

T  
671.73  
BAL



# Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción



## “Diseño de un Banco Experimental para Obtener Recubrimientos Electrolíticos Mediante Latonado”



### TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:  
**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**Juan Ricardo Galván Villavicencio**



Guayaquil - Ecuador

Año - 2000



\*D-20198\*

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que de una u otra forma y de manera desinteresada, colaboraron en el desarrollo de esta Tesis de Grado en especial al Ing. Julián Peña Director de esta Tesis.

# DEDICATORIA



A DIOS

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN


---

Ing. Eduardo Rívadeneira P.  
**DECANO DE LA F.I.M.C.P.**



---

Ing. Julián Peña E.  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

Ing. José Pacheco M.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



---

Dr. David Chóez C.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR PÓLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

*Ricardo Galván*

---

JUAN RICARDO GALVÁN V.

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de un banco experimental y el proceso necesario para obtener recubrimientos electrolíticos de Latón, los cuales deben tener ciertas características como brillo y coloración específicos, al igual que mantener un espesor uniforme en toda la pieza que va a ser recubierta.

Este trabajo ayudará a la comprensión del proceso necesario para realizar este tipo de recubrimientos, controlará la calidad de los mismos y ayudará a mejorar ciertos procesos que se aplican de forma errada.

En el primer Capítulo se revisará toda la información teórica para lograr recubrimientos electrolíticos, los diversos tipos de recubrimientos electrolíticos que se realizan, ventajas y desventajas de estos, los diversos tipos de soluciones, cubas, sistemas de limpieza para los metales que serán recubiertos, los diversos métodos de control que se realizan normalmente, etc. Se revisarán, los procesos utilizados normalmente, y los adelantos que ha tenido esta rama de la protección de metales.

En el segundo capítulo se seleccionarán y se distribuirán los diversos elementos que forman parte del banco experimental, se definirán las pruebas que se van a realizar y se diseñará un proceso, el cual se seguirá rigurosamente, y por último se realizarán las pruebas necesarias para obtener los resultados deseados.

Para el tercer capítulo, con los datos obtenidos se realizarán comparaciones de las diversas curvas, las cuales se obtendrán variando las diferentes variables que se usan en este tipo de actividad. Las variables que se van a comparar son: peso, espesor, brillo y adherencia, las cuales varían dependiendo del voltaje, temperatura, composición de las soluciones, etc.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<i>RESUMEN</i>	VI
<i>INDICE GENERAL</i>	VIII
<i>SIMBOLOGIA</i>	XI
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	XII
<i>INDICE DE TABLAS</i>	XV
<i>INTRODUCCIÓN</i>	17
<b>I. RECUBRIMIENTOS METÁLICOS OBTENIDOS POR VIA</b>	
<b>ELECTROLÍTICA</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Técnicas Electrolíticas para Prevención Anticorrosiva</b>	<b>18</b>
<b>1.1.1 Reseña Histórica</b>	<b>20</b>
<b>1.1.2 Disociación Electrolítica</b>	<b>22</b>
<b>1.1.3 Tipos de Recubrimientos</b>	<b>35</b>
<b>1.2 Aspectos cognoscitivos del Latonado</b>	<b>38</b>
<b>1.2.1 Tipos de Materiales que se pueden recubrir con Latón</b>	<b>38</b>
<b>1.2.2 Ventajas y Desventajas respecto a otros Electrodepósitos</b>	<b>39</b>

<b>1.3 Aplicaciones del Proceso de Latonado</b>	<b>41</b>
<b>1.4 Morfología del Proceso</b>	<b>43</b>
<b>1.4.1 Pre Proceso.- Preparación de la Probeta</b>	<b>44</b>
<b>1.4.2 Proceso Principal.- Recubrimientos Metálicos</b>	<b>58</b>
<b>1.4.3 Post Procesos.- Barnizado y Control de Calidad</b>	<b>71</b>
<b>1.4.4 Control de Variables</b>	<b>84</b>
<b>1.5 Elementos constitutivos de una planta experimental para Latonado</b>	<b>93</b>
<b>1.5.1 Especificaciones del Ánodo</b>	<b>93</b>
<b>1.5.2 Características de las Soluciones</b>	<b>95</b>
<b>1.5.3 Distribución de la celda Electrolítica</b>	<b>100</b>
<b>II. DISEÑO DEL BANCO EXPERIMENTAL Y RECOPIACIÓN DE DATOS</b>	<b>116</b>
<b>2.1 Definición de los Elementos Constitutivos de la Planta a Implementar</b>	<b>116</b>
<b>2.2 Asignación de Probetas</b>	<b>136</b>
<b>2.2.1 Selección de las Pruebas que se van a realizar</b>	<b>136</b>
<b>2.2.2 Identificación de las Probetas</b>	<b>138</b>
<b>2.3 Descripción del Proceso Experimental</b>	<b>139</b>
<b>2.3.1 Equipos utilizados y Preparación Superficial</b>	<b>140</b>
<b>2.3.2 Procesos de Recubrimientos Electrolíticos</b>	<b>149</b>

	X
2.3.3 Sellado del Latonado	152
2.4 Control de Variables del Proceso	156
2.5 Resultados Obtenidos	163
2.5.1 Control Cuantitativo de Variables con respecto al Tiempo para la Capa de Níquel	163
2.5.2 Control Cuantitativo de Variables con respecto al Tiempo para la Capa de Latón	167
2.5.3 Control Cualitativo de Brillo y Adherencia para la Capa de Níquel	184
2.5.4 Control Cualitativo de Brillo y Adherencia según Variaciones de Voltaje y Temperatura, para la Capa de Latón	185
III. ANÁLISIS DE RESULTADOS	186
3.1 Peso de la Capa Electrodepositada	186
3.2 Espesor del Recubrimiento	201
3.3 Análisis de Adherencia y Brillo	214
3.4 Defectos Obtenidos	215
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
APENDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

## SIMBOLOGIA

A	: Area Total de la Probeta (dm <sup>2</sup> )
Eq	: Equivalente Electroquímico
D	: Densidad de Corriente (Amp./dm <sup>2</sup> )
$\rho$	: Densidad de las soluciones (g/cm <sup>3</sup> )
$\emptyset$	: Diámetro (mm)
V	: Diferencia de Potencial (Volt.)
$\varepsilon$	: Espesor (mm)
V'	: Fuerza Contra Electromotriz de Polarización
i	: Intensidad de Corriente (Amp.)
lt.	: litros
W	: Peso (g)
p	: Peso Específico
$\eta$	: Rendimiento
R	: Resistencia del Baño
T	: Temperatura (°C)
min.	: Minutos
seg.	: Segundos

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.1</b>	Series Galvánicas para agua de mar	<b>37</b>
<b>Figura 1.2</b>	Aplicaciones del latonado para la decoración de las tapas para interruptores	<b>42</b>
<b>Figura 1.3</b>	Equipo de ultrasonido utilizado para desengrase con solventes	<b>53</b>
<b>Figura 1.4</b>	Esquema del metodo de pruebas para la medición del brillo de las probetas según las Normas DIN.	<b>75</b>
<b>Figura 1.5</b>	Esquema del funcionamiento del medidor de brillo de Krusentsjern-Schlegel	<b>77</b>
<b>Figura 1.6</b>	Equipo de agitación y filtración para baños electrolíticos	<b>89</b>
<b>Figura 1.7</b>	Rectificador de selenio de regulación automática de 8 Volt. 2000 Amp, refrigerado por aceite.	<b>102</b>
<b>Figura 1.8</b>	Cuba para baños electrolíticos con dos barras conductoras anódicas y una barra catódica central	<b>104</b>
<b>Figura 1.9</b>	Motor eléctrico utilizado para la agitación de la barra catódica	<b>107</b>
<b>Figura 1.10</b>	Calentador de cuarzo, utilizado para soluciones ácidas	<b>109</b>
<b>Figura 1.11</b>	Bosquejo de cuba electrolítica calentada por vapor	<b>110</b>
<b>Figura 1.12</b>	Sistema de filtración independiente para electrolitos ácidos y básicos	<b>114</b>
<b>Figura 2.1</b>	Ánodos de Latón	<b>129</b>
<b>Figura 2.2</b>	Transformador Rectificador 10 Amp 15 Volt.	<b>133</b>
<b>Figura 2.3</b>	Probetas antes de entrar al proceso de limpieza	<b>135</b>
<b>Figura 2.4</b>	Porta probetas, utilizados para poder realizar la limpieza mecánica	<b>135</b>
<b>Figura 2.5</b>	Diagrama morfológico de la Preparación Superficial	<b>143</b>
<b>Figura 2.6</b>	Esmeril con paños pulidores	<b>146</b>
<b>Figura 2.7</b>	Cuba para Limpieza Electrolítica con sus Respectivas Conexiones y su correspondiente Barra Anódica	<b>148</b>
<b>Figura 2.8</b>	Diagrama morfológico de los recubrimientos Electrolíticos	<b>150</b>
<b>Figura 2.9</b>	Diagrama morfológico del sellado del Latonado	<b>153</b>
<b>Figura 2.10</b>	Solución de Brastone	<b>155</b>
<b>Figura 2.11</b>	Horno para secado y barnizado de las probetas	<b>155</b>

<b>Figura 2.12</b>	<b>Termómetro de Mercurio</b>	<b>158</b>
<b>Figura 2.13</b>	<b>Medidor de espesores para recubrimientos metálicos no magnéticos sobre sustrato Ferroso</b>	<b>162</b>
<b>Figura 2.14</b>	<b>Probetas recubiertas con Níquel</b>	<b>166</b>
<b>Figura 2.15</b>	<b>Probetas recubiertas con Latón</b>	<b>183</b>
<b>Figura 3.1</b>	<b>Peso de la capa intermedia de Níquel Temperatura 60°C Voltaje: 5.4 Volt.</b>	<b>187</b>
<b>Figura 3.2</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia a temperatura ambiente y Voltaje = 3Volt.</b>	<b>190</b>
<b>Figura 3.3</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia a temperatura ambiente y Voltaje = 4Volt.</b>	<b>191</b>
<b>Figura 3.4</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia a temperatura 40°C y Voltaje = 3Volt.</b>	<b>192</b>
<b>Figura 3.5</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia a temperatura 40°C y Voltaje = 4Volt.</b>	<b>193</b>
<b>Figura 3.6</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel a temperatura ambiente y voltaje = 3 Volt.</b>	<b>194</b>
<b>Figura 3.7</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel a temperatura ambiente y voltaje = 4 Volt.</b>	<b>195</b>
<b>Figura 3.8</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel a temperatura = 40°C y voltaje = 3 Volt.</b>	<b>196</b>
<b>Figura 3.9</b>	<b>Medición de peso de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel a temperatura = 40°C y voltaje = 4 Volt.</b>	<b>197</b>
<b>Figura 3.10</b>	<b>Comparación del peso de la capa de Latón sin capa intermedia</b>	<b>198</b>
<b>Figura 3.11</b>	<b>Comparación del peso de la capa de Latón con capa intermedia de Níquel</b>	<b>199</b>
<b>Figura 3.12</b>	<b>Comparación del peso de los recubrimientos de Latón, a igual temperatura y voltaje con y sin capa intermedia</b>	<b>200</b>
<b>Figura 3.13</b>	<b>Medición del espesor de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia, temperatura ambiente voltaje = 3 Volt.</b>	<b>203</b>
<b>Figura 3.14</b>	<b>Medición del espesor de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia, temperatura ambiente voltaje = 4 Volt.</b>	<b>204</b>
<b>Figura 3.15</b>	<b>Medición del espesor de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia, temperatura = 40°C voltaje = 3 Volt.</b>	<b>205</b>
<b>Figura 3.16</b>	<b>Medición del espesor de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia, temperatura = 40°C voltaje = 4 Volt.</b>	<b>206</b>
<b>Figura 3.17</b>	<b>Medición del espesor de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel, temperatura ambiente voltaje= 3 Volt.</b>	<b>207</b>

<b>Figura 3.18</b>	Medición del espesor de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel, temperatura ambiente voltaje= 4 Volt.	<b>208</b>
<b>Figura 3.19</b>	Medición del espesor de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel, temperatura = 40°C voltaje= 3 Volt.	<b>209</b>
<b>Figura 3.20</b>	Medición del espesor de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel, temperatura = 40°C voltaje= 4 Volt.	<b>210</b>
<b>Figura 3.21</b>	Comparación de los espesores de los recubrimientos de Latón sin capa intermedia	<b>211</b>
<b>Figura 3.22</b>	Comparación de los espesores de los recubrimientos de Latón con capa intermedia de Níquel	<b>212</b>
<b>Figura 3.23</b>	Comparación del espesor de los recubrimientos de Latón, a igual temperatura y voltaje con y sin capa intermedia	<b>213</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
<b>Tabla I</b>	Constantes Químicas y Electroquímicas de los Metales	26
<b>Tabla II</b>	Estándar de Potencial Fuerza-Electromotriz (Potencial de Reducción)	29
<b>Tabla III</b>	Ventajas y Desventajas de los Recubrimientos de Latón Respecto a otros Metales	40
<b>Tabla IV</b>	Baño Ligero para Niquelado	60
<b>Tabla V</b>	Baño para Niquelado Rápido	61
<b>Tabla VI</b>	Solución Cianurada de Latón	67
<b>Tabla VII</b>	Solución de Latón recomendada por la PFANHAUSER	71
<b>Tabla VIII</b>	Elementos mas comunes en las Soluciones para Latonado	96
<b>Tabla IX</b>	Abrillantadores mas utilizados en los Procesos de Latonado	99
<b>Tabla X</b>	Pre-Desengrase	120
<b>Tabla XI</b>	Decapado con sal Base de ácido Sulfúrico	121
<b>Tabla XII</b>	Decapado con sal base de ácido Clorhídrico	122
<b>Tabla XIII</b>	Neutralizante Alcalino	123
<b>Tabla XIV</b>	Neutralizante ácido	123
<b>Tabla XV</b>	Solución para limpieza Electrolítica	125
<b>Tabla XVI</b>	Composición de los baños de Níquel	125
<b>Tabla XVII</b>	Composición y condiciones de operación de Soluciones típicas para Recubrimientos de Latón	126
<b>Tabla XVIII</b>	Identificación de las Probetas	138
<b>Tabla XIX</b>	Elementos Constitutivos Del Banco Experimental	141
<b>Tabla XX</b>	Medición del Espesor de la capa de Níquel depositada.	164
<b>Tabla XXI</b>	Medición del Peso de la capa de Níquel depositada	165
<b>Tabla XXII</b>	Medición del Espesor de la capa de Latón depositada (013)	167
<b>Tabla XXIII</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (014)	168
<b>Tabla XXIV</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (023)	169
<b>Tabla XXV</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (024)	170

<b>Tabla XXVI</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (113)	171
<b>Tabla XXVII</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (114)	172
<b>Tabla XXVIII</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (123)	173
<b>Tabla XXIX</b>	Medición del Espesores de la capa de Latón depositada (124)	174
<b>Tabla XXX</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (013)	175
<b>Tabla XXXI</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (014)	176
<b>Tabla XXXII</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (023)	177
<b>Tabla XXXIII</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (024)	178
<b>Tabla XXXIV</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (113)	179
<b>Tabla XXXV</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (114)	180
<b>Tabla XXXVI</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (123)	181
<b>Tabla XXXVII</b>	Medición del Peso de la capa de Latón depositada (124)	182
<b>Tabla XXXVIII</b>	Datos obtenidos de las Pruebas de Brillo y Adherencia (Ni)	184
<b>Tabla XXXIX</b>	Datos obtenidos de las Pruebas de Brillo y Adherencia	185

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata sobre el estudio y la realización de un Proceso de Recubrimientos Electrolíticos Metálicos sobre un sustrato también metálico, como lo es el acero, estos recubrimientos deben tener propiedades anticorrosivas y características decorativas al mismo tiempo. En este proceso es elemental la utilización de variables como densidad de corriente, voltaje, temperatura, siendo muy importante la concentración de las soluciones.

