos en obra, pues las manchas de revoque o productos de la construcción produce un ataque irreversible sobre la superficie anodizada, la cual no admite retoques posteriores.

#### 2.4.2.17 Ventajas del anodizado.

**Tabla No 2.8**

|                                    | <b>ANODIZADO</b>                         | <b>PINTADO</b>                           |
|------------------------------------|--|--|
| Resistencia a la Corrosión         | Excelente Funcionamiento a Largo Plazo   | Conforme a la Corrosión Filiforme        |
| Calidad del Metal Base             | Siempre Excelente                        | Variable                                 |
| Durabilidad de la Superficie       | Excelente                                | Limitado                                 |
| Amistad con el Medioambiente       | Excelente                                | Pobre                                    |
| Resistencia a las Rayaduras        | Excelente                                | Pobre                                    |
| Gama de Colores                    | Gama Extensa; Limitada Para Uso Exterior | Extenso                                  |
| Autenticidad del Aspecto Metálico  | Excelente                                | Ninguna                                  |
|                                    | <b>ANODIZADO</b>                         | <b>ACERO INOXIDABLE</b>                  |
| Resistencia a la Corrosión         | Excelente                                | Excelente                                |
| Resistencia a la Perdida de Lustre | Excelente, sin Huellas Dactilares        | Las Huellas Requieren Limpieza Constante |
| Peso                               | Ligero                                   | Peso Aluminio Multiplicado por 3         |
| Resistencia al Daño Físico         | Excelente, si está Apoyado Adecuadamente | Excelente                                |
| Reciclabilidad                     | Excelente, sin Pérdida de Calidad        | Limitado                                 |

Características del anodizado con el pintado y el acero inoxidable.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

La uniformidad, la resistencia a la corrosión, la superficie altamente decorativa, hacen de este aluminio anodizado, particularmente conveniente para el uso industrial en la construcción.

Las cualidades especiales del aluminio realizadas con las ventajas del tratamiento superficial continuo, están conduciendo a una tendencia importante en muchas aplicaciones decorativas y estéticas tanto para interiores como para exteriores.

#### **2.4.2.18 Características principales**

- Resistencia a la corrosión.
- Para uso en interiores y exteriores.
- Ligero.
- Fácilmente reciclable.
- Cobre inoxidable.
- Variedad en colores.
- Fácil limpieza.
- Resistente a rayos ultravioletas.
- Consistente en colores y acabados.
- Excelente formalidad.
- Resistente a la abrasión.
- Claro natural.
- Color metálico (incluido oro, cobre, zinc, acero inoxidable).

#### **Acabados.**

- Mate, brillante.
- Amplia gama de colores.

#### **Otras características.**

- Producto final más competitivo.
- Consistencia final de bobina a bobina.
- Diseño y fabricación en longitudes ilimitadas.
- Consistencia excelente en superficies.
- Capacidades mejoradas de forma después de anodizar.
- Reducción significativa en la manipulación

Tabla No 2.9

| Características anodizantes del aluminio |                                   |                             |                         |                       |                     |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
|  | Nomenclatura de la norma inglesa  | Composición nominal         | Resultado adecuado para |                       |                     |
|  |                                   |                             | anodizado protector     | anodizado y coloreado | anodizado brillante |
| MATERIALES DE FORJA<br>B.S. 1470-77      | 1                                 | 99,99% Al                   | E                       | E                     | E                   |
|  | 1A                                | 99,8% Al                    | E                       | E                     | V-E                 |
|  | 1B                                | 99,5% Al                    | E                       | E                     | V                   |
|  | 1C                                | 99% Al                      | V                       | V                     | G                   |
|  | N3                                | Al-1,25% Mn                 | G                       | G                     | M                   |
|  | N4                                | Al-2,25%Mg                  | V                       | V                     | G-V                 |
|  | N5                                | Al-3,5%Mg                   | V                       | V                     | G                   |
|  | N6                                | Al-5%Mg                     | G                       | G                     | M                   |
|  | N7                                | Al-7%Mg                     | M                       | M                     | M                   |
|  | N8                                | Al-4,5% Mg                  | V                       | V                     | G                   |
|  | H9                                | Al-Mg-Si                    | V                       | V                     | G-V                 |
|  | H19                               | Al-Mg-Si                    | G                       | G                     | M                   |
|  | H20                               | Al-Mg-Si-Cu Cr (o Mn)       | G                       | G                     | M                   |
|  | H30                               | Al-Mg-Si-Mn                 | G                       | G                     | M                   |
|  | H11                               | Al-Cu-Mg-Si                 | G                       | G                     | M                   |
|  | H12                               | Al-Cu-Mg-Si-Ni              | M                       | M (D)                 | U                   |
|  | H14                               | Al-Cu-Mg-Mn                 | M                       | M (D)                 | U                   |
|  | H15                               | Al-Cu-Mg-Si-Mn              | M                       | M (D)                 | U                   |
|  | H18                               | Al-Cu-Mg-Ni                 | M                       | M                     | U                   |
|  | H21                               | Al-5% Si                    | G                       | G (D)                 | U                   |
|  | MATERIALES DE COLADA<br>B.S. 1490 | LM O-M                      | 99,5% Al                | V                     | V                   |
| LM1-M                                    |                                   | Al-7% Cu-3% Si-3%Zn         | M                       | U                     | U                   |
| LM2-M                                    |                                   | Al-10% Si-1,5% cu           | M                       | U                     | U                   |
| LM3-M                                    |                                   | Al-12% Zn-3% cu             | M                       | U                     | U                   |
| LM4-M                                    |                                   | Al-12% Si-3% cu             | G                       | M                     | U                   |
| LM5-M                                    |                                   | Al-5% Mg                    | V                       | V                     | G                   |
| LM6-M                                    |                                   | Al-12% Si                   | M                       | U                     | U                   |
| LM8-M,P,W,WP                             |                                   | Al-4% Si-0,5% Mg            | V                       | G                     | U                   |
| LM9-W,WP                                 |                                   | Al-12% Si-0,5% Mg           | M                       | U                     | U                   |
| LM10-W                                   |                                   | Al-10% Mg                   | G                       | M                     | M                   |
| LM11-W,WP                                |                                   | Al-4,5% Cu                  | G                       | G                     | M                   |
| LM12-WP                                  |                                   | Al-10% Cu-0,25% Mg          | M                       | M (D)                 | U                   |
| LM13-WP                                  |                                   | Al-12%Si-1,5%Cu-1%Mg-2,5%NI | U                       | U                     | U                   |
| LM14-WP                                  |                                   | Al-4%Cu-1,5%Mg-2%NI         | M                       | M (D)                 | U                   |
| LM16-W,WP                                |                                   | Al-5%Si-1,5%Cu-0,5%Mg       | G                       | M (D)                 | U                   |
| LM18-M                                   |                                   | Al-5%Si                     | V                       | G (D)                 | U                   |
| LM20-M                                   |                                   | Al-12% Si                   | M                       | U                     | U                   |
| LM21-M                                   |                                   | Al-5% Si-3%Cu-2%Zn          | G                       | M (D)                 | U                   |
| LM22-W                                   |                                   | Al-5%Si-3%Cu                | G                       | M                     | U                   |
| LM23-P                                   |                                   | Al-2%Si-1%Cu-1%Ni           | V                       | G                     | M                   |
| LM24-M                                   | Al-8,5%Si-3,5%Cu                  | M                           | M (D)                   | U                     |                     |

Clave: E= Excelente                      D= Solamente resulta adecuado para los colores oscuros  
M= Moderado                              G= Bueno  
V= Muy Bueno                              U= No Adecuado

Características anodizantes del aluminio

Fuente: La Oxidación Anódica Del Aluminio.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL ANODIZADO.

#### 3.1 MATERIAL ELÉCTRICO.

Para el anodizado es importante la elección del correcto material.

Para el transporte de la corriente usar alambres de cobre con recubrimientos o aislantes son buenos conductores y de precios cómodos.

Para el transporte de energía al catodo y al ánodo utilizar alambre con protección o si es posible del mismo material, debido a que el alambre se oxida produciendo una capa aislante en la unión del alambre con la pieza (la unión debe ser tipo cuña lo cual veremos más adelante) el cual no permite la circulación de la corriente eléctrica.

#### 3.2 RECTIFICADORES.



**Figura No 3.1**

Transformador del Proyecto

Se halla constituido por un transformador (cuyo primario se halla alimentado por la corriente alterna a la tensión normal y cuyo secundario suministra corriente alterna bajo débil tensión) y por el rectificador propiamente dicho, que no deja pasar la corriente alterna sino en un sentido (un rectificador está constituido por células rectificadoras a base de placas de óxido de cobre o de selenio).

La principal ventaja de los rectificadores respecto a las dinamos consiste en que requieren muchos menos cuidados en cuanto a entretenimiento; además, son

poco sensibles a la acción de la atmósfera de los talleres, lo que permite situarlos cerca de los baños. Sin embargo, en conjunto, la utilización de los rectificadores es más costosa que la de las dinamos.

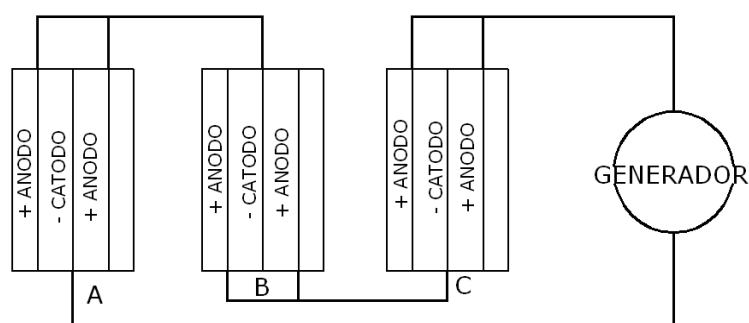
### 3.3 DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE.<sup>7</sup>

Las líneas de distribución que unen el generador con los baños de electrólisis son generalmente de cobre.

Las cubas de electrólisis pueden, en relación al generador de corriente, montarse en paralelo o en serie. El más empleado es el montaje en paralelo. Los esquemas que siguen muestran un montaje en paralelo y otro en serie. En el montaje en paralelo todos los ánodos se hallan directamente conectados al polo positivo del generador y todos los cátodos al negativo. En este sistema cada baño es independiente y la corriente que pasa por cada cuba estará en función de su resistencia. Si por ejemplo el baño A presenta una resistencia de 0,02 ohmios, pasará, para una fuerza electromotriz de 6 voltios, una intensidad.

$$I = \frac{6}{0.02} = 300 \text{ amperios}$$

#### 3.3.1 MONTAJE EN SERIE.



**Figura No 3.2**

Montaje en serie de cubas de electrólisis

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.34

En el montaje en serie, los ánodos de una cuba se conectan a los cátodos del baño siguiente y así sucesivamente. La totalidad de la corriente pasa por las

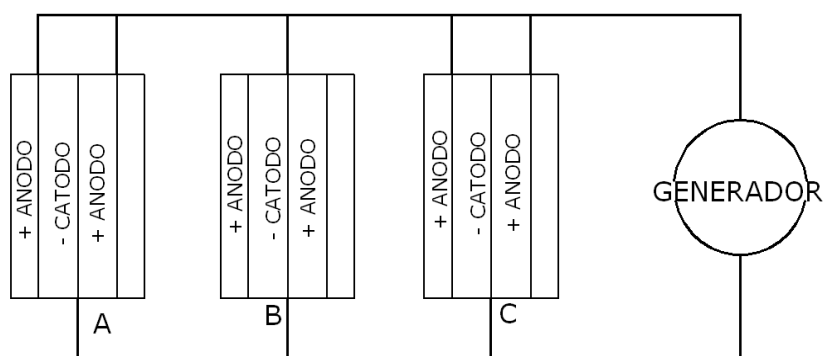
<sup>7</sup> ARBELLOT L. Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.33 - 34

cubas y la intensidad queda determinada por la suma de las resistencias de las cubas. Si la resistencia total es, por ejemplo, de 0,05 ohmios.

$$\text{Se obtiene } I = \frac{6}{0.05} = 120 \text{ amperios}$$

La distribución de corriente a las cubas (al lado ánodo y al lado cátodo) se realiza por medio de tubos de cobre o de latón, pero cuando se trata de suspender piezas pesadas se emplean barras.

### 3.3.2 MONTAJE EN PARALELO.



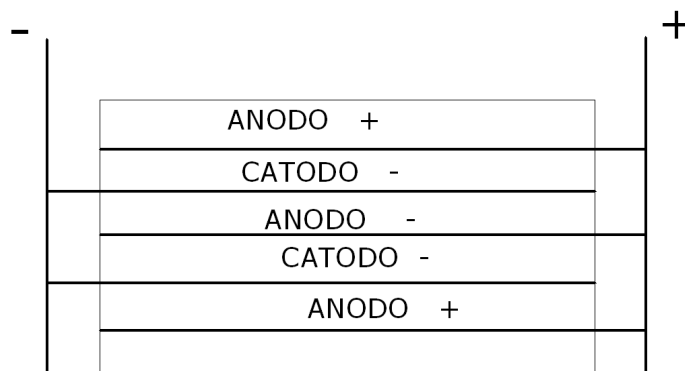
**Figura No 3.3**

Montaje en paralelo de cubas de electrolisis

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.35

Como ha podido apreciarse en las figuras 3.2 y 3.3, a cada lado de las cubas existe una barra sujetadora de los ánodos, colgándose las piezas a recubrir de la barra central, pero también puede emplearse una distribución de barras con arreglo al esquema de la figura 3.4. Esto depende evidentemente del ancho de los recipientes. En la práctica, hay que prever la necesidad de un espacio de 15 a 20 cm. entre los ánodos y las piezas.





**Figura No 3.4**

Disposición de montaje de las barras en las cubas de electrolisis.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.35

### 3.4 ACOPLAMIENTO DE LOS CÁTODOS Y LOS ANODOS A LAS BARRAS.

Los contactos en los ganchos sobre los que se suspenden los ánodos y las piezas deben ser perfectos, requiere evidentemente el debido cuidado.

Lo importante de este paso radica en que si la unión de la pieza con el alambre no es firme (tipo cuña) el alambre se oxida produciéndose en el una capa aislante que no permite la circulación de corriente hacia la pieza y la electrolisis se detiene.

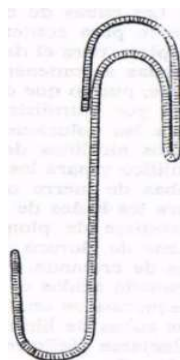


**Figura No 3.5**

Ánodos y cátodos acoplados a las barras en forma de cuña

Las mismas observaciones en cuanto al acoplamiento de las piezas a la barra catódica.

Para los ánodos se recomienda atornillar las patillas de los ganchos en la parte superior de las placas. Por otra parte, es ventajoso que los ganchos sean planos, puesto que los ganchos de alambre cilíndrico, presentan el inconveniente de asentarse sobre una línea y a veces tan sólo sobre algunos puntos. Para los ánodos, el gancho y la varilla de suspensión deben ser del mismo metal que éstos, así, en el caso de una posible inmersión, el metal del gancho funcionaría como ánodo. Para los objetos suspendidos del cátodo, puede bastar con varillas o alambres de latón, aunque la inmersión deba hacerse bajo corriente. Este sistema tiene el inconveniente de provocar pérdidas inútiles de recubrimiento electrolítico sobre la varilla sumergida. Es por esto que a menudo se emplean varillas recubiertas de material aislante, por ejemplo ebonita. Estas varillas llevan, en derivación, ganchos no aislados sobre los que fijan los objetos a recubrir.



**Figura No 3.6**

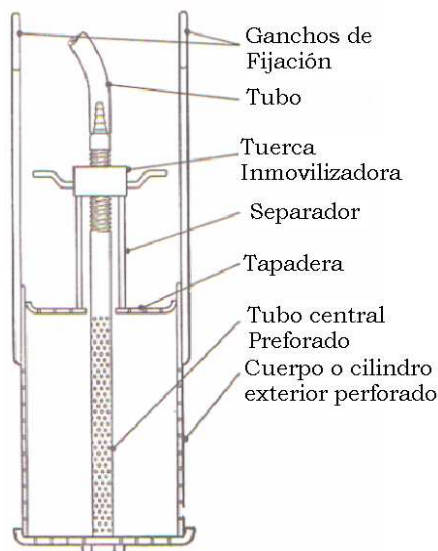
Ganchos para las piezas.

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.36

### **3.5 SISTEMA PARA LA MANIPULACIÓN DE LAS PIEZAS PEQUEÑAS.**

Debido a la naturaleza aislante del film anódico no es posible anodizar las pequeñas piezas de aluminio en bandejas o en tambores rotativos como los que se utilizan para los procedimientos de electro deposición, y es por esto que tal tipo de piezas deben ensartarse juntamente con alambre de aluminio o colocarlas ajustadamente en recipientes perforados de titanio o aluminio (los recipientes de titanio pueden emplearse con las soluciones de ácido sulfúrico, pero no con las de

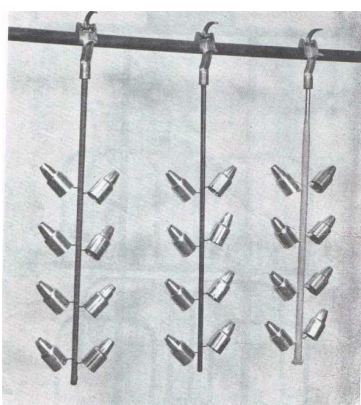
ácido crómico). Los remaches pueden anodizarse estupendamente en los recipientes de esta clase, pero las piezas de forma plana, tales como los discos o arandelas, no deberían tratarse solas, sino mezcladas con otros artículos para mantenerlas separadas entre sí y permitir de esta forma el acceso libre del electrolito por todas las superficies.



**Figura No 3.7**

Soporte para piezas pequeñas

**Fuente:** La Oxidación Anódica del Aluminio. Pág.24



**Figura No 3.8**

Soportes para piezas de tamaño mediano

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.

### **3.6 CUBAS.**

Existen diferentes y satisfactorios tipos de cubas. Las de madera son muy corrientes. Estas cubas deben estar construidas con maderas que no contengan demasiado tanino y deben siempre estar montadas con varillas, tirantes y pernos resistentes. Son adecuadas para las soluciones débilmente ácidas o alcalinas y para las soluciones de niquelado

Las cubas de hierro o de acero son utilizadas corrientemente para contener la gasolina o el tricloretileno que se emplean para el desengrase de las piezas.

Las cubas de hierro fundido o de acero esmaltadas son convenientes para los ácidos o los álcalis, con la condición de que el esmalte sea de buena calidad.

Las cubas de gres resisten bien a las soluciones ácidas y alcalinas. Su inconveniente reside en su fragilidad, llegando su capacidad a un máximo de 500 litros.

Las cubas de cemento ofrecen la ventaja de su bajo coste y de poder ser empleadas en grandes dimensiones, pero resisten mal a los ácidos y a los álcalis y son más bien empleadas para contener las aguas de lavado.

### **3.7 MATERIAL PARA AGITAR LOS BAÑOS.**

Los baños se agitan, por lo general, por medio de aire comprimido suministrado por tubos de plomo perforados, situados en el fondo de las cubas. El aire de agitación debe ser muy limpio. Este modo de agitación es muy práctico y da buenos resultados. Puede asimismo obtenerse la agitación de los ánodos y cátodos por medios mecánicos. Generalmente se agitan los cátodos, es decir, las piezas. Puede dárseles un movimiento de vaivén o bien imprimirles desplazamientos verticales y horizontales. También pueden efectuarse movimientos de traslación por cadenas sin fin, lo que permite renovar el electrolito en contacto con las piezas. Otro modo de agitación consiste en hacer circular el líquido por medio de una bomba que lo aspire y vuelva a verterlo en las cubas. Este procedimiento suele combinarse con un filtrado.

### **3.8 MATERIAL DE FILTRADO.**

En los baños siempre hay impurezas, por ejemplo, sedimentos, que reposan en el fondo de las cubas, y partículas sólidas en suspensión provenientes de los ánodos o del polvo atmosférico. Estas diversas impurezas provocan contratiempos, especialmente en los baños calientes y agitados, en donde es necesario el filtrado.

La eliminación de las impurezas de un baño puede efectuarse por decantación. Este método requiere tiempo y apropiado material de transvase. El filtrado puede realizarse haciendo subir el líquido, por medio de un elevador, y vertiéndolo sobre un filtro de tela. Este método también es lento.

Se puede también filtrar por centrifugación, en depuradoras centrífugas, con la taza girando a gran velocidad. Pero el desgaste es bastante grande y esto es lo que ha conducido a construir aparatos de velocidad media, en los cuales el líquido es proyectado sobre telas filtrantes especiales. Estos aparatos se desgastan poco y dan generalmente buenos resultados.

### **3.9 MATERIAL DE SECADO.**

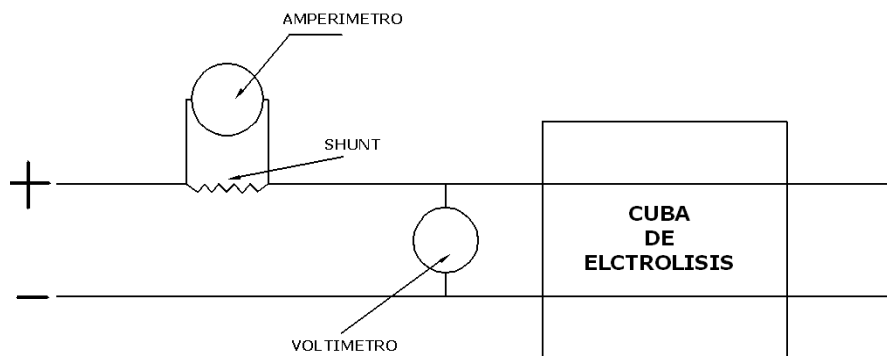
Para el secado de las piezas, una vez convenientemente lavadas, se emplea serrín bien seco y exento de tanino o de resina. Como recipiente puede emplearse un simple cajón de madera en el que se vierten las piezas, recubriéndolas de serrín. Para los objetos pequeños se emplean a menudo tambores rotatorios. El secado por medio de estufas de gas o de resistencias eléctricas da buenos resultados.

### **3.10 APARATOS DE MEDIDA<sup>8</sup>**

Hemos visto anteriormente que podíamos valernos de un voltímetro para medir las diferencias de potencial existentes entre dos puntos de un conductor y cómo con un amperímetro se puede medir la corriente que pasa en un momento dado por un circuito. Estos dos aparatos son absolutamente necesarios en toda cuba electrolítica. El voltímetro se conecta en derivación mientras que el amperímetro se conecta en serie. (A continuación un esquema de montaje:

---

<sup>8</sup> ARBELLOT L. Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.37



**Figura No 3.9**

Forma de conexión y diferentes instrumentos de medida de voltaje e Intensidad

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos. Pág.37

### 3.10.1 REÓSTATOS

Estos aparatos sirven para regular la corriente, es decir, para ajustar, por ejemplo, la cantidad de amperios deseada para cada baño. Están montados en serie o en paralelo y están constituidos por espiras de hilo metálico más o menos resistente a la corriente eléctrica.

En la instalación de las cubas, los reóstatos van por lo general montados en serie. Los reóstatos con interruptores permiten efectuar buenos contactos y admiten elevadas intensidades.

## 3.11 RENDIMIENTO DEL EQUIPO

### 3.11.1 RECTIFICADOR.

Para el desarrollo del proyecto se utiliza un rectificador de corriente continua, este constituye la base indispensable para el recubrimiento del aluminio.

Para el Proyecto el Rectificador existente en el laboratorio no se encontraba con condiciones de trabajo, mismo que no media la cantidad de intensidad, por lo cual se reemplazo con un nuevo medidor.

### 3.11.2 MEDIDOR DE INTENSIDAD

Para el proyecto es importante el medidor de intensidad de corriente para evitar defectos en las piezas con intensidades excesivas o muy bajas



**Figura No 3.10**

Medidor de Intensidad con numeración de 0 a 3 amperios

### 3.11.3 MEDIDOR DE VOLTAJE.

Controlar el voltaje es importante para el anodizado, en no tener control puede presentar defectos en las piezas finales.



**Figura No 3.11**

Medidor de Voltaje con numeración de 0 a 16 voltios

### 3.11.4 REGULADOR DE VOLTAJE

Consta de un regulador de voltaje en el cual se puede subir hasta los 16 voltios. (Girando de izquierda a derecha)



**Figura No 3.12**

Regulador de voltaje del proyecto

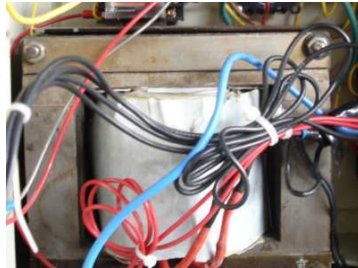
### Interior Del Rectificador

En el interior consta de los siguientes componentes cuyo primario esta.

Un **Transformador** este es alimentado por corriente alterna a tensión normal.

Y cuyo secundario es suministrado corriente alterna bajo débil tensión.

Y el rectificador propiamente dicho que no deja pasar corriente alterna sino en un sentido



**Figura No 3.13**

Elemento Transformador De Corriente del Proyecto



**Figura No 3.14**

En la parte lateral consta de una placa con dos salidas, positiva y negativa

### **3.11.5 CALENTADOR.**

Para el calentamiento de los Ácidos se adaptó un caudín a un eje inoxidable, para suplantar a un calentador de Cuarzo o titanio empleado a nivel industrial por su elevado costo.



**Figura No 3.15**

Calentador De Cuarzo O Titanio Empleado A Nivel Industrial

**Fuente:** Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos.



Para la construcción del soporte utilizamos proceso de doblado el cual las medidas se encuentran detalladas en los planos.

Este soporte consta de una platina de acero al carbono, de Ancho 12mm por un largo de acuerdo a las dimensiones de la cuba



**Figura No 3.16**

Calentador del Proyecto



**Figura No 3.17**

Soporte del calentador

En el soporte se encuentra soldado una tuerca con un perno, el cual permite asegurar el calentador y no permitir que tenga juego con respecto al eje inoxidable

### **3.11.6 SOPORTE PARA EL CÁTODO**

Este soporte es realizado mediante corte y soldadura pintada de color negro para evitar la oxidación sus medidas se encuentran detalladas en los planos, contiene un agujero para la sujeción de el alambre que conduce al cátodo, además de tener una saliente para conectar la corriente mediante unos lagartos



**Figura No 3.18**

Soporte y gancho para el cátodo

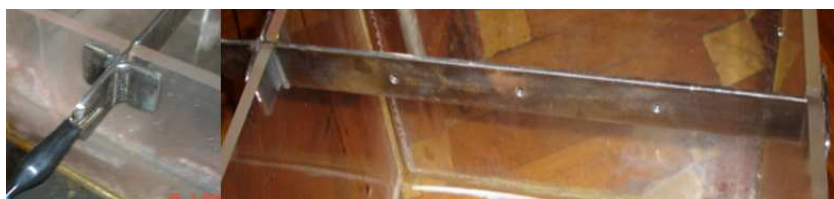
### 3.11.7 SOPORTE PARA LOS ÁNODOS

Este soporte es realizado mediante corte y soldadura pintada para evitar la oxidación con el contacto con el ácido sus medidas se encuentran detalladas en los planos, tiene dos opciones para sujetar a las piezas las cuales son:

**Primero.-** Contiene 3 agujeros para la introducción de los ganchos que sujetan las piezas (Ánodos),

**Segundo.-** Como soporte mediante alambre inoxidable conduce la corriente a la pieza.

Además de tener una saliente para conectar la corriente mediante unos lagartos si se usa el primer punto caso contrario su conexión es directa.



**Figura No 3.19**

Soporte para los ganchos de las piezas



**Figura No 3.20**

Ganchos para los Ánodos y Cátodos.

### 3.11.8 SOPORTE PARA EL TERMÓMETRO.

Es Realizado de Acero al carbono y pintado sus medidas se encuentran detalladas en los planos, es realizado mediante corte y soldadura, contiene un agujero en la parte delantera para le sujeción del termómetro y otro en la mitad para la sujeción a la cuba.