En el Ecuador existen pocos talleres dedicados a esta actividad, los mas tecnificados en nuestro medio son los de las fabricas de cocinas y refrigeradoras pero a pesar de esto la tecnología utilizada esta muy desactualizada. En los talleres pequeños se usa el sistema de cubas, y el desplazamiento de los elementos de cuba a cuba, se lo realiza manualmente, siendo esto bastante riesgoso para el personal. Los recubrimientos electrolíticos de Latón son los que serán analizados en esta Tesis de Grado, éstos son muy utilizados en nuestro medio por sus diversas tonalidades muy usadas en el área decorativa, su bajo costo con respecto a los recubrimientos de oro obteniendo los mismos resultados, las propiedades antifricción que se usan en el área de materiales de Ingeniería, etc.

# **CAPITULO 1**

## **RECUBRIMIENTOS METÁLICOS OBTENIDOS POR VÍA ELECTROLÍTICA**

### **1.1 Técnica Electrolítica para prevención anticorrosiva.**

Desde hace algunos años en nuestro país se recubre electrolíticamente los metales con un sin número de fines, como; Protección contra la corrosión, disminuir los coeficientes de fricción entre dos partes mecánicas, mejorar la adherencia de los cauchos al metal, mejorar el sellado en los elementos que manejan fluido hidráulico, mejorar la reflectividad de lámparas, etc.

La técnica que se utiliza para recubrir superficies metálicas o metalizadas se denomina Galvanotecnia, la cual se divide en dos partes:

## 1. - Galvanostegia

## 2. - Galvanoplastia

La Galvanostegia estudia los recubrimientos metálicos obtenidos por vía electrolítica sobre objetos metálicos; la capa metálica que se obtiene es muy delgada, pero de gran adherencia, capaz de prestar eficaz protección al metal base.

La Galvanoplastia se encarga de la fabricación o reproducción de objetos plásticos por medio de la precipitación metálica electrolítica sobre una superficie previamente metalizada, obteniéndose un revestimiento de mayor espesor que en el caso anterior.

Al principio la Galvanostegia tenía como fin modificar la superficie de los objetos, dándoles un mejor aspecto, pero hoy su objetivo es aumentar mediante el revestimiento metálico la solidez del metal más endeble que sirve de base, dándole mayor resistencia frente a agentes mecánicos y climáticos.

La práctica de los procesos de Electrodeposición requieren del conocimiento y estudio de los diferentes parámetros que gobiernan a los mismos, como son: composición del baño, densidad de corriente aplicada, agitación, temperatura del baño y la preparación de las superficies a recubrir.

### **1.1.1 Reseña Histórica**

La técnica de recubrir superficies metálicas es una actividad que se viene desarrollando desde muchos años atrás. En la antigüedad se plaqueaban metales con oro, plata o con una mezcla de estos dos. Estas aleaciones de metales nobles se adherían a las superficies de cobre, bronce o hierro previamente calentados, martillando sobre éstos.

El recubrimiento de hierro con estaño es más reciente, aunque ya era un método muy generalizado, 100 años antes de que en 1740, se obtuvieran los primeros recubrimientos por inmersión en zinc fundido.

El alquimista Paracelso, plateaba el cobre sumergiéndolo en una solución de plata, luego de lo cual, valiéndose del mismo método

de inmersión se realizaban distintos revestimientos metálicos. En 1789 Galvani descubrió las leyes de la corriente eléctrica y fueron aplicadas a la electroquímica.

Los recubrimientos "Galvánicos" obtenidos por vía electroquímica nacieron en el año de 1800, cuando Nicholson y Carlisle, consiguieron descomponer el agua en sus elementos por medio de corriente eléctrica. Paso seguido, Cruikshanks descompuso por vía electrolítica varias soluciones de sales metálicas, separando el metal de las mismas. Poco tiempo después ya no solo se descomponían las sales metálicas, sino que se llevaban a cabo las primeras electrodeposiciones, sobre superficies metálicas, efectuadas por L. Brugnatelli, colaborador de Volta, aprovechando los conocimientos adquiridos de la invención de los elementos galvánicos y los dinamos poco antes.

Brugnatelli desarrolló estudios profundos acerca de los recubrimientos electrolíticos, constituyéndose en el principal impulsor de esta actividad. Nobili, Marianini, Selini, entre otros siguieron con el estudio y desarrollo de esta técnica.

En el Ecuador, esta actividad se desarrolla con tecnología un poco rústica, en talleres faltos de higiene y seguridad para los operarios, quienes trabajan empíricamente sin los más elementales criterios técnicos en un ambiente de total desorganización. En grandes empresas que se dedican a producir electrodomésticos se puede ver un desarrollo más tecnificado en esta área.

### 1.1.2 Disociación Electrolítica

La separación de los átomos de una solución, por medio de la electricidad, se llama disociación. *Electrolito*, es la solución que se va a someter a la disociación electrolítica.

Una gran cantidad de sustancias son solubles en  $H_2O$ , sin embargo, se sabe que sólo aquellas soluciones que contienen disueltas en ellas, ácidos, bases, o sales, conducen la corriente eléctrica, estas se denominan electrolitos, los cuales se descomponen al paso de la corriente eléctrica, este fenómeno se denomina *ELECTRÓLISIS*.

Las sustancias disueltas, que se disocian en mayor o menor amplitud como partículas cargadas eléctricamente se llaman iones.

Los iones son átomos con una carga eléctrica positiva o negativa, equivalente a su valencia.

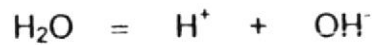
Estos átomos o grupo de átomos, pasan al estado de iones cargados negativamente (aniones), si ganan uno o más electrones, pero se considera que un átomo pasa al estado de ion cargado positivamente (cationes), si este pierde uno o más electrones.

El equilibrio del electrolito viene dado por el grado de disociación, es decir por el número de moléculas disociadas en iones y el número de moléculas que existiría en la solución si no hubiese disociación. El grado de disociación varía desde 0 para las soluciones no electrolíticas y 1 para las soluciones electrolíticas fuertes.

Una ley fundamental de la electrólisis, dice que los metales y el hidrógeno se desplazan en sentido de la corriente, es decir, se desprenden del ánodo, que es el elemento que lleva carga positiva.

Al estudiar la electrólisis podemos observar que existen tres géneros de sustancias; ácidos, bases, y sales. Los ácidos y las bases producen sales. Acido y básico son dos extremos, la

posición media es neutra. El agua es neutra también y esto se debe a que la misma se compone de una parte de hidrógeno ácido y una parte de hidróxido básico.



El  $\text{H}^+$  y el  $\text{OH}^-$ , anulan recíprocamente sus propiedades. Por razones electrostáticas ambos se adhieren fuertemente y experimentan atracción mutua.

Se puede medir la acidez o alcalinidad de una solución por medio de su pH el cual es la medida de iones  $\text{H}^+$  u oxidrilos  $\text{OH}^-$ . Si el pH de una solución es 7 quiere decir que la solución es Neutra, si el pH es 0 la solución es 100% ácida y si el PH es 14 la solución es 100% alcalina o básica.

### **Leyes de Faraday**

Para realizar los procesos de recubrimientos metálicos por vía electroquímica es necesario conocer los conceptos Básicos de Electricidad que nos dan las leyes de Faraday. Las Leyes de Faraday se expresan mediante los siguientes enunciados:

La cantidad de cualquier elemento metálico liberado, ya sea en el cátodo o en el ánodo, durante la electrólisis, es proporcional a la intensidad y a la duración de la corriente eléctrica. Los elementos liberados por la misma cantidad de electricidad son proporcionales a sus equivalentes químicos.

*Equivalente químico* es la relación entre el peso atómico de un elemento y su valencia, (En la tabla I podemos ver los equivalentes químicos y otra información de los metales).

La intensidad de corriente se medirá en amperios / hora, ya que es más práctica para nuestros fines.

TABLA I

## CONSTANTES QUÍMICAS Y ELECTROQUÍMICAS DE LOS METALES (8)

Nombre	Símbolo	Peso Atómico	Densidad	Valencia	Equivalente Químico
Cobre (Cianuro)	Cu	63.6	8.93	1	63.6
Oro (Cianuro)	Au	197.2	19.3	1	197.2
Plata	Ag	107.9	10.5	1	107.9
Cadmio	Cd	112.4	8.65	2	56.2
Cobalto	Co	58.9	8.9	2	29.5
Cobre Sulfato	Cu	63.6	8.93	2	31.8
Hierro Sulfato	Fe	55.8	7.9	2	27.9
Plomo	Pb	207.2	11.35	2	103.6
Níquel	Ni	58.7	8.9	2	29.3
Estaño Cloruro	Sn	118.7	7.3	2	59.4
Estaño Sulfato	Sn	118.7	7.3	2	59.4
Zinc Cloruro	Zn	65.4	7.14	2	32.7
Zinc Sulfato	Zn	65.4	7.14	2	32.7
Oro Cloruro	Au	197.2	19.3	3	65.7
Hierro Cloruro	Fe	55.8	7.9	3	18.6
Rodio	Rh	102.9	12.4	3	34.3
Estaño Estannato	Sn	118.7	7.3	4	29.7
Cromo	Cr	52.0	7.1	6	8.7

La ley de Faraday se expresa matemáticamente con la siguiente relación:

$$\bar{q} = i * t \quad \text{ec.1.1}$$

Como la corriente eléctrica es de densidad constante entonces tenemos que:

$$W = E_q * i * t \quad \text{ec.1.2}$$

Donde:

$W$ : es la masa o peso de metal depositado.

$E_q$ : es el equivalente electroquímico y representa la cantidad determinada que se deposita al paso de un coulombio.

*Los equivalentes electroquímicos son directamente proporcionales a los pesos atómicos, e inversamente proporcionales a la valencia de los átomos*

De esta manera se puede interpretar la ec. 1.1, como: *el peso de metal depositado, es igual al producto de la cantidad de metal que deposita un coulombio, multiplicado por el número de coulombios utilizados en el proceso.*

Con esta primera definición, la relación 1.2 se la podría definir de la siguiente manera: El peso de metal depositado es igual a la cantidad de metal que deposita un coulombio, por los amperios consumidos y por el tiempo empleado expresado en segundos.

Para nuestro trabajo otro parámetro que debemos tener en cuenta es la *diferencia de Potencial*, porque debe ser lo suficientemente grande para vencer la resistencia del baño y la fuerza contra-electromotriz de polarización.

Vale la pena mencionar que, cuando se sumerge un metal en una solución que contiene sales de este mismo metal, se establece una diferencia de potencial conocida como "Potencial Sencillo", o "Potencial de Solución" de ese metal, el mismo que al ser medido con respecto al Potencial de Hidrógeno (Potencial de Referencia), nos da un valor de 0. Los diferentes potenciales de los metales utilizados en los recubrimientos fueron tomados de la tabla II de potenciales normales o estándar, comúnmente denominada Serie Electroquímica o Electromotriz.

**TABLA II**  
**ESTÁNDAR DE POTENCIAL FUERZA-ELECTROMOTRIZ**  
**(POTENCIALES DE REDUCCIÓN) (2)**

Reacción	Potencial E <sub>o</sub> (Voltios vs SHE)
Au <sup>+3</sup> + 3e <sup>-</sup> = Au	+ 1.498
Cl <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = 2Cl <sup>-</sup>	+ 1.358
O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> = 2H <sub>2</sub> O (pH 0)	+ 1.229
Pt <sup>+3</sup> + 3e <sup>-</sup> = Pt	+ 1.200
O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup> = 4 OH <sup>-</sup> (pH 7)	+ .8200
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> = Ag	+ 0.799
Hg <sub>2</sub> <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = 2Hg	+ 0.788
Fe <sup>+3</sup> + e <sup>-</sup> = Fe <sup>+2</sup>	+ 0.771
O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup> = 4 OH <sup>-</sup> (pH 14)	+ 0.401
Cu <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Cu	+ 0.337
Sn <sup>+4</sup> + 2e <sup>-</sup> = Sn <sup>+2</sup>	+ 0.150
2H <sup>+</sup> + 2 e <sup>-</sup> = H <sub>2</sub>	0.000 referencia
Pb <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Pb	- 0.126
Sn <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Sn	- 0.136
Ni <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Ni	- 0.250
Co <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Co	- 0.277
Cd <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Cd	- 0.403
Fe <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Fe	- 0.440
Cr <sup>+3</sup> + 3e <sup>-</sup> = Cr	- 0.744
Zn <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Zn	- 0.763
2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> = H <sub>2</sub> + 2 OH <sup>-</sup>	- 0.828
Al <sup>+3</sup> + 3e <sup>-</sup> = Al	- 1.662
Mg <sup>+2</sup> + 2e <sup>-</sup> = Mg	- 2.363
Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> = Na	- 2.714
K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> = K	- 2.925

Se ha podido comprobar que, el potencial de los electrodos varían a medida que avanza la electrólisis, ya que el potencial del ánodo se vuelve más positivo, y el del cátodo se vuelve más negativo. Estos cambios se deben a la Polarización de los electrodos, es decir, en el ánodo se disuelven iones metálicos, haciendo a la solución más concentrada en sus proximidades. Por el contrario, en el cátodo los iones se depositan en éste, provocando que la solución pierda concentración.

Este fenómeno produce un aumento en la diferencia de potencial aplicada a los electrodos con el generador de corriente. Dicho aumento en la diferencia de potencial se denomina Fuerza Electromotriz de Polarización.

La corriente que circula en el baño electrolítico, la expresaremos con la siguiente relación:

$$i = \frac{V - V^{\prime}}{R} \quad \text{ec. 1.3}$$

Donde:

$i$ : Es la corriente

$V$ : Es la diferencia de potencial aplicada a los electrodos.

$V^1$ : Es la fuerza contra electromotriz de polarización.

$R$ : Es la resistencia que presenta el baño.

Para realizar los cálculos es de gran importancia la densidad ampérica, la cual podemos obtener con la fórmula:

$$D = i / A \quad \text{ec. 1.4}$$

Donde:

$A$ : Es el área de la superficie total de la pieza

$D$ : Es la densidad amperimétrica dada en  $\text{Amp}/\text{dm}^2$ .