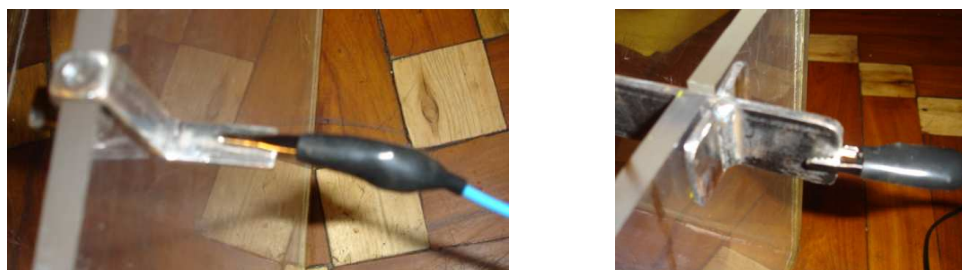


**Figura No 3.21**

Soporte para el termómetro.

### 3.11.9 CONEXIÓN DE LOS ÁNODOS Y CÁTODOS.

Para la conexión de los ánodos y los cátodos utilizamos unos cocodrilos y cable de galga 12 AWG este evita perdida de corriente como se ve en la figura



**Figura No 3.22**

Primero conexión al cátodo polo negativo  
Segundo conexión al ánodo el polo positivo

### 3.11.10 CUBAS.

#### 3.11.10.1 Cubas Para El Desengrasado Y Lavado De Las Piezas.

Para la construcción de las cubas se utilizo acrílico de 4mm de espesor sus medidas se encuentran detalladas en los planos



**Figura No 3.23**

Cubas para los lavados

### 3.11.10.2 Cuba Para El Baño con Acido Sulfúrico.

Para la construcción de la cuba se utilizo acrílico de 10mm de espesor las medidas se encuentran detalladas en los planos



**Figura No 3.24**

Cuba para el Anodizado

### 3.11.11 PAPEL TORNASOL. (Medir el Ph).

Papel para medir el PH de la Solución de Acido Sulfúrico, Hidróxido de Sodio y Acido Clorhídrico en nuestro caso trabajamos con una acides de 7-6.



**Figura No 3.25**

Papel Tornasol

### 3.11.12 ÁCIDOS UTILIZADOS EL EN PROYECTO.



**Figura No. 3.26**

Acido para el Anodizado: *Acido Sulfúrico.*

Acido para la neutralización de vestigios: *Acido Clorhídrico.*

Hidróxido para desengrasar las piezas: *Hidróxido de sodio.*

## CAPÍTULO IV.

### ANÁLISIS DE VARIABLES.

#### 4.1 ANODIZADO.

##### 4.1.1 PARÁMETROS TECNOLÓGICOS.

Tratamiento en diferentes probetas.

**Tabla 4.1**

| <b>ALUMINIO FUNDIDO</b>   |                                |                |                                |
|---------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| <b>PROBETA</b>            | <b>P 1</b>                     | <b>PROBETA</b> | <b>P 2</b>                     |
| TIPO DE BAÑO              | ACIDO                          | TIPO DE BAÑO   | ACIDO                          |
| TEMPERATURA               | 25°C                           | TEMPERATURA    | 22°C                           |
| AGITACIÓN                 | POR AIRE                       | AGITACIÓN      | POR AIRE                       |
| PH                        | 7,5                            | PH             | 7,5                            |
| ELECTROLITO               | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ELECTROLITO    | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| ÁREA                      | 0.244                          | ÁREA           | 0.254                          |
| VOLTAJE                   | 10                             | VOLTAJE        | 14                             |
| INTENSIDAD                | 1.6                            | INTENSIDAD     | 2.5                            |
| TIEMPO                    | 30                             | TIEMPO         | 45                             |
| <b>ALUMINIO ESTRUJADO</b> |                                |                |                                |
| <b>PROBETA</b>            | <b>P 1</b>                     | <b>PROBETA</b> | <b>P 2</b>                     |
| TIPO DE BAÑO              | ACIDO                          | TIPO DE BAÑO   | ACIDO                          |
| TEMPERATURA               | 19°C                           | TEMPERATURA    | 22°C                           |
| AGITACIÓN                 | POR AIRE                       | AGITACIÓN      | POR AIRE                       |
| PH                        | 7                              | PH             | 7                              |
| ELECTROLITO               | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ELECTROLITO    | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| ÁREA                      | 0.39                           | ÁREA           | 0.385                          |
| VOLTAJE                   | 12                             | VOLTAJE        | 11                             |
| INTENSIDAD                | 1                              | INTENSIDAD     | 1.5                            |
| TIEMPO                    | 25                             | TIEMPO         | 0.5                            |

| PROBETA      | P 3                            | PROBETA      | P 4                            |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| TIPO DE BAÑO | ACIDO                          | TIPO DE BAÑO | ACIDO                          |
| TEMPERATURA  | 22°C                           | TEMPERATURA  | 20°C                           |
| AGITACIÓN    | POR AIRE                       | AGITACIÓN    | POR AIRE                       |
| PH           | 7                              | PH           | 7                              |
| ELECTROLITO  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ELECTROLITO  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| ÁREA         | 0.399                          | ÁREA         | 0.399                          |
| VOLTAJE      | 13                             | VOLTAJE      | 12                             |
| INTENSIDAD   | 1.8                            | INTENSIDAD   | 2.2                            |
| TIEMPO       | 35                             | TIEMPO       | 35                             |
|              |                                |              |                                |
| PROBETA      | P 5                            | PROBETA      | P 6                            |
| TIPO DE BAÑO | ACIDO                          | TIPO DE BAÑO | ACIDO                          |
| TEMPERATURA  | 22°C                           | TEMPERATURA  | 23°C                           |
| AGITACIÓN    | POR AIRE                       | AGITACIÓN    | POR AIRE                       |
| PH           | 7                              | PH           | 7                              |
| ELECTROLITO  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ELECTROLITO  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
| ÁREA         | 0.395                          | ÁREA         | 0.395                          |
| VOLTAJE      | 11                             | VOLTAJE      | 13                             |
| INTENSIDAD   | 2.5                            | INTENSIDAD   | 3                              |
| TIEMPO       | 45                             | TIEMPO       | 1                              |

Parámetros obtenidos de las probetas en la práctica

Las probetas escogidas para el tratamiento son redondas, para el cálculo de las áreas utilizaremos el diámetro y la altura, además de las siguientes formulas.

$$AL = 2\pi.R.h$$

$$AT = AL + 2\pi R^2$$

**Donde:**

*AL= Área lateral.*

*AT= Área Total.*

*R= Radio de la probeta*

*H= Altura.*

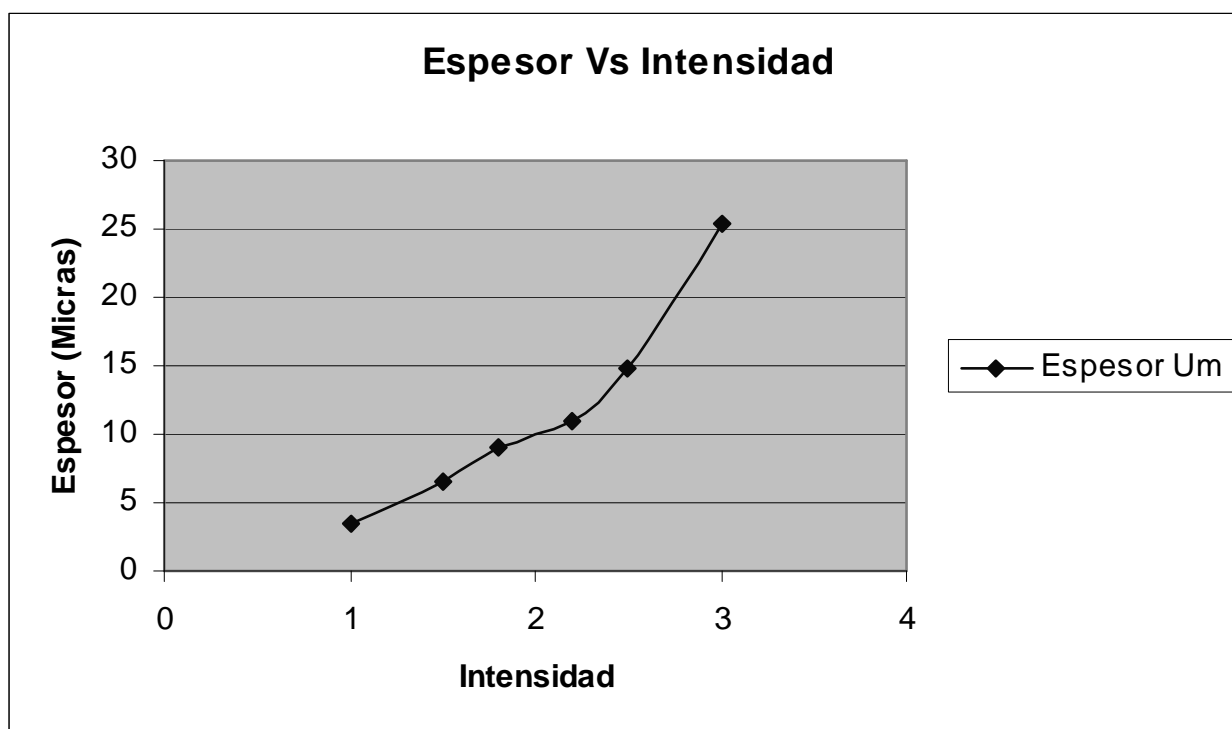
Los resultados de los ensayos se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 4.2**

| Temperatura °C | Potencial Hidrogeno PH | Equivalente Electroquímico Eq. | Intensidad de Corriente A | Tiempo H | Rendimiento n | Área dm2 | Densidad g/dm. | Espesor Um |
|----------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------|---------------|----------|----------------|------------|
| 19             | 7,5                    | 9                              | 1                         | 0,4      | 1             | 0,39     | 0,0027         | 3.41       |
| 22             | 7,5                    | 9                              | 1,5                       | 0,5      | 1             | 0,385    | 0,0027         | 6.5        |
| 22             | 7,5                    | 9                              | 1,8                       | 0,6      | 1             | 0,399    | 0,0027         | 9.02       |
| 20             | 7,5                    | 9                              | 2,2                       | 0,6      | 1             | 0,399    | 0,0027         | 11.02      |
| 22             | 7                      | 9                              | 2,5                       | 0,7      | 1             | 0,395    | 0,0027         | 15         |
| 23             | 7                      | 9                              | 3                         | 1        | 1             | 0,395    | 0,0027         | 25.3       |

Datos obtenidos en las pruebas

Grafico de los resultados obtenidos.



**Figura No 4.1**

Espesor de la alumina en función de la Intensidad de corriente



#### 4.1.2 OBSERVACIONES.

- El trabajo con estos ácidos es peligroso por lo que se debe tener el debido cuidado en el momento del tratamiento.
- No todos los procesos de obtención del aluminio son aptos para el anodizado. Ej. El aluminio fundido no es apto. Como se observa en la figura 4.2.
- Mantener la temperatura del electrolítico en la indicada para cada prueba
- El exceso de temperatura va cerrando la estructura porosa, la misma que no permite penetrar ninguna tintura.
- No todas las aleaciones están dispuestas al coloreado, si se obtiene un aluminio con el 99% puro, es mucho mejor.
- A mayor tiempo de exposición aumenta la capa anódica pero hasta un tiempo limitado, ya que empieza la disolución de los poros en la superficie.
- En la practica, no siempre el tiempo calculado es el tiempo de tratamiento se puede regirse en tiempos obtenidos por experiencias de personas especializadas en estos tratamientos.
- Las piezas no se puede tinturar con todos los tintes orgánicos los mas propicios son el rojo, negro y azul.
- Las piezas que se encuentran juntas durante el tratamiento no se anodizan, se deben mantener separadas las piezas.
- Si los conductores que conducen la electricidad al ánodo y cátodo no están en forma de cuña se interrumpe el anodizado.

#### 4.1.3 CONCLUSIONES.

- Las piezas deben estar limpias libres de grasas antes de realizar el tratamiento.
- Controlar la temperatura, la elevación de 1 grado centígrado puede fracasar el anodizado
- No anodizar a piezas que salgan directamente de la fundición.

- Durante el tratamiento el voltaje empieza a bajar, esto quiere decir que el proceso esta bien, ya que la capa anódica no es conductora e impide el paso de corriente.
- Los conductores al ánodo y cátodo deben ser en forma de cuña.
- El exceso de solución de acido sulfúrico en la mezcla eleva la velocidad de disolución en las piezas.
- El exceso de exposición de las piezas en el acido provoca el desgaste en la superficie, terminado con un acabado como si fuera una corrosión por picadura.

#### 4.1.4 RESULTADOS.



**Figura No 4.2**

Piezas de aluminio estrujado realizado un anodizado decorativo



**Figura No 4.3**

Piezas de aluminio estrujado realizado un anodizado y coloreada



**Figura No 4.4**

Pieza de aluminio fundido realizada un anodizado

## **CAPÍTULO V.**

### **ENSAYOS EN LA CAPA ANÓDICA DEL MATERIAL TRATADO.**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN.**

Por lo dicho anteriormente se ve que las propiedades de las capas anódicas son extraordinariamente polifacéticas dependen por una parte de los materiales y por otra de los métodos de oxidación escogidos y de las condiciones de trabajo necesarias en cada caso, así como de los tratamientos de acabado.

#### **5.2 OBJETIVO Y ALCANCE.**

Obtener como resultado una superficie sin imperfecciones del anodizado, de acuerdo a las condiciones requeridas en cada caso las capas de oxido deben satisfacer ciertas condiciones mínimas de dureza, porosidad, poder dieléctrico, espesor, resistencia al desgaste de determinadas sustancias, etc. Para lo cual existen pruebas específicas.

#### **5.3 METODOLOGÍA DE APLICACIÓN.**

En general, para valorar la eficiencia de la película de oxido se determina su espesor sin embargo no suficiente para estimar la eficiencia de una película de oxido ya que se a registrado caso de películas muy delgadas y mucho mas efectivas que películas mas gruesas.