### **Cálculo del peso del metal Depositado**

Como las soluciones que se usan para los baños son de composición variada, porque contienen sales conductoras y ácidos libres, éstas son de gran ayuda para conducir la corriente eléctrica, pero no producen fijación de metal, por el contrario, fijan hidrógeno en forma de burbujas.

Podemos darnos cuenta que los baños no son 100% eficientes, entregan una cantidad de metal menor de la que teóricamente deberían. El rendimiento del baño es la relación entre la cantidad real depositada y la teórica (se expresa en porcentaje).

$$\eta = \frac{W}{E_q * i * t} \quad \text{ec. 1.5}$$

Donde:

W: Es la cantidad del metal depositado en gramos

Eq: Es el equivalente electroquímico.

i: Es la intensidad de corriente aplicada en amperios.

t: Es el tiempo requerido de la operación en horas.

n: Es el rendimiento de corriente.

Para la Superficie Catódica (A), se determinará la cantidad de metal depositada por  $\text{dm}^2$  mediante la expresión:

$$W = \frac{E_q * i * t * \eta}{A} \quad \text{ec. 1.6}$$

### Cálculo del Tiempo de Electrólisis.-

Para calcular el tiempo de electrólisis podemos proceder de dos maneras:

La primera, basándonos en la variable espesor ( $\epsilon$ ), respetando los valores dados por las normas, para esto tenemos:

$$t = \frac{\epsilon * d * 10}{E_q * D * \eta} \quad \text{ec. 1.7}$$

Donde:

d: Es el peso específico del depósito

D: Es la densidad de corriente en Amp/dm<sup>2</sup>.

Otra manera de conocer el tiempo de la electrólisis en horas, es sabiendo cuántos gramos de metal queremos depositar por dm<sup>2</sup>.

$$t = \frac{W}{E_q * D * \eta} \quad \text{ec. 1.8}$$

El cálculo del tiempo en horas, para depositar una cantidad W en gramos, se obtiene:

$$t = \frac{W}{E_q * i * \eta} \quad \text{ec. 1.9}$$

### Cálculo de Espesores.-

El espesor del recubrimiento sobre una superficie catódica ( $\varepsilon$ ) es un parámetro que está dado en milímetros, para calcularlo partiremos de la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{E_q * t * i * \eta}{d * A * 10} \quad \text{ec. 1.10}$$

De esta manera, para 1 dm<sup>2</sup> de superficie tenemos:

$$\varepsilon = \frac{E_q * t * D * \eta}{d * 10} \quad \text{ec. 1.11}$$

En caso de que el peso del depósito sea nuestra variable:

$$\varepsilon = \frac{G}{d * A * 10} \quad \text{ec. 1.12}$$

### Cálculo de la Intensidad de Corriente.-

La intensidad de corriente ( $i$ ) está dada en amperios y es un factor importante para poder obtener los espesores deseados, para lograr los valores de corriente óptimos, en el proceso utilizamos:

$$i = \frac{\varepsilon * d * A * 10}{E_q * t * \eta} \quad \text{ec. 1.13}$$

La densidad de corriente viene dada como:

$$i = \frac{\varepsilon * d * 10}{E_q * t * \eta} \quad \text{ec. 1.14}$$

#### 1.1.3 Tipos de Recubrimientos

Para dar una mejor explicación de los tipos de recubrimientos tenemos que estar conscientes de la manera en que estos pueden afectar al metal que va a ser recubierto. Al recubrir un Sustrato metálico con una capa de otro metal podemos obtener dos tipos de recubrimientos, los que pueden ser **Anódicos** o **Catódicos**.

Los metales están clasificados según sus potenciales en la Serie Fuerza Electromotriz, (Tabla II) que mide el potencial de cada metal con respecto al electrodo de hidrógeno que se usa como referencia.

A medida que el potencial aumenta los metales son cada vez más nobles.

También se puede clasificar a los metales y sus aleaciones, según su resistencia a la corrosión, la cual la podemos observar en las Series Galvánicas, (Figura 1.1) la cual se obtiene exponiendo las probetas de los diferentes materiales a un medio tan corrosivo como el agua de Mar y luego tomar las mediciones de potencial.

Los recubrimientos **Anódicos** son aquellos en que el elemento que está recubriendo tiene un Potencial menor al del metal base, por esta razón entre estos existe una diferencia de Potencial lo que ocasiona una migración de electrones del material con potencial más negativo al metal con potencial menos negativo.

El flujo de electrones entre estos dos metales se debe a que el metal menos noble libera electrones que se dirigen al sustrato, por esta razón también libera iones metálicos, los cuales interactuarán con el medio ambiente. De esta manera, el material que se deteriora es el recubrimiento y no el Sustrato. Se denominan Anódicos porque estos protegen al metal de la misma manera que lo hacen los Anodos de sacrificio.

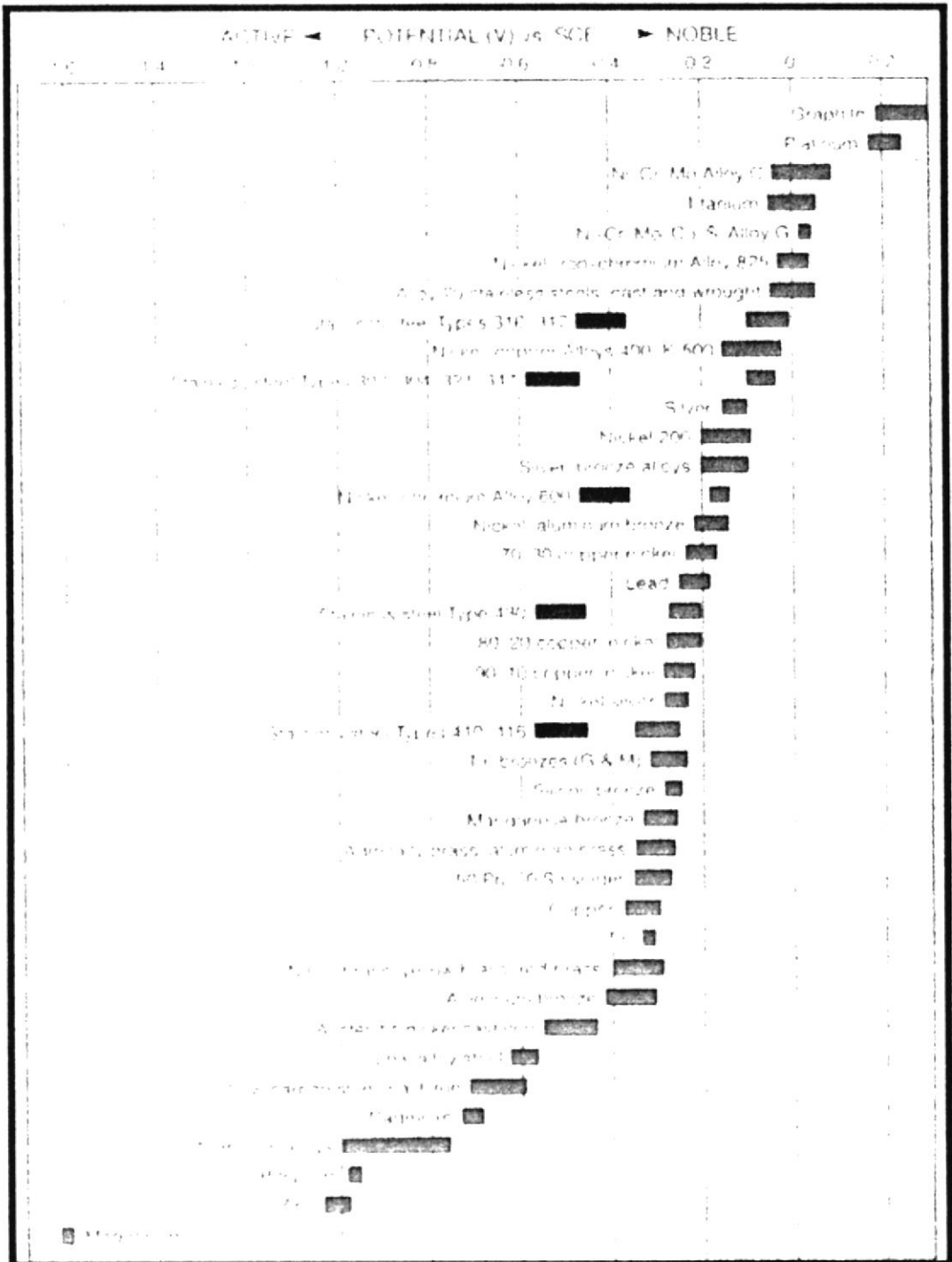


Figura 1.1. Series Galvánicas para Agua de Mar (2)

Los Recubrimientos **Catódicos** son todo lo contrario a los primeros, ya que el material que recubre al Sustrato es mucho más noble y en este caso el segundo es el que cede electrones. Para evitar la corrosión del Sustrato en este tipo de recubrimientos debemos asegurarnos que la capa de metal noble sea lo suficientemente gruesa y esté libre de poros. De esta manera, nos aseguraremos que el medio ambiente no esté en contacto con el sustrato eliminando uno de los elementos fundamentales para la corrosión (Electrolito). Un ejemplo de estos recubrimientos son los aros cromados para vehículos. Si el cromado llega a fallar, por ese preciso lugar, comenzará el ataque corrosivo; y como se puede ver, el cromado no es afectado hasta que la corrosión está muy avanzada, entonces se comienzan a formar costras, las cuales se revientan y caen adheridas al óxido del metal base.

## **1.2 Aspectos Cognoscitivos del Latonado**

### **1.2.1 Tipos de Materiales que se pueden recubrir con Latón**

Es importante saber qué tipo de materiales se pueden recubrir con Latón y así de esta manera poder planificar la limpieza que se va a realizar, si llevará o no capas intermedias, etc. Conociendo esta información se puede diseñar un proceso completo y óptimo, el

cual nos dará como resultado un material con un recubrimiento perfecto.

Normalmente se recubren con Latón piezas de metales como cobre, zinc, plomo o de aleaciones como acero, hojalata, etc. Los metales como el Zinc o materiales como la hojalata, se recubren con Latón para darle un mejor acabado y poder darle valor agregado al producto final.

### **1.2.2 Ventajas y desventajas respecto a otros Electrodepósitos**

El latonado es uno de los recubrimientos más difíciles de conseguir, por ser una aleación, por esa razón tiene ciertas ventajas y ciertas desventajas con respecto a otros recubrimientos. En la tabla III se presentan ventajas y desventajas del Latonado y de otros metales como oro, plata, zinc, cobre, níquel, cadmio y estaño.

**TABLA III**  
**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN RESPECTO A OTROS METALES**

<b>Metales</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Oro	Los recubrimientos de oro pueden llegar a espesores considerables, y de esta manera poseer un alto grado de dureza.	Los recubrimientos de Oro deben realizarse sobre una capa de Latón o Níquel para que este no pierda su brillo característico. Los costos de estos recubrimientos son demasiado elevados.
Plata	Excelente conducción de la electricidad. Posee una reflectividad casi del 100% en luz visible e infrarroja	El costo también es bastante elevado. Para que se adhieran al metal base es necesario que sean tratados con soluciones de plata y cianuro
Cobre	Excelente como depósito intermedio. Es excelente conductor de electricidad.	No es muy brillante. Necesita densidades de corriente bastante grandes. Se mancha con mucha facilidad.
Níquel	No necesita un acabado superficial de la pieza muy fino. Es excelente como recubrimiento protector contra la corrosión. Es usado como capa intermedia para casi todos los procesos de electrodeposición.	La agitación debe ser mínima ya que el recubrimiento se vuelve poroso. A grandes espesores el recubrimiento se vuelve frágil.
Zinc	Es el mejor recubrimiento en el área de la protección contra la corrosión, es muy efectivo en medios ácidos	No posee un brillo uniforme. No se lo utiliza para fines decorativos. La capa de recubrimiento es poco dura.
Estaño	Resistente a los agentes atmosféricos. Resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos, en ausencia de oxígeno. Se lo utiliza en la industria de la conservación de alimentos.	Los espesores que se obtienen son muy delgados. Necesitan un calentamiento posterior al recubrimiento para eliminar los poros del mismo.
Cadmio	Resistente a la corrosión, y como no produce fatiga en los muelles utilizados en elementos electrónicos, se los usa para la protección de los mismos, en medios alcalinos. Posee un excelente brillo muy parecido al de la plata	Necesita densidades de corriente bastante elevadas. No es muy eficiente en medios ácidos.
Latón	Excelente como capa intermedia para otros recubrimientos. Favorece a la adherencia de los cauchos al acero. Posee un brillo muy parecido al oro, con costos muy inferiores.	No alcanza espesores muy grandes, reacciona con el medio, por lo que se los debe recubrir con Barniz o resinas.

### 1.3 Aplicaciones del Proceso de Latonado

Este es un proceso que se realiza comúnmente en la industria y tiene algunos usos entre los cuales tenemos:

- Protección del hierro y el acero contra la corrosión
- Evitar la fricción entre dos superficies
- Como capa intermedia para realizar otro recubrimiento galvánico
- Para favorecer la adherencia del caucho con el acero
- Para decorar objetos metálicos

En el área decorativa es muy utilizada por sus diversas tonalidades, y sus propiedades para proteger al acero. En el medio podemos encontrar un sin número de artículos recubiertos con Latón, entre los cuales tenemos: acabados finales de mesas metálicas, lámparas, porta retratos, grifería, artículos para baños y cocinas, bisagras, interruptores eléctricos, accesorios para vehículos etc. En la figura 1. 2 podemos ver alguna de las aplicaciones de este tipo de recubrimiento.

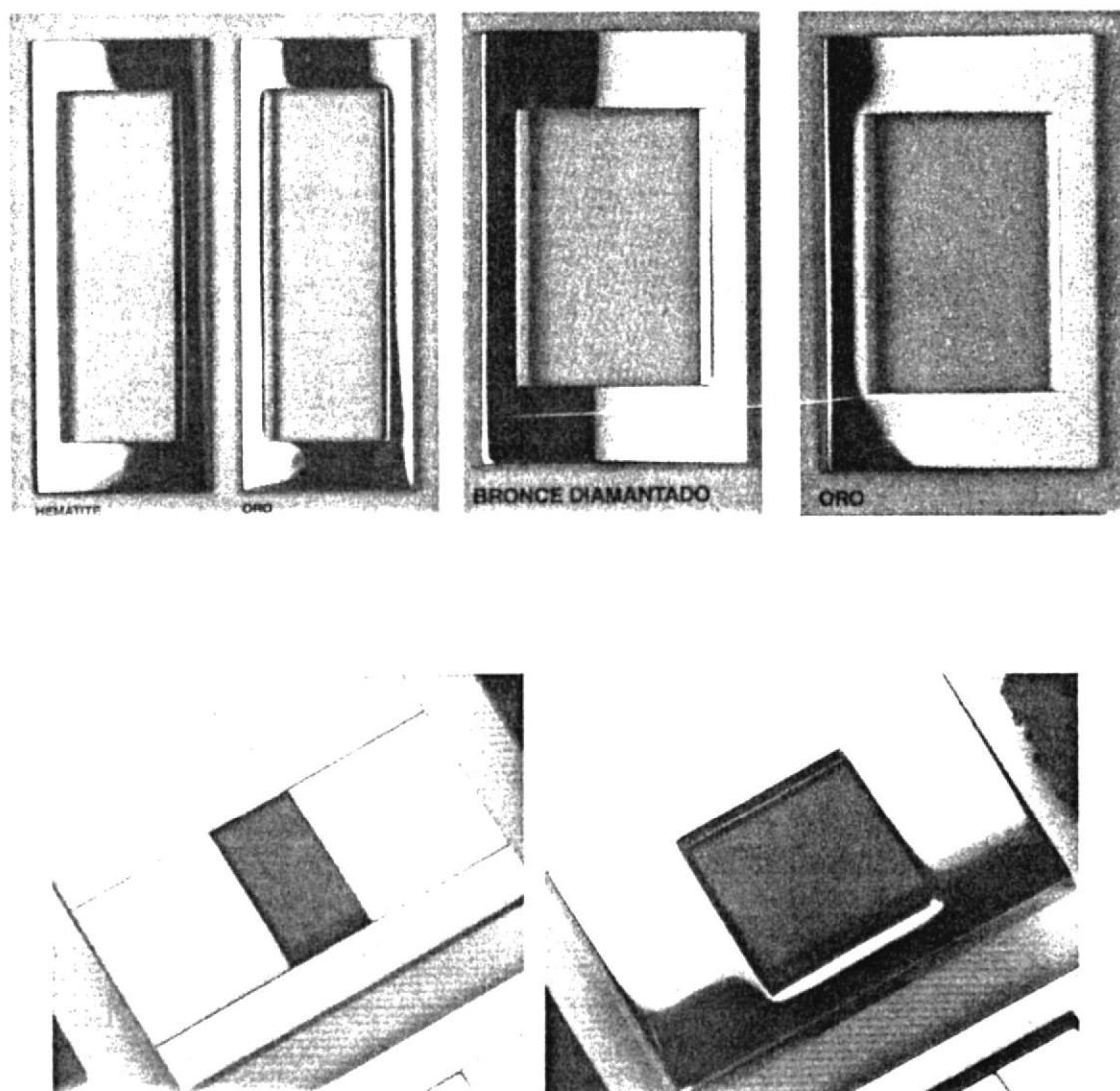


FIGURA 1.2. Aplicaciones del Latonado para la decoración de las tapas para interruptores

En la industria automotriz se utiliza este recubrimiento electrolítico, para aumentar la resistencia al desgaste de ciertos elementos mecánicos.

La dificultad más grande que se encuentra al realizar estos recubrimientos es poder obtener un color parejo en toda la superficie, puesto que las proporciones relativas de Cu y Zn depositadas varían con la densidad de Corriente.

#### **1.4 Morfología del Proceso**

El proceso para obtener un recubrimiento de latón de buena calidad se lo ha dividido en tres partes que son:

- Pre-Procesos
- Proceso principal
- Post-Procesos

Los tres pasos básicos a seguir son: preparación de las piezas, el recubrimiento en sí y el acabado.

### **1.4.1 Pre Proceso.- Preparación de la Probeta**

Los pasos que se deben seguir en la primera parte del proceso son los siguientes:

- Ajuste del Equipo y Control del Baño
- Preparación de Probetas.

#### **Ajuste del Equipo y Control del Baño**

Para tener un control exacto de Voltaje y Corriente en el proceso, se conectarán al Transformador-Rectificador un Voltímetro, un Amperímetro, por seguridad, luces de encendido / apagado. Los agitadores deben tener velocidad constante y adecuada, para el tipo de baño que se está utilizando.

La temperatura juega un papel muy importante en los baños electrolíticos, por lo que tiene que ser controlada periódicamente. Los calefactores deben estar en perfectas condiciones de funcionamiento.

Para que el equipo trabaje de la manera más eficiente, tenemos que mantener los conductores y contactos limpios, libres de óxidos,

facilitando la circulación de la corriente eléctrica. De esta manera reducimos las pérdidas de energía al máximo y entregamos a los ánodos y cátodos la mayor cantidad de energía posible que proviene de la fuente de poder.

El control del baño se refiere a la cantidad exacta de los elementos que se le adhieren a la solución desde la primera mezcla. Para poder controlar la solución se deben realizar mediciones periódicas de densidad, nivel y concentración de la solución en las cubas. Por último, se deben controlar los iones hidrógeno disueltos (pH). Es importante controlar el rendimiento del baño con la relación: peso real depositado sobre peso teórico.

### **Preparación de las Probetas**

La preparación de las probetas consiste en todo el proceso que se debe realizar para que esta pueda ser recubierta.

Esta preparación consta de algunos pasos que son:

- ❖ Construcción de la Probeta
- ❖ Desbastado, Esmerilado o Decapado
- ❖ Pulido
- ❖ Desengrase químico

- ❖ Limpieza electrolítica
- ❖ Neutralización

Las operaciones citadas revisten una importancia capital en las características ulteriores que presentará el depósito, ya que, de la preparación de la superficie del metal base, dependerá en gran manera el tipo de estructura cristalina del recubrimiento obtenido. Puede predecirse que un recubrimiento con cualidades de alto brillo solo podrá ser obtenido si las operaciones de preparación del metal base han sido realizadas con el cuidado y atención debidas. Entre los factores a los que favorece una excelente preparación superficial del material base son: la adherencia, la densidad, la uniformidad; y por último, una superficie libre de manchas.

Para limpiar la superficie que va a ser recubierta se combinarán los tres tipos de limpieza que se conocen que son: la Mecánica, la Química y la Electrolítica.

Las soluciones y los accesorios que se utilizarán, se seleccionarán en función al tipo de metal a ser recubierto y la composición del mismo, estos pueden ser:

- Metal Base: Aleaciones de cobre, ferrosas, de zinc etc.
- Suciedades que lo recubren: grasas, óxidos, escorias, etc.
- Grado de limpieza buscado en función del tratamiento posterior

Debemos tomar en cuenta el estado de la pieza y el tipo de impurezas que tengan en la superficie como: óxidos, costras, grasas, aceites, residuos de otros materiales como virutas, sales metálicas, polvos abrasivos, fundentes etc.

Es importante mencionar que el acabado no debe presentar aspereza alguna, debe ser completamente liso.

### **Construcción de la Probeta**

Para construir la probeta debemos seleccionar las medidas y forma de la misma. Por facilidad, se pueden elegir formas geométricas como cuadrados, rectángulos, círculos, de esta manera es mucho más fácil calcular el área de la misma. Para que los cálculos de densidad de corriente sean mucho más fáciles es común utilizar probetas de  $1 \text{ dm}^2$ .

### **Limpieza Mecánica o Limpieza Química**

Este tipo de limpieza se la realiza para eliminar la capa de calamina, asperezas u óxidos, si los tuviere. Si la probeta ya fue preparada pero ha estado expuesta al medio ambiente por periodos relativamente largos de tiempo y la corrosión está presente en la superficie, se puede realizar un decapado para eliminar el óxido, de esa manera continuar con el siguiente paso.

Cuando la pieza presenta formas irregulares en su superficie causada por el ataque corrosivo concentrado en lugares específicos de su superficie, es necesario utilizar la limpieza mecánica, la cual se realiza por medio de gratas, piedras de esmeril de distintas composiciones y distinto grano, o por medio del bruñido.

El tamaño de grano que se utiliza en los materiales abrasivos puede variar según la normas A.S.T.M. entre #10 y #30, pudiendo ser en algunos casos superior o inferior a dichos limites (desde #8 a #10 y desde #30 a #100). Las muelas o discos de desbastado son sometidos a un movimiento giratorio (que oscila entre 400 y 4500 revoluciones/minuto), en un eje, accionado directamente por un motor, o por una correa de transmisión conectada a un árbol motriz.

## **Pulido**

La operación que le sigue al desbastado es el pulido que se lo puede obtener ya sea mecánicamente o electrolíticamente. Hay tres tipos de pulido, el *pulido esmerilado* que precede a la operación de desbastado, *pulido suave* que es un repulido y el *pulido abrillantado* que en la mayoría de los casos antecede, al tratamiento de las piezas en el baño galvánico, y que muchas veces se aplica a las mismas una vez tratadas, como acabado brillante final. La diferencia entre los tres es la finura del grano abrasivo que se está utilizando.

Los tipos de grano que usa cada uno de los pulidos son:

- ❖ Pulido esmerilado grano #80 →#120 discos de flexolan, fieltro, lana
- ❖ Pulido suave grano #120 →#200
- ❖ Pulido abrillantado grano #200 →#220 discos de tela blanda no cosida, banada o piel

Entre las sustancias esmerilantes para el pulido abrillantado tenemos: grasas o aceites, pueden ser esmeriles de grano fino, harina de cuarzo u óxido de hierro, muy pulverizado. Este último es aconsejable para trabajar con acero.

Para darle un acabado final, se pueden utilizar pulimentos que vienen preparados que se pueden encontrar en el mercado en forma de barras; hay uno para cada tipo de metal. Para realizar este pulido mecánico utilizamos máquinas pulidoras como las descritas anteriormente en el desbaste.

También hay otros tipos de equipos con los que se puede realizar el proceso mencionado, uno de estos es el **tambor rotatorio** el cual se usa para pulir piezas pequeñas, pero debe haber grandes cantidades de estas. Estos equipos pueden ser verticales u horizontales, siendo el segundo el mas empleado. Están contruidos normalmente de hierro fundido, forrados de caucho o madera, y girarán a una velocidad de 30 a 60 RPM.

Los agentes abrasivos que se le añaden al tambor pueden ser: arena, aserrín, virutas de acero o fundición, esmeril e incluso óxido de hierro y cal de Viena. Esta última técnica se denomina pulido en seco.

El pulido en tambor húmedo se lo realiza al introducir en éste compuestos químicos además de sílice en suspensión, los cuales facilitan el contacto y al mismo tiempo la limpieza del elemento. Entre

los compuestos químicos tenemos: hidróxido de sodio, cianuro sódico, carbonato de sodio, silicato sódico, fosfato trisódico, e incluso jabón y detergentes alcalinos.

### **Desengrase**

Este método de limpieza química, se lo realiza en segunda instancia, nos ayuda a eliminar residuos de grasa y elementos extraños que se han adherido después del pulido previo. En este proceso debemos distinguir entre grasas vegetales, animales o minerales como: sebo, estearina, aceites de plantas, vaselina, parafina, etc.

Existen tres métodos conocidos para eliminar grasas de los materiales metálicos:

- Limpieza por solventes y vapores orgánicos
- Limpieza por emulsificación
- Limpieza con soluciones alcalinas

Los solventes orgánicos eliminan las grasas minerales, pero éstos no deben ser inflamables, corrosivos, volátiles, ni tóxicos. Los solventes orgánicos más utilizados son: la nafta, el benceno, el

tricloruro de etilo, el tetracloroetileno, el percloroetileno (perclor), la pasta de cal, etc. El desengrase con solventes puede efectuarse en equipos que utilizan el ultrasonido como ayuda para desprender las partículas de grasa del elemento que se está tratando (figura 1.3).

La limpieza por emulsificación consiste en aplicar en la superficie un aceite que contiene agentes humectantes, que al tener contacto con la grasa, forma una emulsión, y se elimina con el enjuague. Es efectivo porque retira partículas sólidas que están adheridas a la pieza. La limpieza con soluciones alcalinas, normalmente se prepara con:

- Hidróxido de sodio
- Carbonato de sodio
- Fosfato de sodio en cualquiera de sus formas
- Silicato de sodio generalmente Metasilicato

Las soluciones, más utilizadas son:

- Sosa o Potasa Cáustica
- Bórax
- Carbonato Sódico
- Fosfato Trisódico
- Silicato Sódico

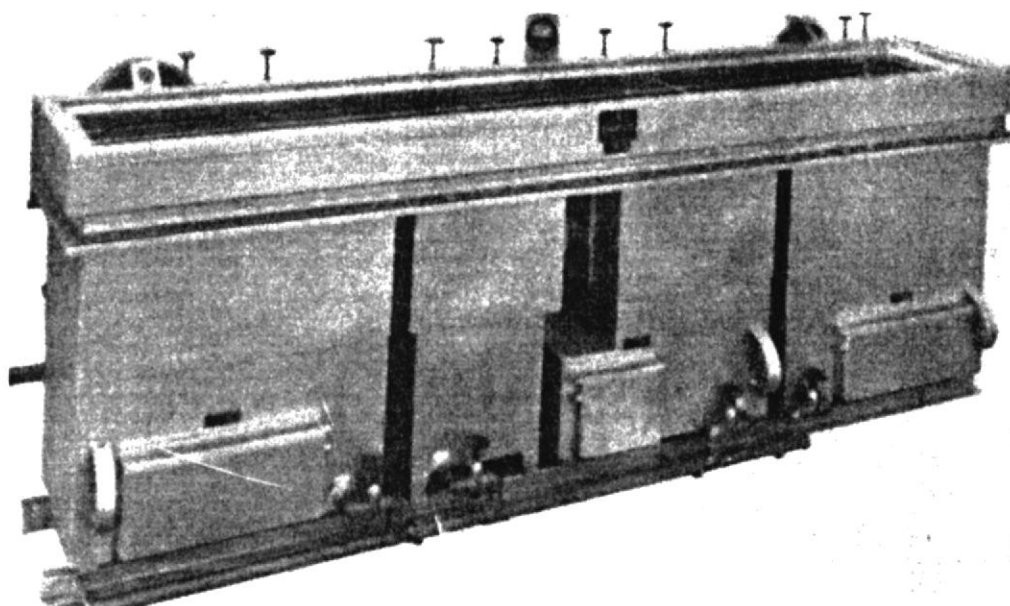


Figura 1.3. Equipo de Ultrasonido utilizado para Desengrase con Solventes

La lejía de sosa cáustica hirviendo elimina las grasas vegetales o animales. La sosa cáustica es el producto más utilizado en la limpieza del material base por su acción rápida y costos convenientes. La composición de esta solución es aproximadamente de 1 Kg de Sosa por cada 10 litros de H<sub>2</sub>O, y funcionan de manera más activa cuando la lejía está caliente. La solución actúa como agente emulsificante y como agente de saponificación de las grasas.

En otros países se acostumbra mezclar cal viva o *cal de Viena* con una cantidad igual de sosa y luego se apaga con la misma cantidad de agua, esta mezcla forma una pasta con mayor duración en la acción desengrasante sin embargo hay que evitar que la pasta esté mucho tiempo expuesta al aire, porque absorbe ácido carbónico y se transforma en carbonato de calcio. Para este tipo de limpieza se necesitan recipientes especiales. En el desengrasado se recomienda sujetar las piezas con alambres de Cu, así se podrá dar paso al siguiente proceso.