#### **5.4 CONTROLES O ANÁLISIS PARA LOS FILMS ANÓDICOS.**

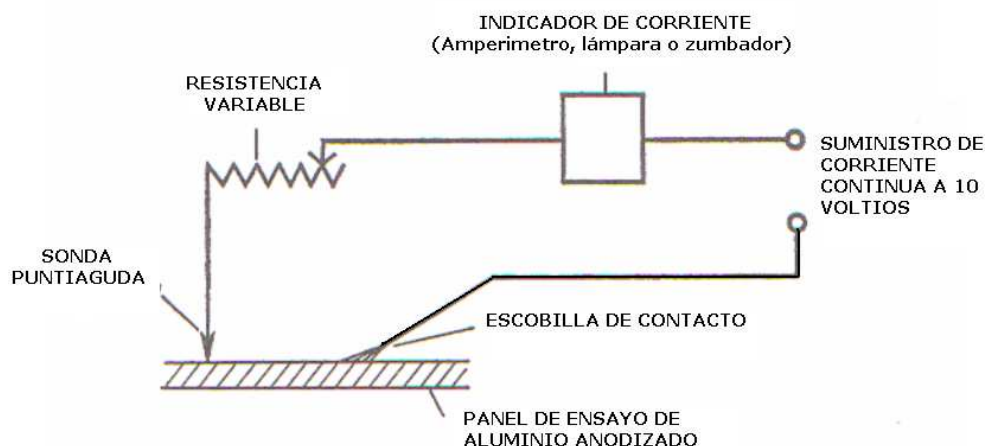
Para el análisis del Film Anódico se puede dividir en dos categorías como son:

- Métodos No Destructivos
- Métodos Destructivos

## 5.4.1 MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS.

### 5.4.1.1 Ensayo de Comprobación de la Continuidad de los Recubrimientos Anódicos.<sup>9</sup>

Puede emplearse un aparato eléctrico de bajo voltaje para comprobar la continuidad de un film de oxidación anódica.



**Figura No 5.1**

Dispositivo eléctrico para determinar la continuidad de los acabados anódicos

**Fuente:** La Oxidación Anódica del Aluminio. Pág.30.

Se ajusta la resistencia de forma que cuando la escobilla de contacto y la sonda estén en conexión directa se produzca el paso de un amperio. Mientras con la sonda puntiaguda se está haciendo un contacto eléctrico efectivo sobre el aluminio, se traslada ligeramente la escobilla de contacto sobre la superficie a comprobar, y cualquier discontinuidad en el recubrimiento se refleja mediante el paso de corriente.

### 5.4.1.2 Método Micrográfico.

Se basa en la observación microscópica de la sección transversal de la probeta anodizada, el corte se realiza perpendicularmente a la película anódica.

Luego se pule metalográficamente utilizando abrasivos cada vez más finos procurando que los bordes de la probeta se dañen lo menos posible

<sup>9</sup> VILADRAU GERONA. La Oxidación Anódica del Aluminio Pág. 29

### 5.4.1.3 Determinación del sellado.

Una manera de detectar si el sellado es de buena calidad es marcando el perfil o anodizado con un marcador a fibra. Si el sellado es correcto se podrá eliminar la marca con un simple trapo. Si el sellado no es bueno la tinta habrá penetrado en los poros y no podrá limpiarse.

## 5.4.2 MÉTODOS DESTRUCTIVOS.

### 5.4.2.1 Ensayo del Grosor de Capa.<sup>10</sup>

Se determina el grosor del film efectuando el desanodizado de una pieza para control cuidadosamente pesada, mediante una solución compuesta por:

Acido crómico puro, 20 g.

Acido fosfórico (p.e = 1,75), 35 c.c.

Agua, hasta completar 1 litro de solución.

Esta solución se coloca en un recipiente de vidrio resistente al calor o bien en un depósito de acero inoxidable y se usa a ebullición. La pieza control se sumerge durante unos pocos minutos hasta que quede completamente desanodizada, a continuación, se enjuaga y seca, y el grosor de capa se calcula de la forma siguiente:

Espesor del film anódico en micrones =

$$= \frac{\text{peso.del.film.en.g.} \times 10000}{\text{superficie.de.la.pieza(cm}^2\text{)} \times 2.7}$$

Espesor del film anódico en pulgadas=

$$= \frac{\text{peso.del.film.en.g.} \times 10000}{\text{superficie.de.la.pieza(pulgadas}^2\text{)} \times 44}$$

### 5.4.2.2 Ensayo de La Impermeabilidad de la Capa.

Para determinar la impermeabilidad de las capas de oxido se realiza pruebas de porosidad.

El mas utilizado consiste en destruir la pieza, para esto sobre la superficie de la pieza oxidada se deja una gota de solución de un colorante especial (2% de

<sup>10</sup> VILADRAU GERONA. La Oxidación Anódica del Aluminio Pág. 30

disolución de violeta Antraquinoma - L) dejándola unos 5 minutos, se lava la pieza con agua jabonosa, después de este trato debe quedar como máximo una debilísima traza en el punto tratado.

#### **5.4.2.3 Pruebas de Corrosión en Niebla Salina.**

Este proceso consta en exponer la pieza durante un tiempo determinado a la acción de una niebla salina obtenida por vaporización de una solución acuosa de cloruro de sodio, al finalizar la operación, la película de óxido no debe presentar señales de ataque.

#### **5.4.2.4 Pruebas de Resistencia del Calor y la Luz.**

Consiste en somete a la pieza coloreada a la acción de la luz procedente de una lámpara o aparatos especiales, manteniendo un cierto tiempo dividido en varios ciclos, al inicio de cada uno de estos la luz incide sobre la nueva parte de superficie coloreada de esta manera se observa la mancha de la coloración respecto al tiempo.

## CAPÍTULO VI.

### COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

#### 6.1 GASTOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.

A continuación en la tabla se detalla los gastos empleados en la construcción del equipo.

**Tabla No 6.1**

| DESCRIPCIÓN  | COSTO REAL | COSTO PRESUPUESTADO |
|--|------------|---------------------|
| <b>Material Para El Ensayo Y Construcción Del Equipo</b> |            |                     |
| <b>RECTIFICADOR</b>                                      |            |                     |
| Amperímetro  | 3.00       | 50                  |
| Arreglo Rectificador                                     | 20.00      |                     |
| <b>SOLUCIONES</b>  |            |                     |
| 2.5 Ltrs. de Acido Sulfúrico                             | 25.65      | 70                  |
| 1 Kg. de Hidróxido de Sodio (Soda Cáustica)              | 17.10      |                     |
| 2.5 Ltrs. de Acido Clorhídrico (Acido Muriático)         | 22.50      |                     |
| Papel Tornasol pH  | 13.00      |                     |
| Colorantes   | 15.00      |                     |
| <b>CALENTADOR</b>  |            |                     |
| Cautín   | 5.00       | 35                  |
| Arreglo soporte y eje inoxidable                         | 5.00       |                     |
| <b>EQUIPO PARA EL COLOREADO</b>                          |            |                     |
| Termómetro   | 7.50       | No Presupuestado    |
| 5 Ltrs de Agua Destilada                                 | 10.00      |                     |
| Recipientes para el coloreado                            | 5.00       |                     |
| <b>CUBAS</b>   |            |                     |
| Operaciones de Construcción                              | 60.00      | 50                  |
| Sistema de Sujeción                                      | 15.00      |                     |
| <b>PROBETAS</b>  |            |                     |
| Probetas de aluminio                                     | 30.00      | 6,5                 |
| Ganchos de Aluminio (Alambrón)                           | 10.00      |                     |

| <b>CÁTODO</b>             |               | <b>CÁTODO</b>        |
|---------------------------|---------------|----------------------|
| Probetas Plomo            | 5.00          | 5                    |
| <b>GASTOS VARIOS</b>      |               | <b>GASTOS VARIOS</b> |
| Movilización y transporte | 40.00         | 40                   |
| <b>DOCUMENTACIÓN</b>      |               | <b>DOCUMENTACIÓN</b> |
| Impresiones               | 30.00         | 32                   |
| Anillados                 | 10.00         |                      |
| Copias                    | 20.00         |                      |
| <b>Otros</b>              | 20.00         |                      |
| <b>Subtotal</b>           | <b>388.75</b> | <b>308,5</b>         |

Costos del proyecto

## 6.2 RESULTADOS.

Como resultado se obtiene un valor creciente de acuerdo al valor presupuestado, esto se debe a que algunos materiales no se tomaron en cuenta. Como: el equipo para el coloreado.

Otro aspecto es el alza de precios ejemplo en las cubas y en los cátodos.

Para la terminación del proyecto se utilizó 80.25 USD más de lo presupuestado.



## **CAPÍTULO VII**

### **SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DURANTE EL TRATAMIENTO.**

#### **7.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

La seguridad en este trabajo es importante debido a que se trabaja con productos tóxicos que pueden causar graves daños incluso la muerte.

##### **7.1.1 PROTECCIÓN PERSONAL.**

Todos los elementos de protección personal han sido diseñados para proteger, pero si el usuario no le da el valor necesario a estos elementos estos no servirán de nada.

Se podría hacer una comparación, para entender la importancia de estos elementos:

- El no usar las gafas de protección en todos los trabajos que lo requieran, como el anodizado, corte de metales, esmerilar piezas, etc., es más arriesgado que si la cajera dejara la oficina abierta y se fuera a almorzar.
- En el peor de los casos si se robaran el dinero de la caja, ¿que le podría pasar a la cajera? Lo peor que le podría pasar es que le despidan, pero todavía le quedarían sus ojos para ver, mientras que si el trabajador no se coloca las gafas de protección cuando este en el proceso, el acido le salte a los ojos y le produzca una ceguera temporal y en el peor de los casos una ceguera total, esto será por el resto de su vida.

##### **7.1.1.1 Elementos de Protección Personal en el Tratamiento**

- Gafas de protección
- Mascarillas antigases
- Guantes de látex

###### **7.1.1.1.1 Elementos de protección**

- Gafas de protección: Dispositivo de protección para el sentido de la vista

- Mascaras antigases: Dispositivo de protección para fosas nasales y boca.
- Guantes de látex: Elemento de protección para las manos.

## **7.1.2 PREVENCIÓN DE INCENDIOS**

### **7.1.2.1 El Fuego**

El fuego es una reacción química violenta con generación de calor y llama. Básicamente se necesitan 3 factores para que exista fuego:

#### **Oxígeno, Calor, Combustible**

### **7.1.2.2 Causas de un Incendio**

Entre las causas mas frecuentes podemos indicar:

- Reacciones Químicas, recalentamientos, rayos, chispas, fricción, combustión espontánea, cortes y sobrecargas eléctricas, superficies calientes.

### **7.1.2.3 Agentes Extintores**

En el caso de producirse fuego por los agentes químicos durante el tratamiento el mejor agente extintor es de clase B

## **CONCLUSIONES.**

**Como resultado de este trabajo se obtuvo las siguientes conclusiones:**

- El equipo para el anodizado fue construido para el proceso en si.
- A través de la investigación que involucró el desarrollo del proyecto, se logró adquirir un mayor conocimiento en temas que se relacionan con la aplicación directa y específica aplicando tecnología de punta a nivel de la industria.
- Se aplicó el conocimiento adquirido en materias relacionadas con el tema, impartidas en la Carrera de Procesos de Producción Mecánica.
- El proceso surge de pruebas realizadas, muchas de las cuales cuestan bastante trabajo y tiempo descubrirlas, en algunos casos el coloreado de las piezas falla sin explicación alguna, con esto se quiere decir que la capa anódica se forma, pero no toma color deseado o lo hace muy suavemente.
- Se pudo conocer el proceso de tratamiento y aplicación de los diferentes tipos de aluminios y sus aleaciones dentro de la industria, sus ventajas y desventajas
- Este equipo aportará en la implementación del Laboratorio de Procesos de Producción Mecánica con el fin de adquirir los equipos necesarios para un mejor aprendizaje de los estudiantes.

### **Durante el Tratamiento.**

- El exceso de exposición de las piezas en el ácido provoca el desgaste en la superficie, terminado con un acabado como si fuera una corrosión por picadura.
- Tener cuidado con la oxidación de los conductores del cátodo (Alambres de aluminio), ya que estos se oxidan y empiezan el desgaste hasta romperse.
- La obtención de los datos llevan bastante tiempo, debido a que el anodizado es un proceso delicado, porque si no se controla los parámetros deseados el proceso no llega a concretarse.

- Controlar el tiempo de exposición de las piezas en el electrolito es importante, ya que si el tiempo es demasiado las piezas empiezan a corroer, y si el tiempo es muy corto, el anodizado se consigue, pero con un espesor muy delgado
- En el teñido, no siempre se consigue el color deseado ya que muchas veces depende del tipo de aleación que contiene el Aluminio.
- No todos los colores orgánicos utilizados en industrias textiles son aptos para el coloreado del aluminio, en muchos de los casos existen empresas dedicadas a fabricar tintes empleados para el anodizado.
- Las piezas mas propicias para el anodizado son obtenidas por estrujado, ya que si estas son obtenidas de fundición y sometidas directamente al anodizado, estas no se anodizan, llegando a ser una perdida de tiempo y dinero, para entender mejor se puede observar la comparación en la tabla 2.9 del capítulo II.
- El exceso de acido aumenta la velocidad de disolución en las piezas, esto trae disolución en la superficie, dejando piezas de menor dimensión, e inservibles.

## RECOMENDACIONES.

### Mediante varias pruebas se comprobó:

- Tener cuidado con el uso del equipo y los aditivos, debido a que se trabaja con ácidos muy fuertes, y estos pueden producir graves daños a la piel y su salud.
- Los soportes Necesitan mucho cuidado. Ya que con el contacto con el ácido este se oxida rápidamente el mismo que fue pintado para evitar problemas.
- No todos los procesos de obtención del aluminio son aptos para el anodizado. Ej. El aluminio fundido no es apto para el anodizado ya que no existe una homogeneidad en toda la pieza, como se puede obtener en las piezas laminadas, forjadas o extruidas
- Si no se mantiene la temperatura del electrolítico en la indicada para cada tratamiento, se forma la capa anódica pero este exceso de temperatura va cerrando la estructura porosa, la misma que no penetra ninguna tinte, y es imposible el coloreado.
- No todas las aleaciones están dispuestas al coloreado, si se obtiene un aluminio con el 99% puro, es mucho mejor pero siempre y cuando las probetas no salga directamente de la fundición.
- El exceso de corriente y la falta de voltaje producen el mismo efecto.
- La unión de la pieza al conductor de aluminio que la sostiene debe ser muy firme, si no es así este se comienza a oxidar en el punto donde hace contacto y deja de conducir corriente hacia pieza, la cual no se anodiza.
- No todos los colores de tintes orgánicos son propicios para el teñido de aluminio
- Para el recubrimiento depende en gran medida de la limpieza de las superficies para ello es indispensable realizar una limpieza de una forma adecuada.
- Verificar que los implementos a utilizar que se encuentren en buenas condiciones para evitar problemas.