### **Limpieza electrolítica**

Mediante este proceso de limpieza, los objetos a tratar suspendidos en barras catódicas, son tratados en una solución-electrólito, a través de la cual se produce el paso de la corriente eléctrica. La función del ánodo la ejerce el propio recipiente de hierro que contiene la solución o bien placas de hierro o cobre sumergidas en la misma. Para los metales férricos y el cobre se utiliza el tratamiento anódico, el cual es más eficaz que el catódico, ya que evita la picadura por el desprendimiento de hidrógeno, así como la deposición de impurezas sobre la pieza.

La acción de desengrase en el tratamiento catódico se debe al arrastre mecánico por parte del hidrógeno desprendido en el cátodo y la acción química de la solución-electrólito utilizada. Esta operación se realiza a temperaturas que oscilan entre los 70 y 90 °C; y se utilizan densidades de corriente que van de 6 a 20 Amp/dm<sup>2</sup>.

Para la limpieza electrolítica se utilizan soluciones con base de hidróxido de sodio y otros elementos que le dan características parecidas a las del jabón. Con este proceso se eliminan impurezas como grasas orgánicas o inorgánicas, ciertos residuos de óxido que pudieran haber quedado después de haber preparado la pieza en

alguno de los pasos anteriores, y algunos residuos de polvos de esmeril o pulimentos.

### **Neutralización**

La neutralización de las piezas depende de la composición de los baños a los que la pieza vaya a ser sometida, ya que si el siguiente baño al que tiene que ingresar la probeta es ácido, se debe neutralizar la probeta en una solución ácida. Eso se debe a que los baños de limpieza electrolítica son básicos. De esta manera lo que se logra es mantener el pH de los baños y no contaminarlos.

El decapado se usa para neutralizar los residuos de soluciones alcalinas y además para eliminar capas delgadísimas de óxido y herrumbre que se presentan en la pieza al pasar por el proceso de desengrasado o una exposición al aire atmosférico. Por lo general, para baños de decapado, se emplean ácidos muy diluidos. El decapado se realiza un paso antes del proceso principal a objetos ya pulidos que han reaccionado con oxígeno. Se debe tener mucho cuidado a fin de no deteriorar el brillo, ni la superficie obtenida.

Las piezas de hierro y acero que han sido desengrasados con sustancias alcalinas, se oxidan más rápido que las que han sido desengrasadas con bencina, por lo que el baño de decapado para los aceros se los recomienda en proporciones de 1 parte de ácido sulfúrico o clorhídrico y de 20 a 25 partes de H<sub>2</sub>O. Al estar en contacto el metal con el ácido, no solo se disuelve el óxido, también el metal es atacado por el ácido, produciendo el desprendimiento de gases, que favorecen a la limpieza.

Si el proceso galvanostégico se realiza con soluciones de cianuro de potasio es recomendable usar para el decapado soluciones de 1 parte de crémor tártaro y 100 partes de H<sub>2</sub>O, en esta se sumergirán las piezas de 30 a 60 segundos.

Cuando los recubrimientos se realizan en soluciones alcalinas otros autores recomiendan decapar con soluciones de cianuro de potasio o cianuro de sodio en proporciones de 1:15 a 1:20

Después de realizar el decapado la exposición de la pieza con el aire debe ser mínima, porque la pieza está completamente limpia y es susceptible a la oxidación.

Si la probeta ha sido decapada con ácidos y el baño para realizar el recubrimiento es alcalino, como precaución se recomienda que antes del recubrimiento metálico se sumerja la probeta en una solución de hidróxido de sodio, éste tiene como objeto eliminar la acción de los ácidos que se usaron al eliminar los óxidos. Estas soluciones alcalinas, son las apropiadas para eliminar cenizas de sosa, óxido de sodio, bórax y otros.

#### **1.4.2 Proceso Principal.- Recubrimientos Metálicos**

Cuando los procesos de latonado se realizan sobre acero negro o hierro siempre es recomendable que primero se realicen otros recubrimientos intermedios, que pueden ser primero un cobreado, y luego un niquelado, o sólo un niquelado si el metal que va a ser recubierto es bastante blanco, los cuales nos darán una mejor adherencia y tonalidad.

##### **Niquelado**

El Niquelado se emplea en la mayoría de los recubrimientos electrolíticos como un recubrimiento de protección y para mejorar el anclaje de recubrimientos finales como Latón y Cromo.

Este recubrimiento da depósitos duros y difíciles de pulir, por otra parte para obtener un depósito durable es necesario depositar una capa de metal relativamente gruesa, pero cuanto más grueso es este depósito, mayor es su tendencia al descascamiento y es más irregular su superficie. Estos baños requieren un cuidado constante, habrá que observar su pH y conocer la concentración de Níquel que contiene.

El Niquelado se puede aplicar a metales más baratos para mejorar su aspecto, pero en estos casos habrá que recubrir el metal previamente con una capa de Cu. En el caso del hierro y el acero el níquel se aplica directamente.

Normalmente se trabaja con una tensión de 2 a 3.5 voltios y densidades de corriente de  $0.5 \text{ Amp/dm}^2$ . Para aumentar la conductividad del baño se usan otras sales como Sulfato de Sodio, Cloruro de Sodio, Cloruro de Amonio, etc. Los cloruros ayudan en gran parte a la corrosión anódica.

Cuando se desea que los depósitos de Níquel sean gruesos, se debe incrementar el contenido de Níquel en el baño a unos 55

gramos por litro utilizando densidades amperimétricas inferiores a los  $0.9 \text{ Amp/dm}^2$ . Las tensiones pueden variar entre 2 y 3 voltios. En estos casos se recomienda trabajar a mayores temperaturas.

Hay varios tipos de soluciones de soluciones para Niquelar, las que podemos ver en las tablas IV y V

**TABLA IV**  
**BAÑO LIGERO PARA NIQUELADO (7)**

Cantidad	Solución	Fórmula Química
1 litro	Agua	$\text{H}_2\text{O}$
100 g	Sulfato de Níquel	$\text{Ni SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
40 g	Sulfato de Sodio	$\text{Na}_2 \text{SO}_4$
15 g	Acido Bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$
5 g	Sulfato de Magnesio	$\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
2.5 g	Sal de Cocina	$\text{Na Cl}$

Dureza del Baño 10 a  $12^\circ$  Bé

Densidad de Corriente hasta  $1 \text{ Amp./dm}^2$

Temperatura del baño mayor a  $15^\circ\text{C}$

pH aproximadamente 5.6

**TABLA V**  
**BAÑO PARA NIQUELADO RÁPIDO (7)**

Cantidad	Solución	Fórmula Química
1 litro	Agua	H <sub>2</sub> O
320 g	Sulfato de Níquel	Ni SO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O
50 g	Citrato de Sodio	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> -5H <sub>2</sub> O
15 g	Sulfato de Magnesio	Mg SO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O
17 g	Acido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
1.3 g	Acido Cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>7</sub> -H <sub>2</sub> O
10 g	Sodio Sulfo-Etílico	NaC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SO <sub>4</sub>
1.0 g	Sal de Cocina	Na Cl

Dureza del Baño 21° Bé

Densidad de Corriente hasta 1.5 a 2 Amp./dm<sup>2</sup>

Temperatura del baño mayor a 45°C

pH de 5.2 a 5.8

Normalmente los baños de Níquel pueden tener largos tiempos de recubrimiento logrando de esta manera espesores considerables, pero estos se desprenden fácilmente. Estos baños suelen trabajar en frío y sin agitación.

### **Latonado**

El Latonado es un proceso electrolítico que consiste en la deposición de los elementos de dicha aleación sobre el electrodo negativo o Cátodo, sumergido en una solución basada en sulfato o cianuro de cobre y zinc que está expuesta al paso de una corriente eléctrica continúa. Al mismo tiempo que el cátodo recibe los iones de Cu y Zn, el electrodo positivo o ánodo de latón libera estos mismos iones para así evitar el empobrecimiento de la solución.

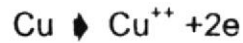
Al introducir en una solución de Cu y Zn dos electrodos, el primero de un material cualquiera (que es la probeta que va a ser recubierta) y el otro de Latón, conectados a los polos negativo y positivo de una fuente de corriente directa respectivamente, se logra obtener una diferencia de potencial, produciendo de esta manera la circulación de corriente en la solución.

El Cu y el Zn metálicos se encuentran disueltos en forma iónica en la solución, los cuales pueden ser simples, como en baño de sulfato de Cu y Zn, o pueden estar en forma compleja como en los casos de baños alcalinos.

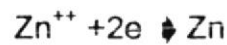
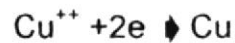
De esta manera, el momento en que se aplica el potencial a los electrodos, los iones cargados eléctricamente, se ponen en marcha hasta depositarse en uno de estos. Los iones cargados positivamente (cationes) se dirigen al cátodo y los iones cargados negativamente se mueven hacia el ánodo.

Por efectos de la corriente en el cátodo se produce una reacción de reducción, mientras que en el ánodo se produce una reacción de oxidación. Estos dos fenómenos tienen lugar por las variaciones de valencia de los dos elementos. El número de electrones que liberan el cobre y el zinc es el mismo ya que el cobre es polivalente y puede liberar uno o dos electrones y el zinc siempre libera dos electrones.

Así podemos concluir que en el ánodo el Cu y el Zn ceden dos electrones y pasan al estado iónico según la reacción:



Como en el cátodo se produce la reducción, su reacción es:



Para que se produzca la electrodeposición del metal en la superficie catódica se debe cumplir con las siguientes etapas:

- Migración de los iones
- Absorción de los iones sobre la superficie catódica
- Difusión de los iones a través de la superficie Anódica
- Descarga de los iones

En la primera etapa los iones cargados eléctricamente migran hacia la región catódica.

En la segunda etapa, los iones se absorben en la superficie metálica, es decir se incorporan en una película superficial.

En la tercera etapa se produce la difusión de los iones, entre la superficie metálica, llenando los espacios cargados de electrones, perdiendo las moléculas de hidratación. En la última etapa los iones entregan su carga, se vuelven neutros y se depositan formando átomos metálicos puros.

Los átomos metálicos de Cu y Zn se descargan de forma aleatoria, para después reorganizarse y formar cristales, los que dan como resultado una capa de Latón de la composición deseada.

El Latón es una aleación de Cu y Zn en proporciones variables. Las aleaciones no pueden separarse bien electrolíticamente, porque las tensiones requeridas por lo general son diferentes. Si combináramos un baño ácido de Cu y un baño ácido de Zn, las tensiones que alcanzarán hasta 1.5 voltios, solo separarían a Cu, y las que fueran superiores a los 2 voltios separarían Zn y Cu, pero este último en forma pulverizada e inutilizable. Por esta razón se recomiendan los baños cianicos ya que en ellos estos metales están ligados en forma compleja.

Como ya se ha dicho, la corriente permite la descomposición de las sales de Cianuro de Cu y Cianuro de Zn (esta descomposición ocurre por medio de dos procesos) en iones positivos o cationes  $\text{Cu}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ . Los dos liberan dos electrones ya que el Cu es polivalente y puede liberar 1 o 2 electrones según su configuración electrónica y el Zn fácilmente libera 2 electrones de su último subnivel energético. Los iones son atraídos hacia el cátodo o electrodo negativo donde se depositan de forma individual, ya que sus características son similares.

En la tabla VI se presenta un tipo de solución cianurada de latón.

**TABLA VI**  
**SOLUCIÓN CIANURADA DE LATÓN (7)**

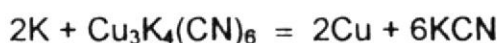
Cantidad	Elemento	Fórmula Química
1 litro	Agua	H <sub>2</sub> O
30 g	Cianuro potásico de Cu	Cu <sub>2</sub> K <sub>4</sub> (CN) <sub>6</sub>
30 g	Cianuro potásico de Z n	Zn K <sub>2</sub> (CN) <sub>4</sub>
3 g	Cianuro de Potasio	K C N
5 g	Carbonato de Sodio	Na <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>
5 g	Sulfito de Sodio	Na <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>
4 g	Cloruro de Amonio	N H <sub>4</sub> Cl

Para esta solución se hallan en disolución los siguientes iones:



Los iones  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  van al cátodo, allí por absorción de electricidad negativa se neutralizan o sea que pasan a estado atómico. Pero como ni el K, ni el Na, ni el  $NH_4$  son posibles en soluciones acuosas, estos descomponen los productos químicos cercanos, al agua o entran en combinación con ellos.

Aquí podemos verificar las transformaciones del K con el Zn y el Cu, que también valen para los demás iones.



Como puede deducirse por las Ecuaciones, en este caso, tanto el Cu como el Zn son separados por vía indirecta. Las sales conductoras están a cargo del transporte de la corriente y sólo después de un proceso posterior denominado secundario, se separa Cu o Zn por

vía puramente química, usando como medio las partículas de sal conductora neutralizada eléctricamente. El principio de esta separación se basa nuevamente en la serie eléctrica de las tensiones. El K, menos noble, entra en disolución y separa una cantidad equivalente de Cu y Zn o de ambos combinados.

Las reacciones que se producen en los ánodos son bastante más complicadas. Al ánodo se dirigen entre otros, iones complejos como  $\text{Cu}_2(\text{CN})_6^{4-}$  y  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ . Estos iones no saturados después de la neutralización eléctrica, se precipitan sobre el ánodo de Latón. Estos pueden disolver tanto Zn como Cu, formando cianuro de Cu y cianuro de Zn ( $\text{Cu}(\text{CN})$  y  $\text{Zn}(\text{CN})_2$ ).

Pero estas sustancias son Insolubles y forman lodo sobre los ánodos, que para disolverse necesitan cierta cantidad de cianuro potásico libre, por esta razón es importante para el proceso que las soluciones de mantenimiento contengan cloro y cianuro. El  $\text{SO}_3^-$  sirve para la reducción del Cu bivalente que se disuelve. El  $\text{CO}_3^-$  participa en la formación del lodo.

En los baños cianicos los complejos iones metálicos van en dirección contraria a la normal, ya que no se dirigen directamente al ánodo, de esta manera no toman parte en la separación metálica. El metal que se separa primero es aquel que tiene una estructura de grano mas o menos gruesa, el segundo es siempre de grano muy fino.

Los precipitados aterciopelados de los baños cianicos gozan de gran aceptación, ya que generalmente son muy densos, y están libres de poros. Es importante mencionar que hay que realizar el enjuague antes y después de cada tratamiento para que el recubrimiento tenga una excelente calidad.

En una solución de Cianuro de Potasio, el potencial de descomposición del zinc y del cobre varía muy poco el uno del otro, siendo el del zinc solo algo inferior al del cobre. Si utilizamos una Densidad de corriente media, ambos metales se precipitan simultáneamente, formando una capa de latón.

Como todos los recubrimientos electrolíticos, este proceso es bastante complejo y debe respetarse el orden de secuencia y cada una de sus variables. Otro tipo de solución que se puede usar en el proceso de Latonado se presenta en la tabla VII.