- Para realizar proceso se debe tener claro los parámetros a utilizar en el tratamiento, debido a que si, se eleva la temperatura, o la intensidad es muy alta tiende a existir falla en el anodizado, el mismo que produce pérdida de la pieza, tiempo y dinero.
- Tener mucho cuidado con el rectificador (transformador) debido a que en el interior tiene elementos de sensibles como el medidor de intensidad, mismos que pueden dañarse.
- Las piezas se deben lavar con abundante agua, ya que si quedan residuos de ácidos especialmente el ácido sulfúrico, la superficie empieza a corroer produciendo pequeñas cavidades o huecos como si fuera una corrosión por fisuras.
- El pulido de las piezas es indispensable para obtener un mejor acabado, con una superficie brillante.
- Tener cuidado con la cantidad de ácido sulfúrico agregada al agua, esta debe estar entre el 15% al 20% o de 150g/l a 180g/l.

## BIBLIOGRAFÍA.

### LIBROS:

1. Arbellot L. **Manual Practico de Recubrimientos electrolíticos**. Editorial s.f., Barcelona / Hispano Europea.
2. Arbellot, L (2001) **Electricidad I**. España
3. Barrand Pierre (1969) **Proceso de conformado del aluminio y sus aleaciones II**. Editorial Bilbao, Urmo
4. CENIM. (1972) **Revista Metalúrgica**. Editorial CENIM, Madrid.
5. **Enciclopedia Autodidáctica Océano** Volumen 5
6. Harrington, D. (2002) **AutoCAD 2002**. Educación: México
7. Lambert MA. (1995) **The Thermal Contact Conductance of hard and soft coat anodized aluminium**. Editorial ASME, New York.
8. Leyenstter, A (1984) **Tecnología de los oficios metalúrgicos**. Editorial Reverte, Barcelona.
9. Lopher, AHR (1990) **Introducción a la electricidad y electrónica**. Editorial Diana, México
10. Machu Willy (1995) **Recubrimientos electrolíticos Brillantes**. Editorial Salvado, Barcelona
11. Norma INEN 950. **Recubrimientos metálicos determinación de la adherencia Métodos de Ensayo**
12. Norma INEN 610 **Tratamientos Superficiales y recubrimientos electrolíticos**. Definiciones y Terminologías
13. O.I.T. (1991) **La Prevención de los Accidentes**. Editorial: Alfaomega. México
14. "T". dt, Fritz. (1972) **Corrosión y Protección**. Editorial Aguilar, Madrid.
15. Viladrau Gerona. (1973) **La Oxidación Anódica del Aluminio** Ediciones CEDEL de José Oriol Ávila

### INTERNET:

1. [htm:\www.anodizadosmonti.com](http://www.anodizadosmonti.com).
2. [htm:\www.anodizado.com](http://www.anodizado.com).

# ANEXOS

## A



# GUÍA PARA EL RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO ANODIZADO.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.  
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNOLOGOS.  
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA.

## Tema.

Recubrimiento electrolítico de anodizado del aluminio sobre la superficie del mismo metal.

## I. INDICACIONES.

Es aconsejable trabajar con un par de guantes de látex y tomar las piezas solo del conductor instalado antes.

### Preparación del Acido Sulfúrico.

Una vez con todos los elementos preparar el electrolito, el más común consiste de una solución de Ácido Sulfúrico al 20 % en agua a una temperatura de 20°. *"Tener cuidado en la preparación de este, siempre debe agregarse el ácido en el agua lentamente, el mismo se ira calentando lo cual es normal. Nunca, al revés, (agua al ácido) ya que esto producirá una explosión que podrá lastimar muy seriamente"*, Es aconsejable trabajar durante todo el proceso con anteojos y guantes protectores.

El baño debe mantenerse a unos 20° C. de temperatura, como el mismo proceso genera calor necesitaremos una bandeja con agua donde poder refrigerar el recipiente del anodizado. En algunos colocar hielo en el agua para mantener la temperatura. Sumergir el **CÁTODO**, colocar el termómetro de manera que se pueda controlar sin tener que moverlo, apoyar en el soporte antes detallada.

### Preparación del Hidróxido de Sodio.

Preparar la solución alcalina compuesta de Hidróxido de Sodio (soda cáustica) al 5% en agua, con una temperatura de 50 o 60° C.

**Preparación del Acido Clorhídrico.**

Esta solución preparar con Ácido Clorhídrico (*ácido muriático*) al 50 % en agua a temperatura ambiente, (*puede ser también Ácido Nítrico*)

El tiempo necesario para la electrolisis calcular en base a la superficie de las piezas, para que el película de oxido se desarrolle de manera adecuada, manteniendo una porosidad que nos permita teñirla.

**Preparación de la Tinta para el Tenido.**

Agregar anilina de la que se utiliza para teñir tela o ropa, la proporción en que se diluye es la indicada por cada fabricante, dar una temperatura suave de aproximadamente 30 a 40° C.

**II. OBJETIVOS.**

- 2.1. Realizar un recubrimiento de aluminio (alumina) sobre el mismo material (aluminio) mediante electrolisis en un baño con ácido sulfúrico
- 2.2. Establecer ventajas y desventajas del proceso de anodizado.

**III. PROCEDIMIENTO.**

- 3.1. Una vez que las piezas están firmemente unidas al conductor proceder a desengrasarlas sumergiéndolas en Hidróxido de Sodio (soda cáustica). Mantener las piezas dentro por 2 a 3 minutos.
- 3.2. Lavar en abundante agua, pero sin tocarlas.
- 3.3. Luego del lavado las piezas deben sumergir en una solución de Ácido Clorhídrico (*ácido muriático*) para neutralizar cualquier vestigio que pudiera haber quedado del baño anterior, sumergimos las piezas solo unos 2 a 5 segundo.
- 3.4. Lavar en abundante agua limpia.

Luego de esto están listas para el proceso de anodizado, no se deben tocar con los guantes, ya que de hacerlo las piezas presentaran unas manchas en su acabado final.

- 3.5. Aún húmedas colocar en el soporte de la cuba principal teniendo la precaución de que estas no se toquen entre si ni en el recipiente.

**3.6.** Una vez todas en su lugar, conectar el **negativo** del transformador al aro de plomo (**CÁTODO**), y el positivo a las piezas (**ÁNODO**), y encender el transformador.

**3.7.** Suministrar un flujo de corriente comprendido entre 1 y 1,5 amperios por  $Dm^2$  con un voltaje de entre 13 y 17 Volts aproximadamente.

Una vez transcurrido el tiempo establecido anteriormente, cortar la corriente, retirar las piezas.

**3.8.** Lavar las piezas en agua limpia sin tocarlas.

En este momento las piezas están listas para el teñido final, por su estructura porosa, la capa de oxido formada en este medio sulfúrico se asemeja a la textil y puede, ser teñida por medio de colorantes formulados para estas industrias.

**3.9.** Sumergir las piezas dentro de la pintura, el tiempo necesario lo damos observando el grado de color que van tomando las piezas.

**3.10.** Para el sellado sumergir las piezas en agua destilada hirviendo, ( $100^{\circ} C.$ ) por el término de 2 a 3 minutos.

Mediante un proceso hidrotermal, se consigue cerrar los poros de la capa anódica

#### IV. CÁLCULOS.

Para calcular el espesor del metal depositado aplicamos la siguiente formula.

$$e = \frac{EqxIxtxn}{Axd}$$

**Donde:**

e = Espesor (Um).

Eq = Equivalente electroquímico (Constante de acuerdo a la solución).

I = Intensidad de corriente (Amperios).

t = Tiempo (Hora).

n = rendimiento de la solución (Constante de acuerdo a la solución).

A = Área ( $dm^2$ ).

d = Densidad ( $g/dm^3$ ).

4.1.....  
 .....  
 .....

4.2.....  
 .....  
 .....

4.3.....  
 .....  
 .....

| Temperatura °C | Potencial Hidrogeno PH | Equivalente Electroquímico Eq | Intensidad de Corriente A | Tiempo H | Rendimiento n | Área dm <sup>2</sup> | Densidad g/dm | Espesor Um |
|----------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------|---------------|----------------------|---------------|------------|
|                |                        |                               |                           |          |               |                      |               |            |
|                |                        |                               |                           |          |               |                      |               |            |
|                |                        |                               |                           |          |               |                      |               |            |

**V. OBSERVACIONES.**

5.1.....  
 .....  
 .....

5.2.....  
 .....  
 .....

5.3.....  
 .....  
 .....

**VI. CONCLUSIONES.**

6.1.....  
 .....  
 .....

6.2.....  
.....  
.....

6.3.....  
.....  
.....

**VII. RECOMENDACIONES.**

7.1.....  
.....  
.....

7.2.....  
.....  
.....

7.3.....  
.....  
.....

**VIII. CUESTIONARIO.**

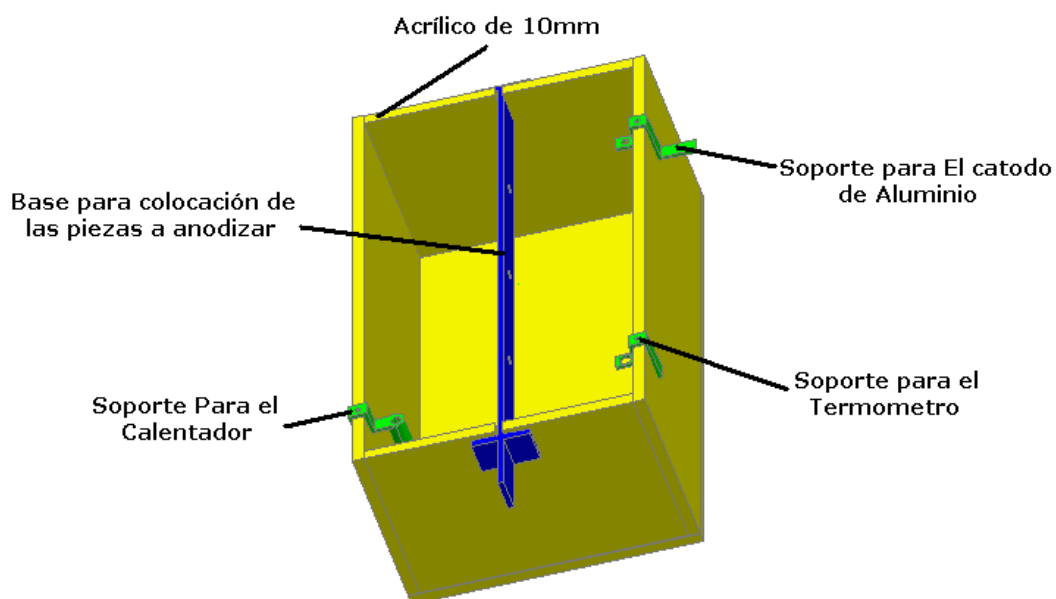
- 8.1. ¿Que es el Anodizado?
- 8.2. ¿Cuáles son las aplicaciones practicas del anodizado?
- 8.3. En base a la ley de faraday calcule el deposito de alumina en la superficie del aluminio.

**IX. GRÁFICO.**

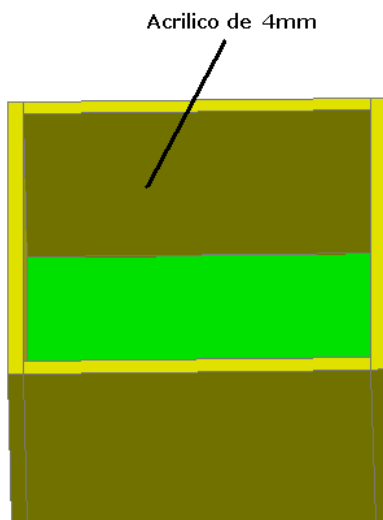
## CONSTRUCCIÓN DE LAS CUBAS Y SOPORTES PARA LA REALIZACIÓN DEL ANODIZADO

### CUBAS Y SOPORTES REALIZADAS EN AUTO CAD 3D ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

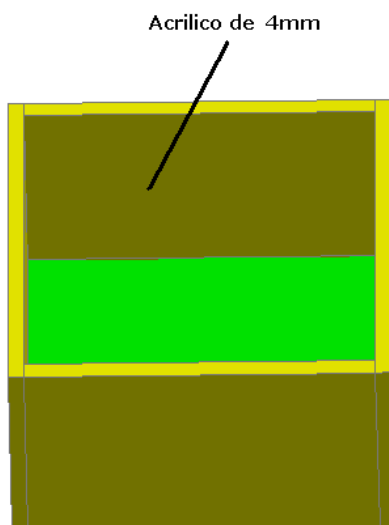
Cuba para realizar el anodizado, baño con Acido Sulfúrico.