**TABLA VII**  
**SOLUCIÓN DE LATÓN RECOMENDADA POR LA PFANNHAUSER (1)**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Agua</b>	<b>1 litro</b>
<b>Cianuro de Cobre y Potasio</b>	<b>40 g</b>
<b>Cianuro de Zinc y Potasio</b>	<b>40 g</b>
<b>Cianuro de Potasio</b>	<b>2 g</b>
<b>Carbonato de Sodio</b>	<b>1 g</b>
<b>Sulfato de Sodio, Neutro</b>	<b>10 g</b>
<b>Cloruro de Amonio</b>	<b>2 g</b>

#### **1.4.3 Post Procesos.- Barnizado y control de Calidad**

Después de haber realizado el latonado de las piezas metálicas, debemos realizar dos procesos adicionales de los cuales uno nos da cierta protección al recubrimiento contra los efectos corrosivos de la atmósfera y el otro nos da una idea de la calidad de las probetas y la efectividad del proceso que se está empleando.

## **Barnizado**

El barnizado de las probetas se puede realizar de dos maneras, la primera es aplicando el barniz y dejándolo secar al ambiente; y la otra es secándolo en hornos a temperaturas de 100 a 120° C. Hay varios tipos de barnices en el mercado, las más usadas son las lacas al agua y las acrílicas.

Hoy en día se puede proteger estos trabajos con resinas especiales. La única condición que deben cumplir cualquiera de estas sustancias es la de no tener porosidades, ya que si las tuvieran éstas serían la vía por donde comenzaría el ataque corrosivo.

## **Control de Calidad**

Para poder determinar las características de los recubrimientos hay que realizar un sinnúmero de ensayos físicos, los cuales nos darán una referencia cualitativa o cuantitativa de los siguientes parámetros, que nos son de interés:

- Brillo
- Adherencia
- Espesores

### **Determinación del brillo**

El brillo de un recubrimiento constituye una de sus cualidades más interesantes, no sólo cuando su aplicación obedece a fines técnicos (reflectores u otros instrumentos ópticos), sino cuando su empleo está relacionado a fines puramente decorativos. Para lograr los brillos deseados, a las soluciones se les agrega abrillantadores.

El poder evaluar, aunque sea de una manera aproximada, el brillo de un depósito, resulta altamente interesante para el galvanotécnico, ya que le proporciona un adecuado método para el control de la calidad, al mismo tiempo que le orienta en la elección de la técnica más adecuada para conseguirlo.

El brillo de una superficie metálica depende de la cantidad de luz que refleje o difunda. Cuanto más refleje la luz geoméricamente y cuanto menos luz difunda, la pieza será más brillante.

La determinación del brillo por **medida del coeficiente de reflexión** ha sido uno de los métodos mas utilizados. La manera más sencilla de realizar esta determinación, consiste en colocar el objeto

perpendicularmente, a contraluz, sobre una hoja de papel blanco, observando la imagen obtenida.

Un mejor criterio de evaluación del brillo de un depósito, lo proporciona la reflexión sobre el objeto de las letras o dibujos impresos en el papel. Este método nos proporciona un criterio cualitativo, mas no cuantitativo.

Uno de los métodos más sencillos, es el que se obtiene de la norma alemana DIN 50 960, que consiste en observar a una distancia de 300 mm, el reflejo de un escrito en negro sobre fondo blanco (con caracteres de 5 mm de altura) sobre la parte brillante de la muestra a examinar, colocada de frente y paralelamente a la escritura. Ver figura 1.4.

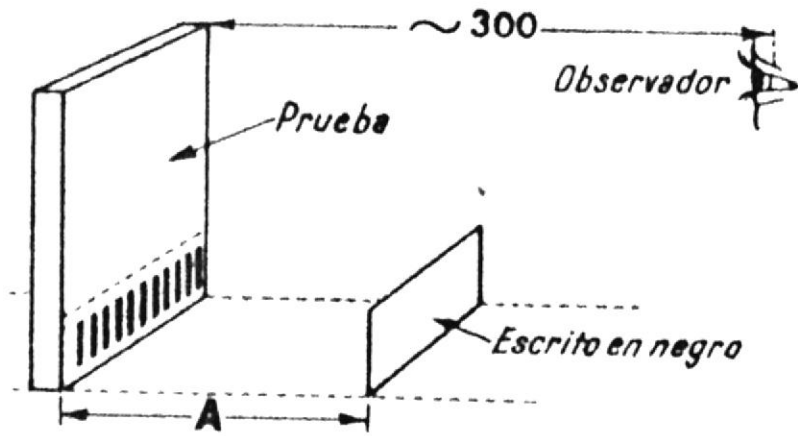


FIGURA 1.4. Esquema del método de pruebas para la medición del brillo de las probetas según las Normas DIN.

La distancia A entre el papel escrito y la prueba reflejando de modo legible las palabras, es considerada como un criterio de medida de brillo. Cuanto mayor sea A mayor será el grado de brillo. Esta distancia sirve para clasificar a las superficies como:

- ❖ Brillante especular
- ❖ Simplemente brillante
- ❖ Semi-brillante

Otro método que nos da una medida de brillo y que también es presentado por las normas DIN 50 960 es el que se describe a continuación.

Como se ve en la figura 1.5, el aparato de Krusenstjern y Schelegel, consiste en una caja en forma de triángulo rectángulo, llevando uno de los catetos “a” una escala transparente iluminada con luz difusa, constituida por una serie de números en orden creciente (pudiendo haber varias columnas con números de distinto tamaño). El otro cateto “b” lleva una lámina de vidrio transparente sobre la cual están esmerilados en sucesión invertida con respecto a los de la escala del cateto “a” una serie de números del (1 al 20) constituyendo la escala de referencia.

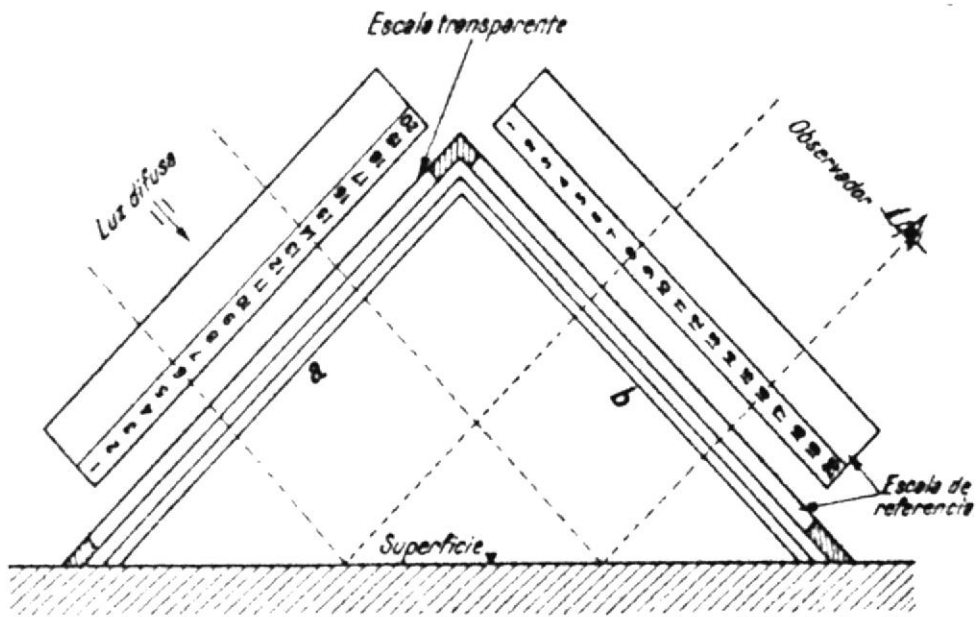


FIGURA 1.5. Esquema del funcionamiento del medidor de brillo de Krusentsjern-Schlegel.

Para medir el brillo se coloca la hipotenusa (parte abierta) del aparato sobre la superficie a examinar, observando sobre el brillo transparente de “b” qué número, por reflexión sobre la superficie metálica, resulta nítidamente legible llevándolo sobre la escala de referencia. Cuanto más alta sea la cifra nítida observada, mayor será el brillo de la superficie.

Hay otros métodos de medición de brillo como lo son lo reflectómetros, fotómetros, y espectrofotómetros, otros instrumentos que se basan en la nefluorometría, observación a través de microscopio interferométrico, utilizando la esfera de Ulbricht etc.

### **Determinación del espesor**

El espesor de un depósito galvánico es una cualidad muy importante, ya que de éste depende de la capacidad del recubrimiento para resistir los ataques de la corrosión, por lo que podemos decir que a mayor espesor de la capa, mayor será la resistencia a la corrosión.

La determinación del espesor puede realizarse en toda la superficie (espesor medio) o en un punto específico de ésta (espesor local) se pueden realizar distintos procedimientos para calcular los espesores y entre estos tenemos:

- ❖ Método de eliminación química del depósito
- ❖ Método del chorro de Clerk
- ❖ Método electroquímico de la solución anódica
- ❖ Método de Mesle-Chord
- ❖ Método del micrómetro
- ❖ Método del microscopio metalográfico
- ❖ Métodos magnéticos
- ❖ Métodos electrónicos

En este capítulo se van a tratar solo los procedimientos más efectivos.

#### Método de Eliminación Química

Este método se basa en el decapado de la pieza y la obtención del peso de la misma por medio de la diferencia de los pesos. Una vez que se conoce el peso y el área del recubrimiento, se calcula el espesor por medio de fórmulas descritas en la ley de Faraday 1.12.

### Método del Micrómetro

Esta es una de las determinaciones más fáciles de realizar. Se utilizan distintos tipos de tornillos micrométricos, desde los sencillos hasta los de lectura óptica. La determinación del espesor se realiza mediante dicho instrumento antes y después de efectuar el recubrimiento. Este método no requiere la destrucción del objeto a ensayar, puede determinar espesores de hasta 5 micras, pero necesita que las superficies sean completamente planas.

### Método del microscopio metalográfico

Este método es más exacto que el anterior, requiere el empleo de un microscopio metalográfico común asociado a un micrómetro óptico. Con él se aprecian espesores hasta de 2 micras.

La medida del espesor se la realiza con la sección de la pieza cortada perpendicularmente a su superficie, convenientemente pulida o esmerilada. Este procedimiento requiere de aparatos muy caros y necesita la destrucción de la probeta.

### Métodos magnéticos

Estos métodos son rápidos, precisos y sencillos, además de no necesitar la destrucción de la probeta. Estos métodos son aplicables a recubrimientos metálicos no magnéticos depositados sobre bases magnéticas, o recubrimientos magnéticos depositados sobre bases no magnéticas.

El método de medida del espesor de un depósito magnético sobre base no magnética, está fundado en la atracción magnética que experimenta el depósito cuando la pieza a medir se coloca sobre un imán fijo, siendo dicha atracción proporcional a la masa del recubrimiento, y, por lo tanto, al espesor del mismo. Determinando mediante un dinamómetro o cualquier otro instrumento idóneo la fuerza necesaria para contrarrestar la atracción del imán; y comparándola con otras fuerzas patrón, previamente establecidas con depósitos de espesor conocido, se sabe el espesor del depósito que recubre a la pieza examinada.

Cuando se requiere determinar el espesor de depósitos no magnéticos sobre base metálica magnética, se utiliza el método de la permeabilidad magnética de Knight, inverso al citado, que consiste

en medir la reducción que experimenta el flujo magnético producido entre los polos del imán y la base magnética.

Se han construido diversos equipos para medir los espesores de un depósito no magnético (zinc, cadmio, cobre, etc.) sobre base magnética como por ejemplo el lápiz B.S.A. Tinsley. Otro instrumento de medida basado en el mismo proceso es Mikrotest G., que mide depósitos galvánicos no magnéticos aplicados a bases magnéticas.

### **Determinación de Adherencia**

En la actualidad la adherencia es muy importante para un depósito, ya que de poco servirá el que éste tenga una dureza, brillo, etc. óptimos, si se desprenderá fácilmente del metal base.

Hay una gran cantidad de ensayos los cuales pueden ser Cualitativos o Cuantitativos.

Entre los cualitativos tenemos:

- ❖ Prueba de cuchillo o cincel
- ❖ Prueba de doblado
- ❖ Prueba de calor
- ❖ Prueba de bruñido
- ❖ Prueba de esmerilado

Entre las pruebas cuantitativas están:

- ❖ Ensayo de Ollard
- ❖ Ensayo de nódulo
- ❖ Ensayo de cemento adhesivo

La prueba de doblado es la más común y consta de colocar la probeta en un mandril, fijarla según radios definidos, o doblándola repetidas veces en ángulos de  $180^{\circ}$ , el recubrimiento se calificará como no adherente si éste se desprende fácilmente en su totalidad, mas no en pequeñas partes.

La prueba de calor consiste en calentar la pieza a  $100$  o  $120^{\circ}$  C y luego enfriarlas bruscamente, si en la pieza aparecen ampollas esto quiere decir que la adherencia es mala.

El ensayo del cemento adhesivo se realiza adhiriendo a las dos superficies de la probeta con un cemento, barras o cilindros los cuales son fijados a una máquina para medir tensiones, sometiendo la muestra a estirado. Conociendo el área de la superficie y la fuerza que se utilizó para desprenderlo, se deduce la adherencia del recubrimiento.

#### **1.4.4 Control de Variables**

Para que los recubrimientos sobre cierto metal base tengan las características que deseamos (brillo, espesor, adherencia, ductilidad, etc.) al final del proceso, se deben controlar ciertos parámetros que son:

- Densidad de corriente
- Agitación
- Temperatura
- Concentración de las soluciones
- Disposición de las piezas en las cubas

**Densidad de Corriente.-**

Es una de las variables más importantes, porque ayuda a conseguir un recubrimiento uniforme en toda la superficie de la pieza. También debemos mencionar que el desgaste del baño es directamente proporcional a ésta, ya que a mayor densidad de corriente, hay un mayor empobrecimiento de la solución.

Los baños de latón brillante trabajan con densidades de corriente muy bajas, oscilando de 0.1-2.0 Amp/dm<sup>2</sup>, y mientras se eleva la temperatura deberá incrementarse la densidad de corriente. Si se mantiene este rango de densidades, cuanto mayor sea la densidad de corriente empleada, mayor será el brillo del depósito obtenido y mejor será la estructura del mismo.

Cuando recubrimos piezas pequeñas y en serie se recomienda utilizar un voltaje de hasta 4 voltios y una densidad de corriente de 0.5 Amp/dm<sup>2</sup>.

En los recubrimientos con latón, la composición del mismo depende de la densidad de corriente y es fácil explicarse el por qué de la misma. Si aplicamos una densidad de corriente elevada, se precipita

más zinc que cobre, por lo que, la tonalidad del Latón es más clara y reluciente. Si el caso fuera el contrario y utilizamos densidades de corriente bajas, el cobre será el que se precipite en mayor cantidad teniendo un recubrimiento más rojizo.

Para lograr un recubrimiento uniforme debemos mantener la densidad de corriente constante. Al incrementar la densidad de corriente, hasta cierto límite, se aumenta la velocidad de electrodeposición, incrementando la tasa de producción de una unidad dada. Pero si excedemos el valor de la densidad de corriente y sobrepasamos el valor crítico, corremos el riesgo de que en los recubrimientos aparezcan rugosidades, sean frágiles o tengan mala adherencia como fallas.