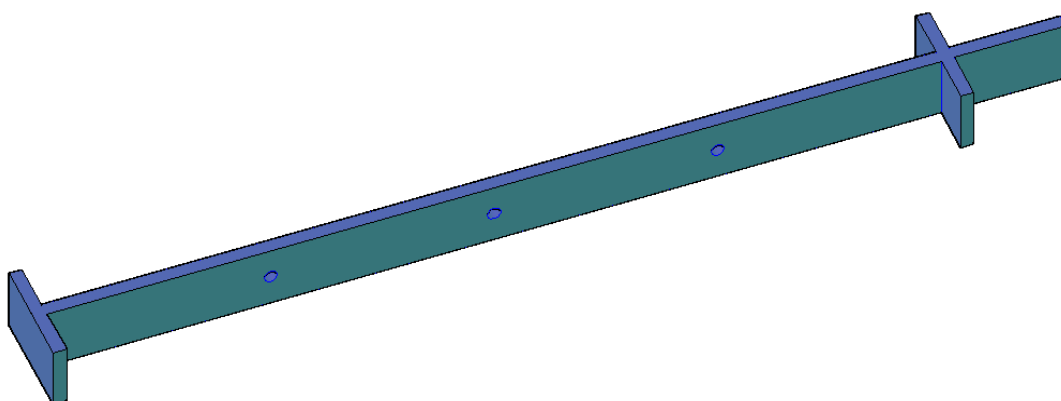
Cuba Para el Lavado de Piezas, Baño con Hidróxido de Sodio (Soda Cáustica)



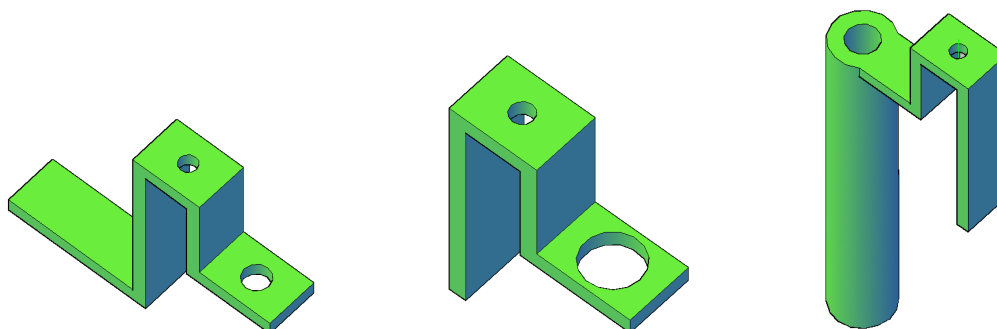
### Cuba para Neutralizar Vestigios, Baño con Hidróxido de Sodio (Soda Cáustica)



Soporte para los ánodos

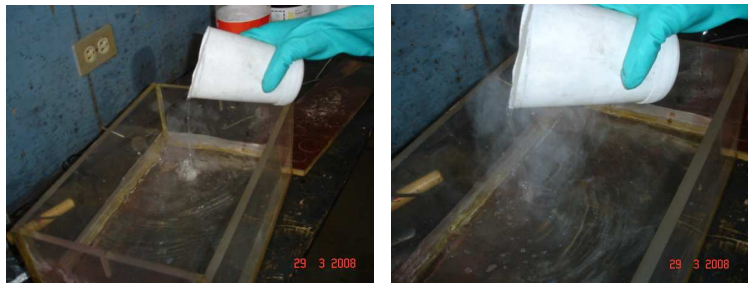


Soporte para los cátodos. Soporte para el termómetro Soporte para el calentador.



## PREPARACIÓN LOS ACIDOS

Preparación del ácido sulfúrico.



Preparación del Hidróxido de Sodio.



Preparación del ácido clorhídrico.



Conexión de Ánodos y Cátodos



Conexión al cátodo

Conexión al ánodo



Cuba con los instrumentos a utilizar en el Proyecto



Piezas a tratar.



Cátodos a utilizar



## PROCESO DEL ANODIZADO

Oxidación anódica del aluminio desprendimiento de burbujas de hidrogeno. De los cátodos.

Cátodo de Plomo



Cátodo de Aluminio



Pieza durante el Tratamiento



### Teñido de la capa anódica



### Sellado de la capa anódica



Voltaje e Intensidad utilizado en el proceso.



Cantidad de Voltaje útil en el proyecto esta entre los 13 a 15 voltios.

Intensidad de corriente útil en el proyecto esta entre 2.4 a 2.5 Amperios.

# **ANEXOS**

## **B**

## CARACTERÍSTICAS, ESPECIFICACIONES DE LOS ÁCIDOS, SEGURIDAD, Y PREVENCIÓN EN CASO DE ACCIDENTES

### ÁCIDO CLORHÍDRICO (ACIDO MURIÁTICO)

**Formula:** HCl

**Peso Molecular:** 36.46 g/mol

**Composición:** Cl.: 97.23 % y H: 2.76 %.

#### GENERALIDADES

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa de cloruro de hidrógeno. Es un líquido de color amarillo (por presencia de trazas de hierro, cloro o materia orgánica) o incoloro con un olor penetrante.

#### PROPIEDADES QUÍMICAS

Productos de descomposición de este compuesto: cloruro de hidrógeno. Reacciona con la mayoría de metales desprendiendo hidrógeno. Con agentes oxidantes. El cual es muy peligroso.

#### MANEJO

Para su manejo es necesario utilizar lentes de seguridad, si es necesario, guantes de neopreno, viton o hule butílico, nunca de polietileno realizar en lugares bien ventilados. No deben usarse lentes de contacto cuando se utilice este producto. *NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.*

#### EFFECTOS EN LA SALUD

**Riesgos de fuego y explosión.-** No es inflamable. Se produce gas inflamable cuando se encuentra en contacto con metales, generan vapores tóxicos e irritantes cuando se calienta.

**Riesgos a la salud.**

**Inhalación.-** En el caso de exposiciones agudas, los mayores efectos se limitan al tracto respiratorio superior. El gas causa dificultad para respirar, tos e inflamación y ulceración de nariz, tráquea y laringe.

**Contacto con ojos.-** Este ácido es un irritante severo de los ojos y su contacto con ellos puede causar quemaduras, reducir la visión o, incluso, la pérdida total de ésta.

**Contacto con la piel.-** En forma de vapor o disoluciones concentradas causa quemaduras serias, dermatitis y foto sensibilización.

**Ingestión.-** Produce corrosión de las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago. Los síntomas son: disfagia, náuseas, vómito, sed intensa y diarrea.

### ACCIONES DE EMERGENCIA

#### Primeros auxilios.

**Inhalación.-** Mover al afectado al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial y mantenerlo caliente y en reposo, no dar a ingerir nada

**Ojos.-** Lavar inmediatamente con agua corriente, asegurándose de abrir bien los párpados.

**Piel.-** Lavar inmediatamente la zona dañada con agua en abundancia.

**Ingestión.-** No provocar vómito. En caso de que la víctima esté inconsciente, dar respiración artificial y mantenerla en reposo y caliente.

**Control de fuego.-** los extintores de fuego se eligen dependiendo de los alrededores, ya que este compuesto no arde. Usar agua como neblina para enfriar todos los contenedores afectados.

**Fugas y derrames.-** ventilar el área y protegerse con el equipo de seguridad necesario. Cubrir el derrame con bicarbonato de sodio

**Efectos en el medio ambiente.-** El ácido clorhídrico es tóxico para las plantas. Produce quemaduras en las hojas y daño interno. Los efectos son significativos en las proximidades de los desagües y en fuentes locales de contaminación.

### ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse en lugares secos, bien ventilados, alejado de materiales oxidantes y protegido de daños físicos.

## ACIDO SULFÚRICO

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

#### Datos Físicos:

**Concentración mayor:** 98,5%

**Densidad a 20 °C:** 1,84 g/cm.

**Solubilidad:** Soluble en agua, pero reacciona violentamente al mezclarse con ella, generando calor.

El Ácido Sulfúrico, a temperatura ambiente es un líquido corrosivo, es más pesado que el agua e incoloro.

Esta es la sustancia más importante de la industria química mundial. Sus nombres químicos son ácido sulfúrico y ácido sulfúrico fumante.

### PELIGROS PARA LA SALUD DE LAS PERSONAS.

**Inhalación.-** La inhalación de los vapores puede causar daño pulmonar grave. Se debe llevar a la víctima en forma urgente al aire libre.

**Contacto con la piel.-** El contacto con la piel puede causar necrosis (gangrena) grave de los tejidos. Deberán lavar las partes afectadas con abundante agua corriente y retirar las ropas lo más rápido posible.

**Contacto con los ojos.-** El contacto del ácido sulfúrico con los ojos puede resultar en la pérdida total de la visión. Se deben irrigar los ojos con abundante agua corriente, por lo menos durante quince minutos. Los párpados deben mantenerse abiertos durante la irrigación

**Ingestión.-** El contacto con los órganos internos del cuerpo corroe las membranas mucosas de la boca, garganta y esófago, con dolor agudo y dificultad para tragar. Debe administrársele abundante agua o leche, con el objeto de reducir la concentración, y una vez hecho esto puede dársele a tomar leche de magnesia o agua de cal para neutralizar el ácido.

**Efectos de una sobre exposición crónica.-** Puede causar traqueo bronquitis, estomatitis, conjuntivitis y gastritis.

**Peligro para el medio ambiente.-** El ácido sulfúrico es dañino para la vida acuática en concentraciones muy bajas.

***Peligros especiales del producto.***- El ácido sulfúrico no es inflamable pero en su concentración más alta puede causar combustión al contacto con líquidos y sólidos. En contacto con metales genera hidrógeno, gas altamente inflamable.

***Protección Ambiental.***- El ácido sulfúrico debe ser usado, si es posible en circuitos cerrados de cañerías, de modo de reducir al mínimo la posibilidad de contacto por derrame accidental. No se debe permitir que el ácido entre en alcantarillas o fuentes de agua.

***Para combatir el fuego.***- Si hay fuegos adyacentes se debe usar el agua con mucha precaución para evitar el contacto con el ácido. Proteger el cuerpo, la vista y las vías respiratorias.

***En caso de derrame del material.***- Se deben hacer diques para contener el flujo del ácido. Usando tierra, arena o concreto. Limpiar neutralizando el líquido con bicarbonato.

### **ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN**

Almacenar separado de carburos, cloratos, fulminatos, nitratos, picratos, metales en polvo, materiales oxidantes y combustibles. en un lugar aislado, no expuesto a la luz solar y bien ventilada.

**Nota adicional:** No comer, beber o fumar durante el trabajo.



## SODA CÁUSTICA (HIDRÓXIDO DE SODIO)

### PROPIEDADES FÍSICAS

**Apariencia.-** Líquido incoloro.

**Formula Química:** NaOH.

**Temperatura de ebullición (1 bar.)-** 145 °C.

**Temperatura de congelamiento (1 bar.)-** 14 °C.

**Peso molecular:** 39.997 g/mol.

### FUEGO Y EXPLOSIÓN

***Incendio y Explosión.-*** No es combustible ni inflamable. Pero si el producto entra en contacto directo con agua puede generar suficiente calor y encender materiales combustibles. Se debe usar polvo químico seco, CO<sub>2</sub>, rocío de agua o espuma química y proceder al aislamiento y enfriamiento.

### RIESGOS PARA LA SALUD

***Inhalación.-*** La inhalación de neblina concentrada puede causar daño al sistema respiratorio superior y al tejido pulmonar, lo cual puede producir desde una irritación a las vías respiratorias superiores hasta una neumonía química. Si se dificulta la respiración administre oxígeno. En caso de interrupción de la respiración, se aplica respiración artificial

***Ingestión.-*** Si es ingerido (tragado), produce quemaduras severas, perforación de mucosas de la boca, garganta, esófago y estómago, incluso la muerte. No induzca el vómito. Si la persona está consciente dé grandes cantidades de agua o de ser posible proporcione algunos vasos de leche.

***Contacto con los Ojos.-*** Es un severo peligro para los ojos. Puede producir conjuntivitis. Lave inmediatamente los ojos con agua en abundancia durante mínimo 15 minutos manteniendo los párpados separados para asegurar un lavado de la superficie completa del ojo

***Contacto con la piel.-*** Líquido irritante y corrosivo. Ocasiona pérdida del cabello. El contacto con la soda destruye los tejidos y produce severas quemaduras en la

piel. Lave inmediatamente con gran cantidad de agua. Quite la ropa contaminada incluyendo zapatos.

**Efectos Agudos.-** Fuertemente corrosiva a todos los tejidos del cuerpo con el que entre en contacto. El efecto local en la piel puede consistir en áreas múltiples de destrucción superficial hasta profundas ulceraciones de la piel, tejidos del sistema respiratorio y / o digestivos.

**Riesgos Ambientales.-** Esta sustancia, puede ser peligrosa para el ambiente, especialmente si llegara a alterar el pH de masas de aguas; debería prestarse especial atención a los organismos acuáticos.

**En Caso De Derrames.-** Toda zona o área de derrame debe ser considerada área de emergencia. Aísle el área del derrame por lo menos 25 a 50 metros a la redonda. Recoja el producto en tambores vacíos y limpios.

El área afectada debe ser lavada con abundante cantidad de agua y posteriormente cubierta con bicarbonato de sodio.

### **MEDIDAS DE CONTROL DE HIGIENE INDUSTRIAL**

**Ventilación.-** Una buena ventilación general es suficiente para la mayoría de los casos. Se debe controlar la concentración de la neblina, que pueda producirse durante su manejo.

**Protección Respiratoria.-** En atmósferas donde se presente neblina o vapores, se debe utilizar el equipo de respiración adecuado para polvos y vapores alcalinos con filtro.

**Protección De La Piel.-** Se debe utilizar ropa impermeable a los álcalis como: guantes, pantalones, delantales o trajes completos. La ropa contaminada debe ser lavada inmediatamente. Duchas de seguridad se deberán localizar en las áreas de trabajo y deben ser probadas de manera frecuente.