Para que aparezcan depósitos esponjosos, o que, el recubrimiento aparezca quemado, debe haber un incremento en la densidad de corriente posterior a la culminación del recubrimiento. Los dos últimos son la causa de una excesiva generación de hidrógeno, que se fija en la superficie que se va a recubrir (el  $H_2$  impide la fijación del latón).

Otro problema a causa de un incremento excesivo de la densidad de corriente, es la pasivación del ánodo de latón, pues no desprende nada de metal. En el mejor de los casos el desprendimiento de los iones es demasiado lento para poder lograr recubrimientos adecuados. Si la densidad de corriente disminuye excesivamente, el recubrimiento se retrasa y es de forma irregular, perdiendo uniformidad y brillo.

#### **Agitación.-**

La agitación durante el proceso electrolítico influye de algunas maneras en la capa de metal que se deposita, algunas de estas son:

- Suministro fresco de sales o iones metálicos al cátodo
- Barre burbujas gaseosas como hidrógeno que ocasionan cráteres
- Mezcla la solución
- Impide la estratificación de sustancias pesadas, depositadas al fondo de la cuba
- Permite utilizar una densidad de corriente más alta
- Aumenta la difusión de los iones metálicos

Para lograr la agitación necesaria podemos utilizar cualquiera de los siguientes métodos:

- Sistema de bombas
- Chorro de aire
- Movimiento relativo horizontal del ánodo o cátodo
- Movimiento relativo vertical del ánodo o cátodo
- Movimiento relativo rotatorio del ánodo o cátodo

Al realizarse el movimiento rotativo del ánodo, este debe tener una velocidad mínima de 3 m/min, de preferencia mayores. Se debe tener mucho cuidado cuando utilizamos agitación por medio de chorros de aire, ya que si el baño contiene cianuro, con el paso del aire el cianuro se descompone y forma carbonatos.

Cuando la agitación es muy rápida, produce rugosidad y porosidad en el recubrimiento, esto es causado por el exceso de partículas liberadas por el ánodo y las sales que son levantadas de los sedimentos, para evitar este tipo de defectos se utilizan bolsas anódicas, comúnmente vistas en los ánodos de Níquel.

En la figura 1.6 podemos ver un sistema de agitación y filtración a base de Bombas.

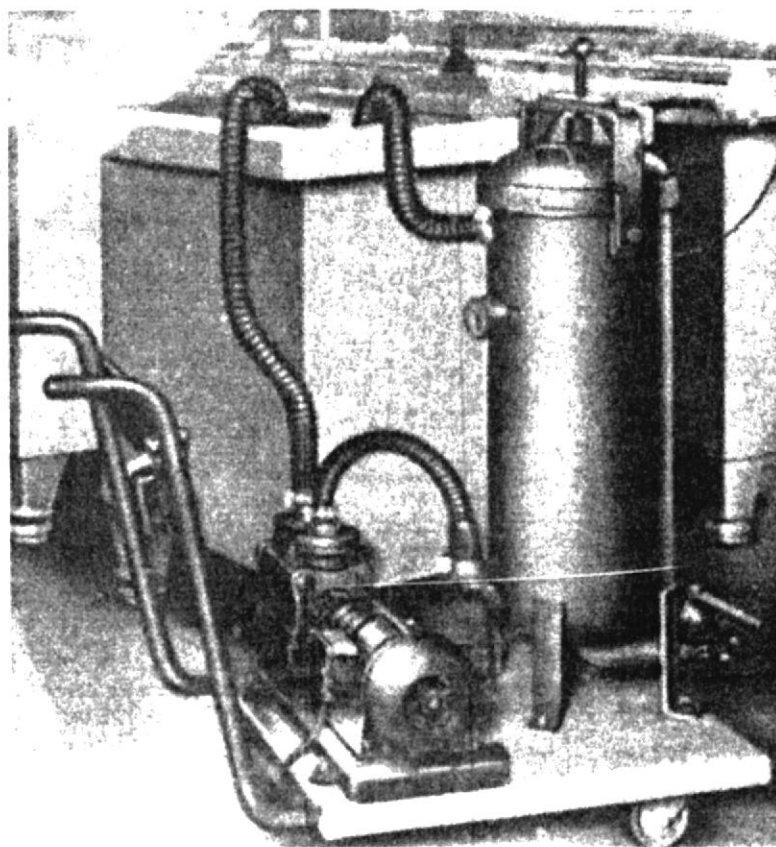


FIGURA 1.6. Equipo de agitación y filtración para baños electrolíticos

**Temperatura.-**

Al elevar la temperatura debemos elevar la densidad de corriente para conseguir aumentar el tamaño de la estructura cristalina de la capa metálica depositada. Mientras mayor sea la temperatura, mayor será la densidad de corriente empleada. Sin embargo, nunca se sobrepasa los 60 °C siendo las temperaturas normales de trabajo en los recubrimientos de latón de 20 a 40 °C.

Los depósitos tersos y de grano fino, se producen frecuentemente mediante soluciones calentadas intencionalmente, a temperaturas altas y densidades de corriente elevadas, de esta forma se obtienen recubrimientos de muy buena calidad.

Si el aumento de la temperatura no va acompañado del aumento de la densidad de corriente, el efecto de esto se traduce en un aumento del tamaño de los cristales, como consecuencia de la disminución de la polarización. Es decir, que el efecto de la densidad de corriente contrarresta el efecto de las altas temperaturas.

Las temperaturas elevadas proporcionan mayor solubilidad y disociación de la sal metálica en la solución. Otro de los beneficios

que se recibe del aumento de temperatura es la mayor conductividad del electrolito. También incrementa la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad del baño, de manera que la película catódica se reaprovisiona inmediatamente, lo que permite desechar la posibilidad de formación de estructuras absorbentes, e incrementa la densidad de corriente obtenida de un voltaje dado.

Otra de las ventajas de elevar la temperatura es que hay menos absorción de hidrógeno, por lo tanto hay menos posibilidades de fisuras en el recubrimiento.

#### **Concentración de las soluciones.-**

Los electrolitos utilizados para depositar latón brillante están constituidos por una solución alcalino-cianurada de cobre y zinc donde las sales de los metales deben ser lo mas altas posibles.

Para preparar el baño con el que se realizará la electrodeposición, debemos conocer las características del metal base, según estas el baño varía en ciertos elementos.

Es recomendable la filtración continua y periódica del electrolito, sobre todo cuando ha sido contaminado con sustancias extrañas.

Los elementos metálicos que regularmente contaminan las soluciones para latonar son:

- Plomo
- Hierro
- Estaño

Se debe proceder a eliminar éstos cuando se encuentran en cantidades superiores a 0.03 g/l.

Los baños de Latón requieren de mas vigilancia que otros, por las variaciones originadas por la descomposición del cianuro de potasio y la rápida variación del contenido metálico de la solución.

Por esta razón se recomienda un análisis químico continuo del baño, pues de otro modo no se lograría obtener precipitados de composición y coloración sensiblemente constantes.

Para mantener un control de las soluciones en el taller son importantes las mediciones continuas del pH, si éste varía es porque hay alguna anomalía con la solución.

## **1.5 Elementos Constitutivos de una Planta experimental Para Latonado**

Cualquier taller galvánico por modesto que sea, debe tener unas condiciones generales de espacio y unos elementos de trabajo tales que le permitan obtener unos acabados adecuados a los fines propuestos.

### **1.5.1 Especificaciones del Anodo**

Para obtener recubrimientos con latón se pueden utilizar algunos tipos de ánodos según la necesidad que se presente, entre los tipos de ánodos están:

- 80% Cu y 20% Zn
- 75% Cu y 20% Zn
- 70% Cu y 30% Zn
- 65% Cu y 20% Zn

El tipo de ánodo que utilicemos influirá en la coloración que tenga el recubrimiento. En caso de que uno de los elementos escasee, y casi siempre es el cobre, se pueden utilizar ánodos especiales ricos en Cu

Los ánodos pueden ser fundidos o laminados, el único requisito es que los elementos utilizados deben ser de gran pureza, de esa manera no se sobrepasarán los límites de impurezas, como 0.08 % de contenido de plomo, 0.01% de contenido de hierro, etc.

La superficie de los ánodos debe ser lo suficientemente grande para abarcar toda la superficie de las piezas a recubrir. También es importante mantenerlos siempre equidistantes a las probetas que van a ser recubiertas.

Para los recubrimientos que son enfocados en la industria decorativa, el ánodo más utilizado es el 70% Cu y 30% Zn.

### 1.5.2 Características de las soluciones

El proceso completo utiliza un sinnúmero de soluciones como las de desengrase y decapado, las cuales ya se las ha mencionado, en esta parte del texto se mencionará únicamente las soluciones que tienen que ver con los recubrimientos.

En la actualidad, los baños usuales de Niquelado tienen como componente principal sulfato de Níquel Amoniacal, en los cuales el contenido de níquel metálico oscila entre un 10 y 15 % actuando a temperatura ambiente. A estos baños se les adiciona un poco de ácido bórico o cítrico, para mantener su acidez baja, evitando la oxidación del depósito. Para el mantenimiento de las soluciones y para que el recubrimiento tenga brillo y esté libre de manchas se le adhieren soluciones abrillantadoras.

Para los recubrimientos de Níquel las soluciones más efectivas son las ácidas, por lo que son las mas utilizadas en plantas y talleres. Estas soluciones se enuncian en las tablas V y VI

Los recubrimientos de latón son bastante difíciles de obtener por su condición de ser aleación, por esa razón no se obtiene la calidad que se espera al utilizar soluciones ácidas. Las soluciones cianuradas tienen una estructura bastante complicada, por ésta razón son más efectivas para realizar este proceso.

Algunos de los elementos más comunes para preparar las soluciones de Latón se mencionan en la tabla VIII. Las sales de Cobre y Zinc están contenidas en igual cuantía; la sal de sodio se añade para mejorar la conductividad; el ácido arsenioso se utiliza para hacer más viva la coloración del precipitado. Cuando trabajamos con hierro, se utiliza Carbonato de Amonio en vez de Cloruro de Amonio.

**TABLA VIII**

**ELEMENTOS MÁS COMUNES EN LAS SOLUCIONES PARA LATONADO(6)**

Sosa cristalina ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	30 g
Bisulfito de Sodio	20 g
Acetato de Cobre	12.5 g
Cloruro de Zinc	12.5 g
Cianuro de Potasio	35 g
Acido Arsenioso	0.2 g

Siempre es mejor utilizar soluciones con altas concentraciones de sales de zinc y cobre, pero tiene ciertas ventajas y desventajas.

Entre las ventajas tenemos:

- Aumento de la conductividad
- Mayor densidad de corriente
- Eficiencia del baño mas elevada

Las desventajas más relevantes son:

- Costo elevado en la preparación del baño
- Tendencia a la cristalización sobre las paredes del tanque y los electrodos
- Descenso en la eficiencia anódica

Si se incrementa la concentración de las sales bajo condiciones dadas, disminuirémos la polarización catódica e incrementaremos el tamaño de los cristales.

Las composiciones más convenientes de las soluciones electrolíticas son aquellas que poseen pocos iones a depositar y muchas moléculas dispuestas a disociarse rápidamente, liberando de este modo iones metálicos que sustituirán a los que desaparecen de la película líquida catódica durante la electrólisis.

Si la concentración de iones en la solución es pequeña, el grano será mas fino, aumentará la polarización y difusión catódica mejorando la uniformidad y el potencial del depósito.

Otra ventaja de las soluciones concentradas es que se obtienen recubrimientos más brillantes y menos rugosos. También hay que tomar en cuenta la concentración de iones de hidrógeno que están cargados positivamente, ya que en la electrólisis emigrarán al cátodo formando gas hidrógeno, estos iones afectan en mayor cuantía cuando las soluciones que se usan son casi neutras.

Como recubrimiento decorativo se utiliza esta técnica de recubrimiento por la coloración de la misma. Para lograr coloraciones más llamativas se agregan a la solución, pequeñas cantidades de sales (2 o 3 gramos por litro), como: cloruro de aluminio o sulfato de aluminio, de esta manera se consigue una tonalidad muy similar a la del oro. En este proceso el aluminio no es arrastrado por la precipitación, produciendo solo un efecto coloidal.

Si se añade algo de amoníaco en la solución, se mejorará la homologación del zinc y del cobre, dando lugar a una precipitación constante de ambos metales.

Todos estos elementos que mejoran el brillo del depósito se denominan abrillantadores y son de dos tipos, los orgánicos y los inorgánicos, mencionados en la tabla IX. Los abrillantadores más comerciales y más utilizados son el trióxido de arsénico en soluciones de hidróxido sódico y el tiosulfato sódico. Las normas ASM nos dan una gama de soluciones las que se usarán según el acabado deseado.

**TABLA IX**  
**ABRILLANTADORES MÁS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE**  
**LATONADO (6)**

<b>Inorgánicos</b>	<b>Cantidad</b>
Trióxido de Arsénico ( $As_2O_3$ )	0.01-0.06 g/l
Cianuro de Níquel y Potasio ( $(Ni(CN)_4)K_2$ )	1-2 g/l
Oxido de Cadmio (Ocd)	0.2-0.8 g/l
Sulfocianuro potásico (SCNK)	2-5 g/l
Tiosulfato sódico ( $S_2O_3Na_2$ )	0.1-0.3 g/l
<b>Orgánicos</b>	
Gelatina	0.1 g/l
Fenol	0.-0.4 g/l
m-cresol-sulfonato sódico	0.5-1 g/l
Polivinil-alcohol	1 g/l

### 1.5.3 Distribución de la Celda Electrolítica

La celda Electrolítica consta de algunos elementos que son indispensables para facilitar la tarea de recubrir metales,, y son:

#### **Rectificadores**

La corriente empleada en el proceso electrolítico debe ser continua, por lo tanto hay que convertir la corriente alterna suministrada por la Empresa Eléctrica. Para ésto se utilizan los llamados rectificadores, preferentemente de tipo seco, los cuales dejan pasar la mitad de la onda senoidal de la corriente alterna.

Hay muchos tipos de rectificadores, los cuales se pueden clasificar según su tipo de elementos y según el tipo de refrigeración que utilicen. Según su elemento pueden ser: par cobre óxido de cobre, par selenio hierro, germanio y silicio.

Según su tipo de refrigeración: enfriado por aire y enfriado por aceite. Estos últimos son recomendados para este tipo de actividad por su inmunidad a la atmósfera corrosiva de los talleres galvánicos, pudiendo ser colocados junto a los baños que alimentan.

En instalaciones semi-automáticas de mediana y gran envergadura se han utilizado rectificadores especiales de regulación automática.

Estos aparatos permiten trabajar con densidades de corriente constantes aún cuando la superficie catódica varíe en breves intervalos de tiempo (periodos de carga o descarga de las piezas). Estos suelen poseer estabilizadores de corriente trifásica y su correspondiente voltímetro para medir la tensión a las cuales se desea trabaje el baño.