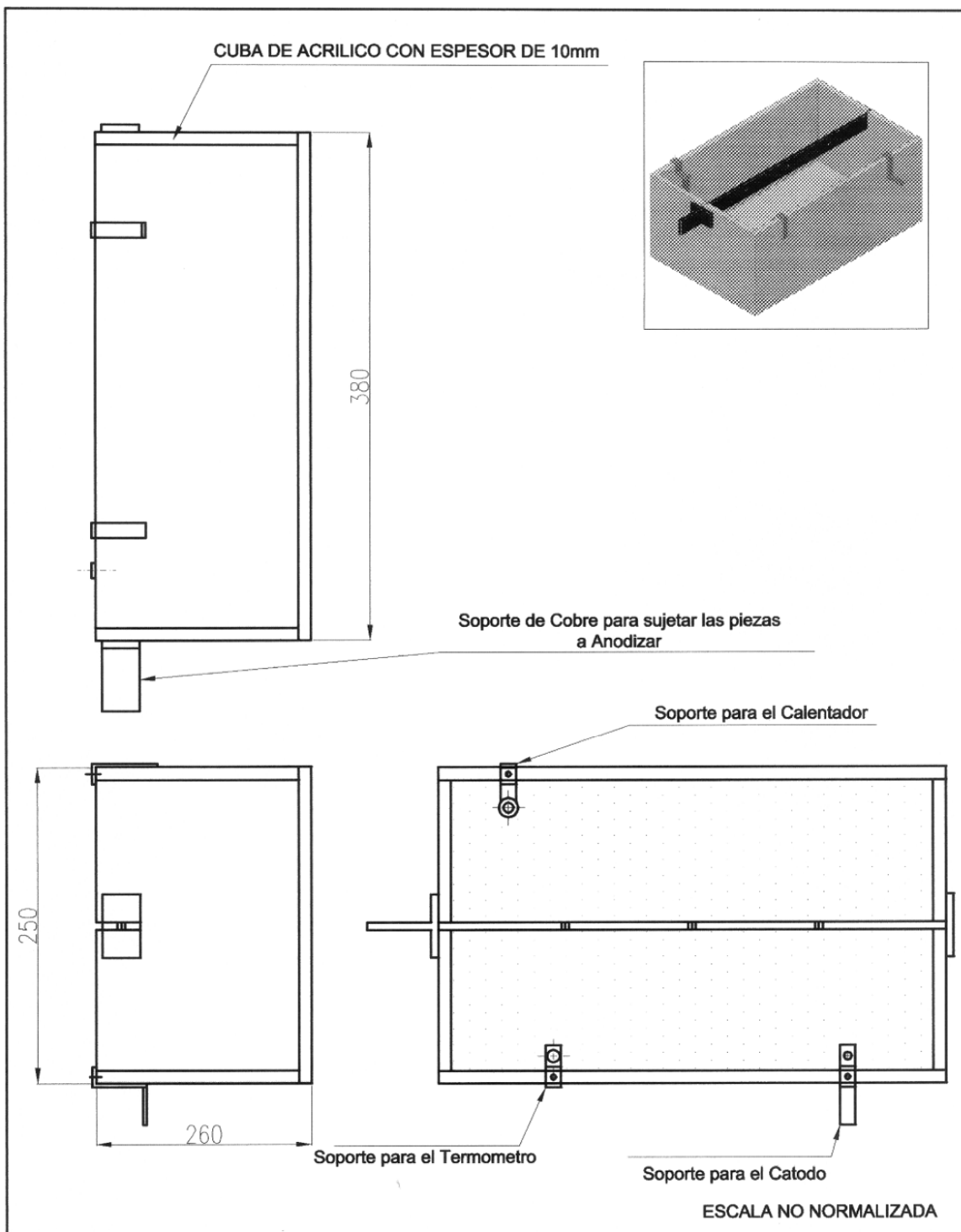
**Protección De Los Ojos.-** Use monogafas químicas. Es aconsejable el uso de careta facial que proteja todo el rostro, ello no elimina el uso de la monogafa química. Lavadores de ojo se deberán instalar en las áreas y deberán ser probados de manera regular.

### **MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

Almacene en un lugar fresco, bien ventilado lejos de los materiales incompatibles, sobre suelos impermeables, con recubrimiento resistente a la corrosión y con buen drenaje. Instale avisos de precaución donde se informe los riesgos y la obligación de usar los equipos de protección personal. La legislación ecuatoriana obliga al cumplimiento de la norma NTE INEN 2266:2000 para el manejo de este producto. Mantener los recipientes cerrados, evitando la exposición directa a fuentes de calor, y la lluvia.

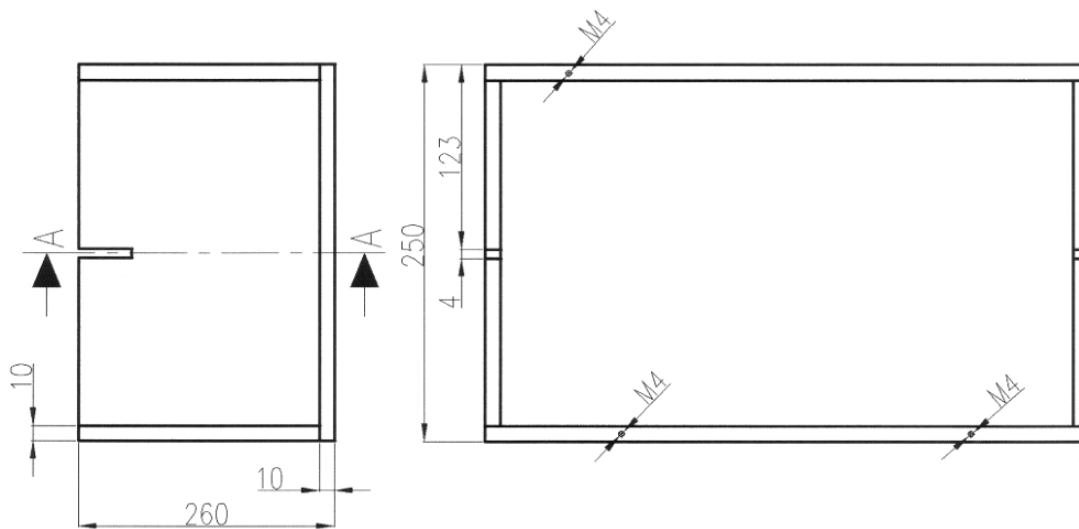
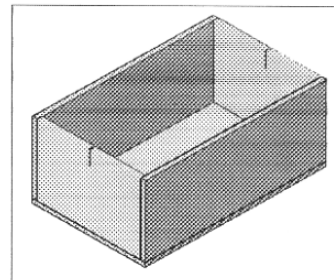
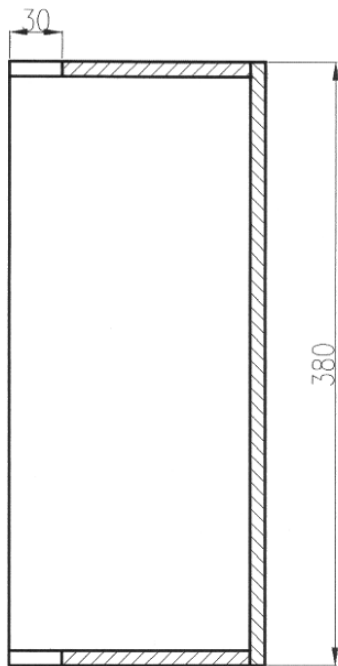
**Nota adicional:** No comer, beber o fumar durante el trabajo.

# PLANOS



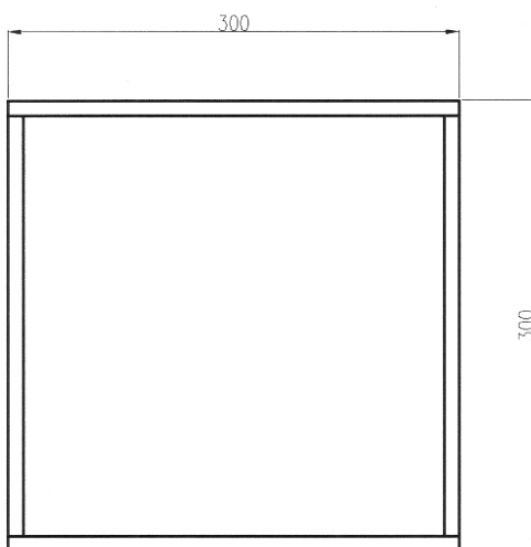
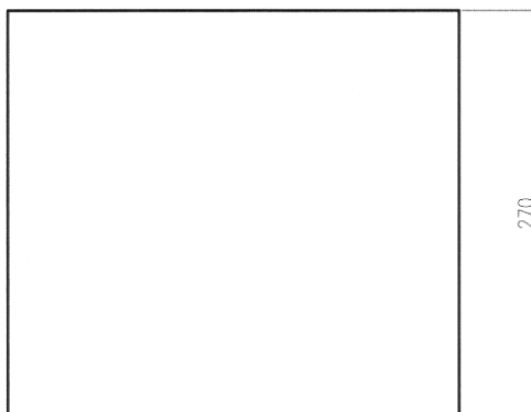
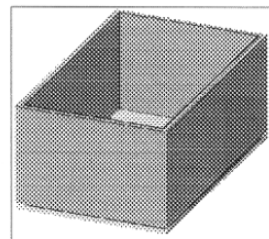
|                          |           |             |  |                     |
|--------------------------|-----------|-------------|--|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO      |           | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                     |
| RECUBRIMIENTO            |           |             |  |                     |
| NUMERO DE PIEZAS         | 1         |             |  |                     |
| MATERIAL:                | TOL GRAL  | ESCALA      | DIB                                    | PALLASCO MARCO      |
| <b>ACRILICO DE 10mm</b>  | $\pm 0.5$ | 1:4         | DIS                                    | PALLASCO MARCO      |
|                          |           |             | REV                                    | ING. DIEGO ESPINOZA |
| <b>CUBA DE ANODIZADO</b> |           | <b>N 01</b> | 20/06/08                               |                     |

CORTE A'-A'

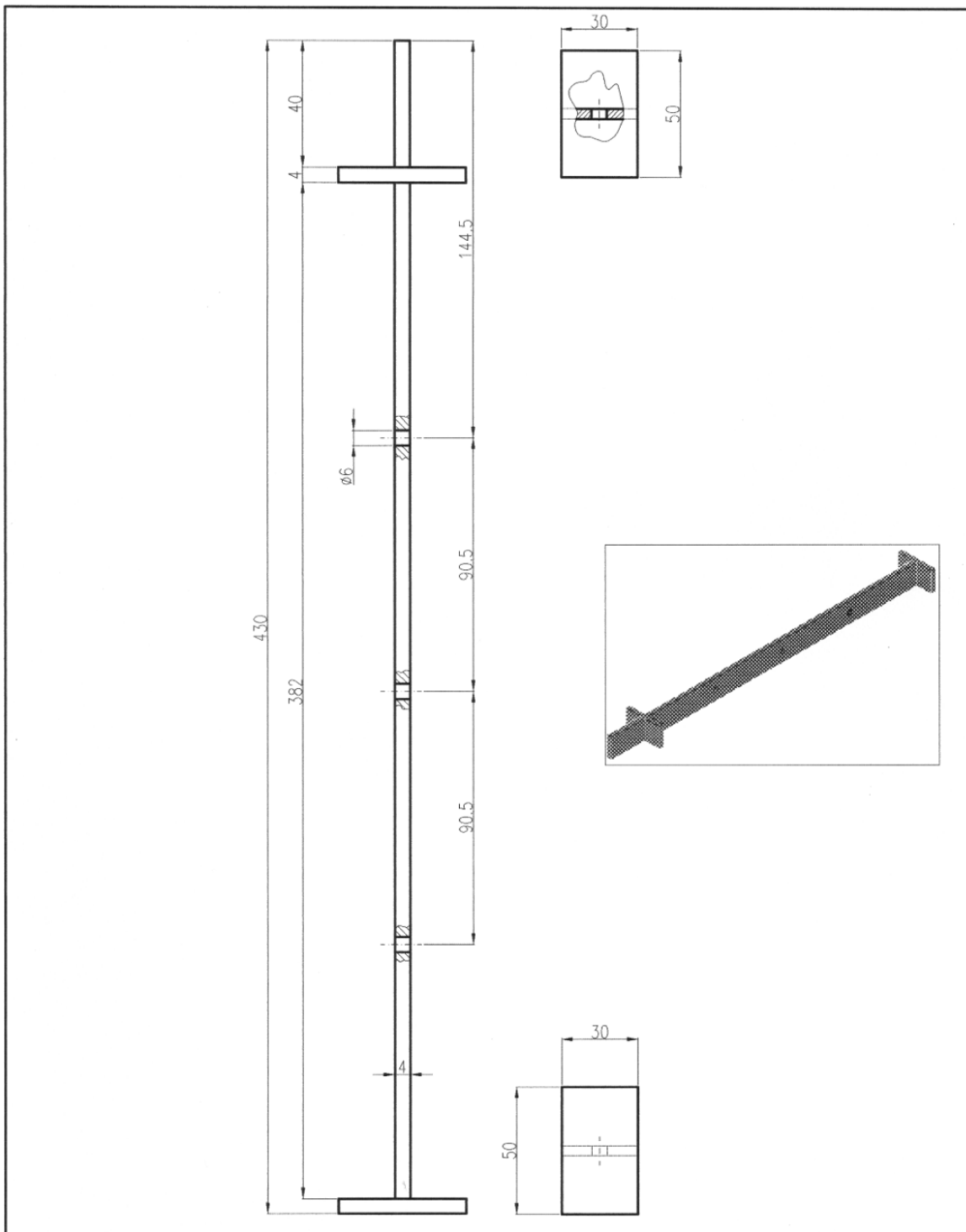


ESCALA NO NORMALIZADA

|                                     |             |             |  |                    |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--|--------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO                 |             | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                    |
| RECUBRIMIENTO                       |             |             | DIB                                    | PALLASCO MARCO     |
| NUMERO DE PIEZAS                    | 1           |             | DIS                                    | PALLASCO MARCO     |
| MATERIAL:                           | TOL GRAL    | ESCALA      | REV                                    | ING DIEGO ESPINOZA |
| <b>ACRILICO DE 10mm</b>             | <b>±0.5</b> | <b>1:4</b>  |  |                    |
| <b>CUBA PRINCIPAL DEL ANODIZADO</b> |             | <b>N 02</b> | <b>20/06/08</b>                        |                    |

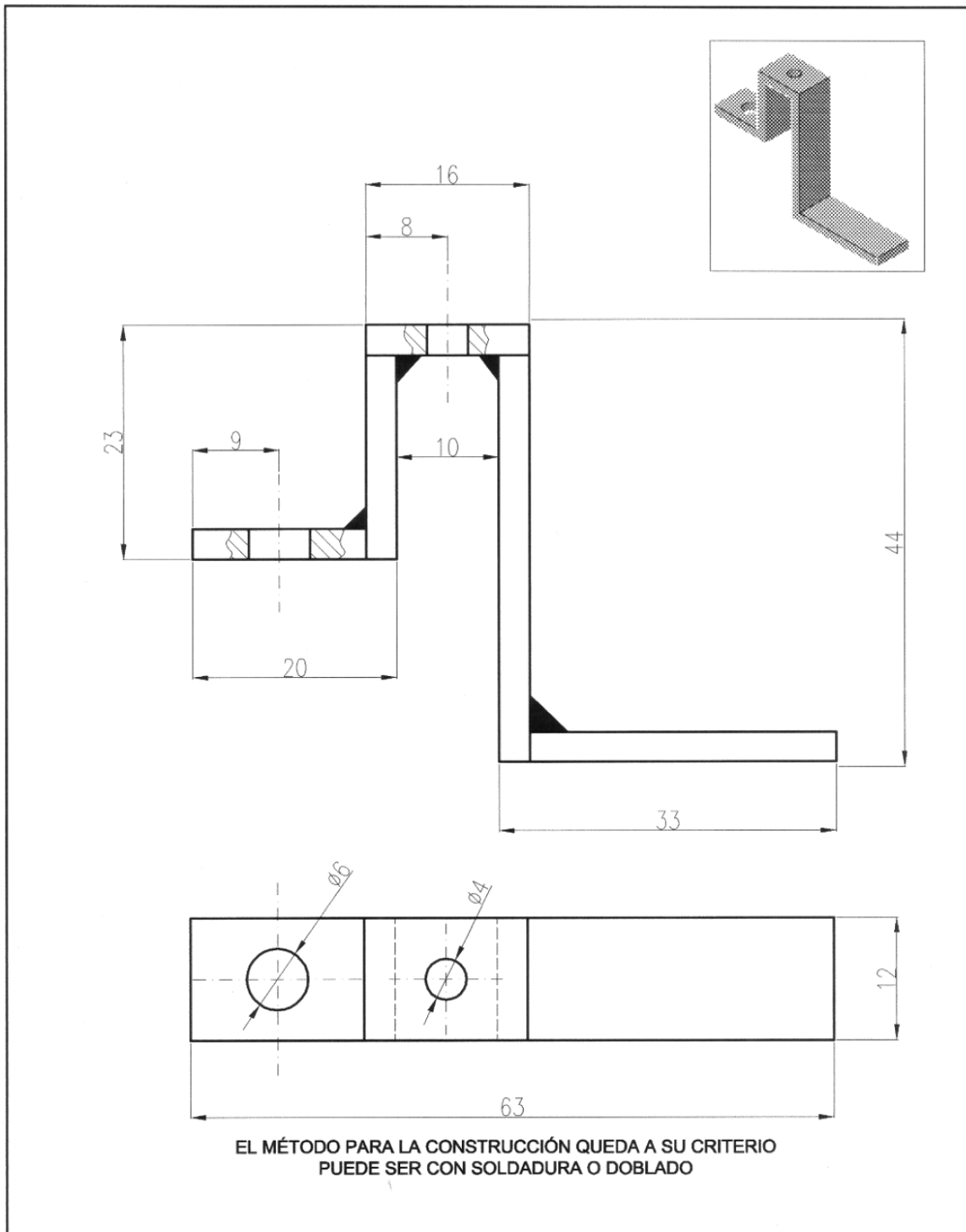


|                             |             |             |  |                     |
|-----------------------------|-------------|-------------|--|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO         |             | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                     |
| RECUBRIMIENTO               |             |             | DIB                                    | PALLASCO MARCO      |
| NUMERO DE PIEZAS            | 2           |             | DIS                                    | PALLASCO MARCO      |
| MATERIAL:                   | TOL GRAL    | ESCALA      | REV                                    | ING. DIEGO ESPINOSA |
| <b>ACRILICO DE 4 mm</b>     | <b>±0.5</b> | <b>1:4</b>  |  |                     |
| <b>CUBAS PARA EL LAVADO</b> |             | <b>N 03</b> |  | <b>20/06/08</b>     |

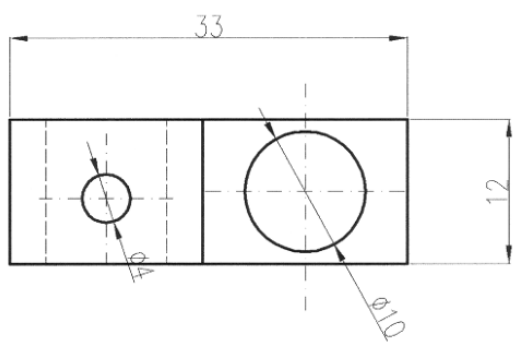
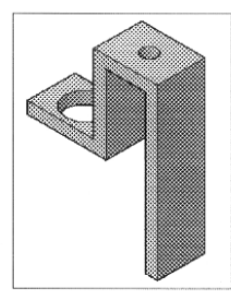
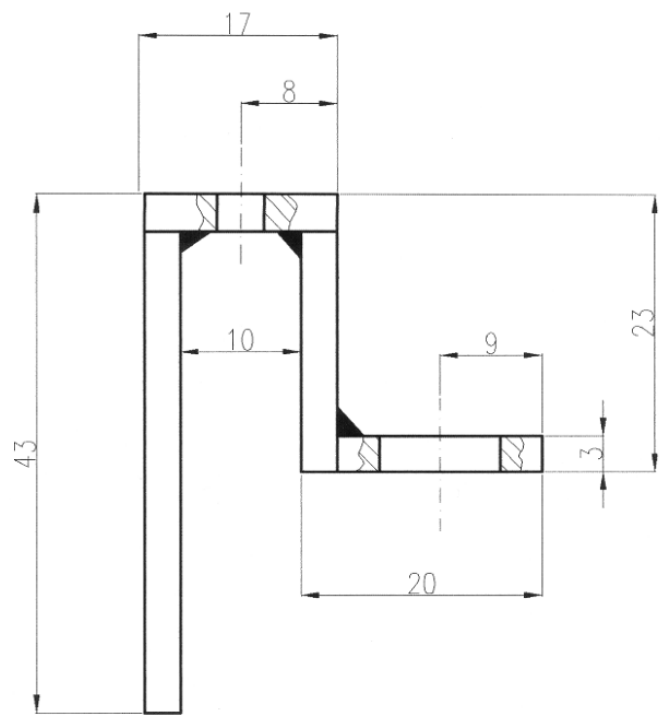


|  |             |             |  |                 |                     |
|--|-------------|-------------|--|-----------------|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO                    |             | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                 |                     |
| RECUBRIMIENTO                          |             |             |  |                 |                     |
| NUMERO DE PIEZAS                       | 1           |             |  |                 |                     |
| MATERIAL:                              | <b>A-36</b> | TOL GRAL    | ESCALA                                 | DIB             | PALLASCO MARCO      |
|  |             | <b>±0.5</b> | <b>1:2</b>                             | DIS             | PALLASCO MARCO      |
|  |             |             |  | REV             | ING. DIEGO ESPINOSA |
| <b>SOPORTE PARA SUJETAR LAS PIF7AS</b> |             |             | <b>N 04</b>                            | <b>20/06/08</b> |                     |



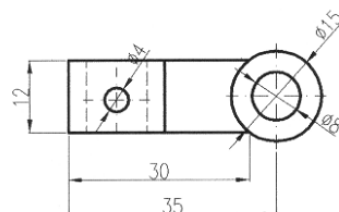
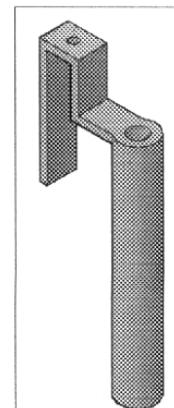
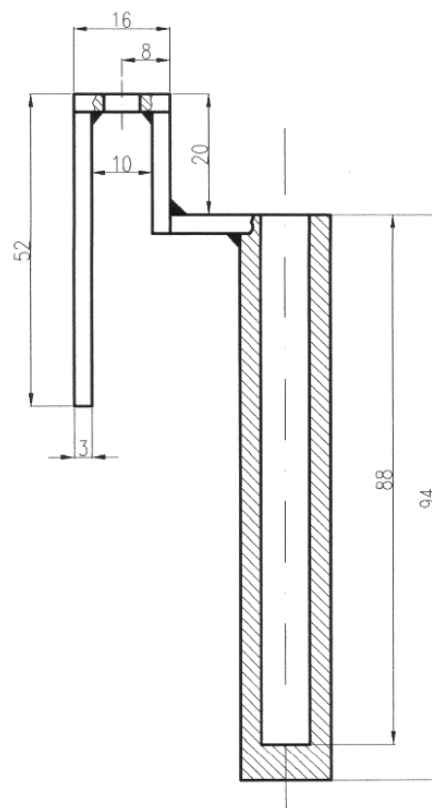


|                               |                  |             |  |                     |
|-------------------------------|------------------|-------------|--|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO           |                  | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                     |
| RECUBRIMIENTO                 |                  |             | DIB                                    | PALLASCO MARCO      |
| NUMERO DE PIEZAS              | 1                |             | DIS                                    | PALLASCO MARCO      |
| MATERIAL:                     | <b>A-36</b>      | ESCALA      | REV                                    | ING. DIEGO ESPINOSA |
|                               | TOL GRAL<br>±0.5 | 2 : 1       |  |                     |
| <b>SOPORTE PARA EL CATODO</b> |                  | <b>N 05</b> | 20/06/08                               |                     |



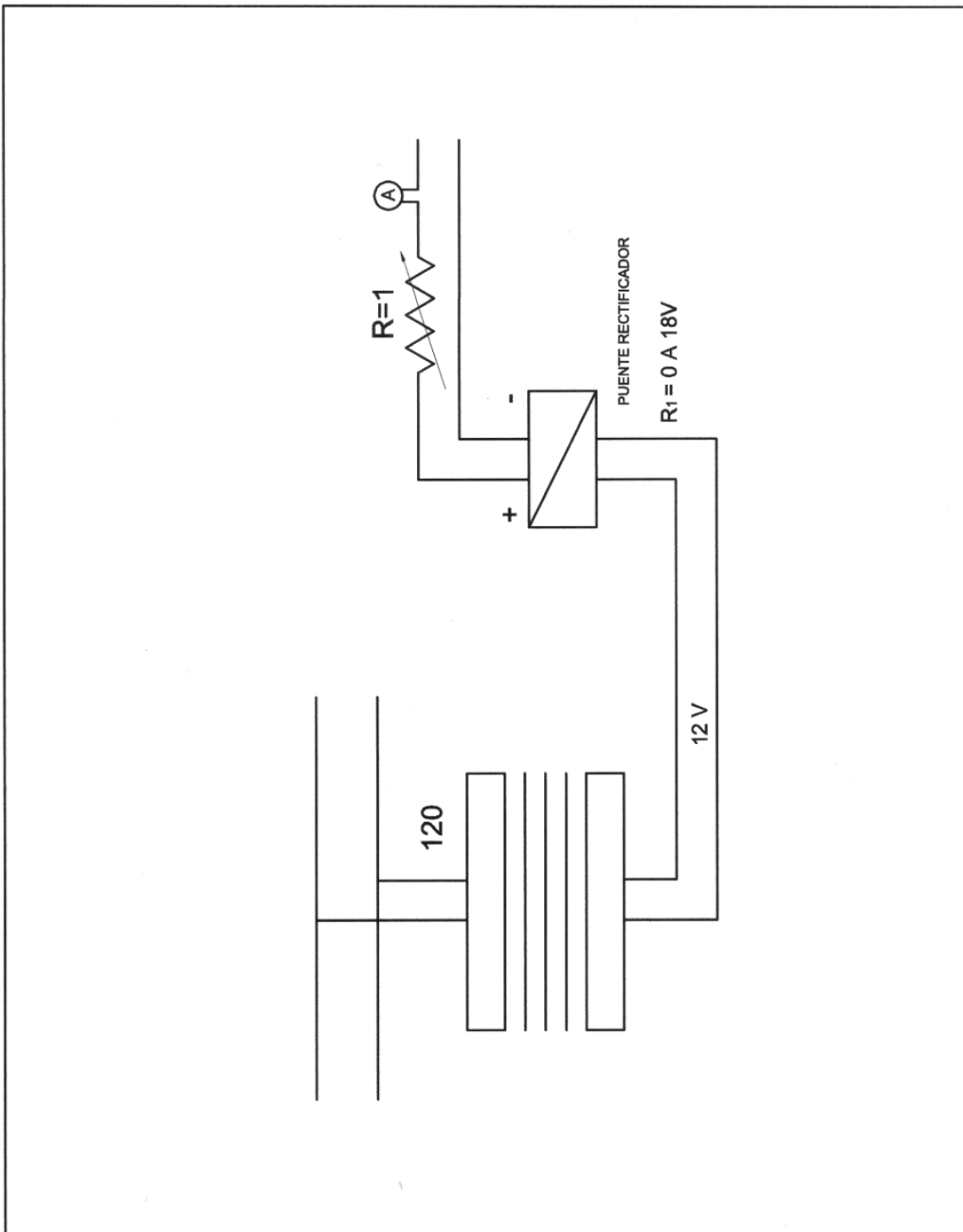
EL MÉTODO PARA LA CONSTRUCCIÓN QUEDA A SU CRITERIO  
 PUEDE SER CON SOLDADURA O DOBLADO

|                                   |             |             |  |                     |
|-----------------------------------|-------------|-------------|--|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO               |             | <b>EPN</b>  | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                     |
| RECUBRIMIENTO                     |             |             | DIB                                    | PALLASCO MARCO      |
| NUMERO DE PIEZAS                  | 1           |             | DIS                                    | PALLASCO MARCO      |
| MATERIAL:                         | <b>A-36</b> | TOL GRAL    | ESCALA                                 | REV                 |
|                                   |             | $\pm 0.5$   | 2 : 1                                  | ING. DIEGO ESPINOSA |
| <b>SOPORTE PARA EL TERMÓMETRO</b> |             | <b>N 06</b> |  | 20/06/08            |



EL MÉTODO PARA LA CONSTRUCCIÓN QUEDA A SU CRITERIO  
 PUEDE SER CON SOLDADURA O DOBLADO

|                                   |             |                         |  |                            |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------|--|----------------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO               |             | <b>EPN</b>              | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                            |
| RECUBRIMIENTO                     |             |                         |  |                            |
| NUMERO DE PIEZAS                  | 1           |                         |  |                            |
| MATERIAL:                         | <b>A-36</b> | TOL GRAL<br><b>±0.5</b> | ESCALA<br><b>1 : 1</b>                 | DIB<br>PALLASCO MARCO      |
|                                   |             |                         |  | DIS<br>PALLASCO MARCO      |
|                                   |             |                         |  | REV<br>ING. DIEGO ESPINOZA |
| <b>SOPORTE PARA EL CALENTADOR</b> |             |                         | <b>N 07</b>                            | <b>20/06/08</b>            |



|  |                  |                 |  |                     |
|--|------------------|-----------------|--|---------------------|
| TRATAMIENTO TÉRMICO                        |                  | <b>EPN</b>      | <b>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</b> |                     |
| RECUBRIMIENTO                              |                  |                 | DIB                                    | PALLASCO MARCO      |
| NUMERO DE PIEZAS                           |                  |                 | DIS                                    | PALLASCO MARCO      |
| MATERIAL:                                  | TOL GRAL<br>+0.5 | ESCALA<br>1 : 1 | REV                                    | ING. DIEGO ESPINOSA |
| <b>DIAGRAMA ELECTRICO DEL RECTIFICADOR</b> |                  | <b>N 08</b>     |  | 20/06/08            |