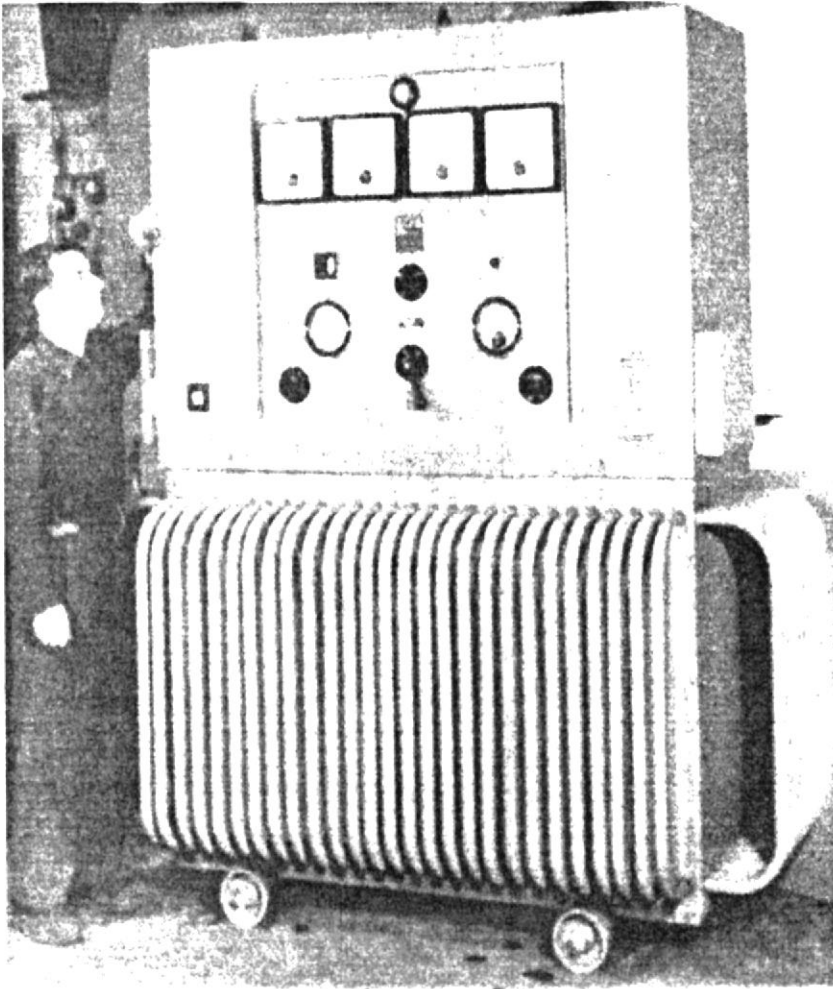


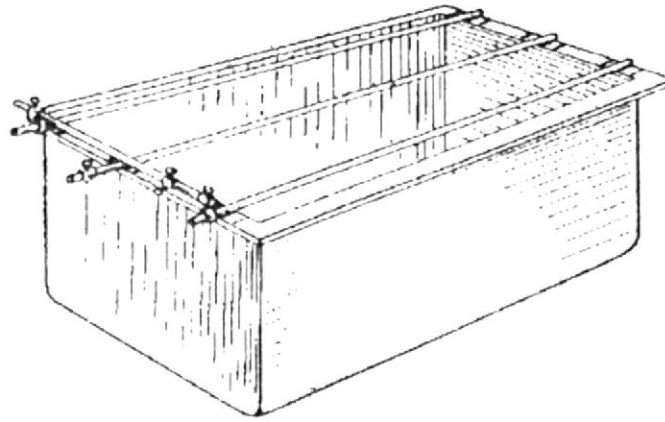
FIGURA 1.7. Rectificador de Selenio de Regulación Automática  
de 8 Volt. 2000 Amp. Refrigerado por Aceite

### **Cubas para electrólisis**

El recipiente que ha de contener las soluciones-electrolito debe resistir el ataque de soluciones ácidas o alcalinas, así como la elevación de temperatura.

En la mayor parte de los casos suelen utilizarse cubas de hierro o acero revestidas interiormente de goma endurecida o de alguna resina sintética (cloruro de Polivinilo), también se han empleado otros materiales como madera forrada con plomo, gres o hierro esmaltado.

Las diferentes formas de las cubas, dependen del tipo de proceso y del tamaño de la probeta. Podemos indicar que la forma mas general es rectangular cuando se trata de baños quietos, adoptando forma de campana cuando los baños son rotatorios. Los procesos modernos utilizan exclusivamente cubas rectangulares. Un bosquejo de la cuba más común que se encuentra en la mayoría de los talleres se la presenta en la figura 1.8.



**FIGURA 1.8.** Cuba para Baños Electrolíticos con dos Barras Conductoras Anódicas y una Barra Catódica Central

En los aparatos de campana (tronco de cono, abierto por la parte superior), el ánodo está situado en la parte superior, en el eje teórico de la misma se conecta el polo negativo, llegando la corriente a las piezas mediante planchas de cobre situadas en el fondo del recipiente.

En los aparatos de tambor o bombos (cilindros horizontales con pequeñas perforaciones en las paredes laterales), la corriente llega

a las piezas por medio de unas varillas colocadas a lo largo del eje longitudinal, estando situados los ánodos en el interior de una cuba rectangular en la cual se sumerge el tambor.

Dentro de las cubas las piezas deben estar distribuidas de una manera óptima, por lo que se darán ciertas normas para su disposición.

### **Conductores**

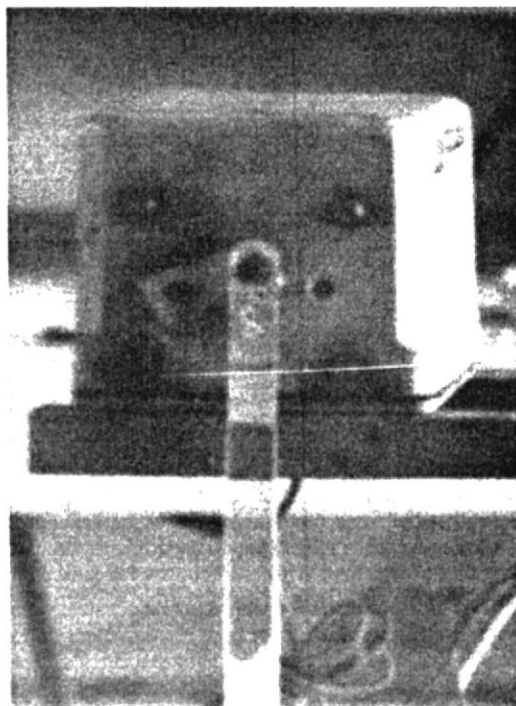
Para conducir la corriente se utilizan cables o barras de Cobre o latón. Los cables se utilizan cuando las intensidades de Corriente son muy bajas. Para intensidades altas se utilizan barras de cobre o latón aunque recientemente se han utilizado barras de aluminio. Cada barra catódica va intercalada entre dos barras anódicas.

### **Elementos de agitación**

Para lograr la permanente homogeneidad del baño que permita un adecuado transporte iónico, es necesario proveer al baño del conveniente dispositivo de agitación. Uno de los sistemas de agitación es el de insuflar aire comprimido por medio de serpentines en los que se han practicado pequeños orificios con lo cual se produce la agitación total de la solución-electrolito. Este tipo de

agitación requiere una filtración simultánea ya que ésta remueve los lodos depositados en el fondo del recipiente. Este sistema de agitación no puede aplicarse a las soluciones alcalino-cianurados ya que el  $\text{CO}_2$  del aire, al combinarse con el cianuro presente en la solución, ocasiona la formación de Carbonato Sódico, aumentando considerablemente la concentración de dicho compuesto en el baño, con las consiguientes molestias en el mismo.

Otro sistema de agitación muy empleado, consiste en producir el desplazamiento horizontal, vertical o circular del cátodo. Este tipo de agitación contribuye en gran manera a la obtención de depósitos uniformes, permitiendo al mismo tiempo el empleo de altas densidades de corriente. De los tres sistemas de agitación mediante desplazamiento del cátodo, el más utilizado sin duda es el horizontal, aplicando este movimiento de vaivén a la barra catódica mediante una palanca acotada, movida por transmisión o por un motor acoplado directamente a la cuba.



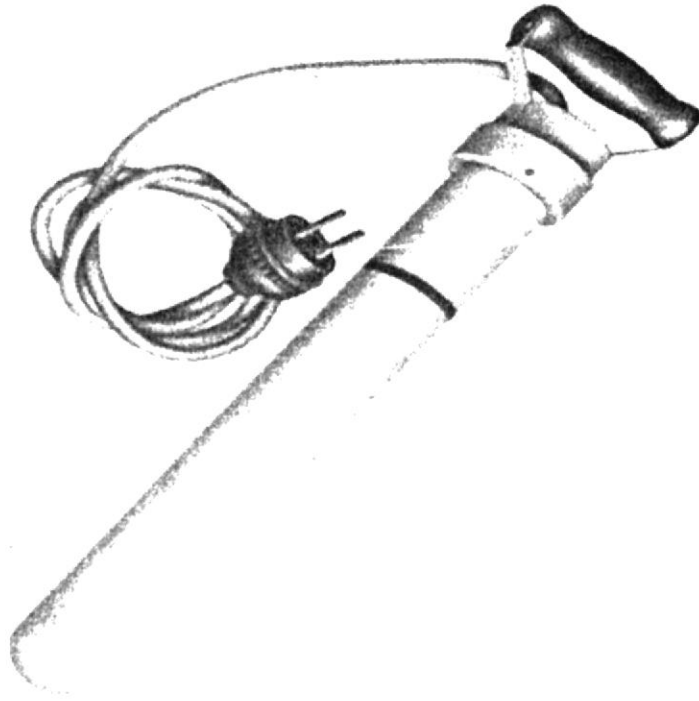
**Figura 1.9.** Motor eléctrico utilizado para la agitación de la barra catódica.

### **Elementos de Calefacción**

La calefacción de los baños puede realizarse directamente en los recipientes que los contienen mediante calentadores eléctricos de inmersión, o bien mediante serpentines de plomo o de acero inoxidable, a través de los cuales pasa gas o vapor. Otra manera de calentamiento es el indirecto, el cual envuelve la cuba que contiene el baño a manera de camisa, llevando agua, aceite o simplemente aire calentados mediante gas, vapor o electricidad.

La calefacción mediante energía eléctrica es la más cómoda y limpia, aunque no es la más económica, pero puede controlarse de manera más fácil con aparatos termorreguladores. Se usan para esto calentadores de inmersión, que constan de una resistencia eléctrica aislada, introducida en un tubo de acero inoxidable revestido de plomo. Cuando se emplean para calentar soluciones ácidas, también se pueden usar tubos de cuarzo o de cerámica especial como la que se muestra en la figura 1.10. Los calentadores de cuarzo son los más ventajosos por su mayor resistencia al ataque químico de baños ácidos y alcalinos pese a su mayor fragilidad.

La calefacción por vapor es la más conveniente por sencillez y economía. Se realiza mediante tubos de acero o Plomo adosados a las paredes del recipiente (Ver figura 1.11).



**Figura 1.10.** Calentador de Cuarzo, utilizado para soluciones Acidas

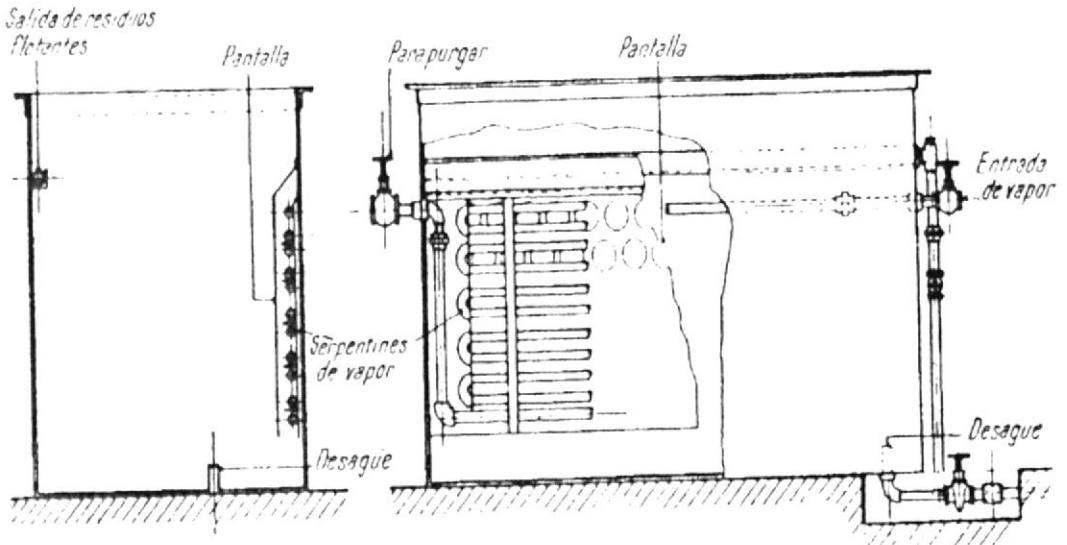


Figura 1.11. Bosquejo de cuba electrolítica calentada por vapor

**Disposición de las piezas en la Cuba.-**

La posición de las piezas dentro de las cubas en el momento de la deposición del metal, deben cumplir con ciertos requisitos para evitar defectos en el recubrimiento. Estos son:

- ❖ La pieza debe quedar completamente sumergida dentro del baño
- ❖ Debe ubicarse entre el flujo electrogalvánico
- ❖ Debe colocarse equidistante a los electrodos de Latón
- ❖ Las piezas huecas deben ser puestas de tal manera que no puedan retener burbujas de aire o gas hidrógeno

Si las piezas tienen partes salientes es recomendable colocarlas de tal manera que no haya parte alguna que quede demasiado cerca a los ánodos con respecto al resto de la pieza, ya que si esto ocurriera, la parte que se encuentre más cercana, recibirá mayor cantidad de metal depositado y habrá irregularidades en el recubrimiento.

### **Bastidores o Armaduras**

Para trabajar en las mejores condiciones de electrólisis y facilitar un buen contacto entre las barras conductoras y las piezas a tratar, se utilizan ganchos de formas muy diversas, llamados bastidores o armaduras.

Los objetos a tratar cuelgan de estos bastidores de material conductor, pendiendo ellos a su vez de la barra o barras catódicas. Estos soportes, a manera de tronco del que parten distintas ramas, se construyen, según la forma particular o dimensiones del objeto a recubrir.

### **Elementos de Filtración**

Para obtener recubrimientos de calidad es imprescindible que el baño esté libre de cualquier tipo de material en suspensión, ya que el polvo, lodos, compuestos químicos insolubles, etc., pueden dar lugar a depósitos ásperos o rugosos, además de disminuir sus cualidades de brillo. La filtración debería ser continua, pero si no es posible, debe ser periódica.

Para filtrar la soluciones-electrolito se han utilizado desde conos de filtración o marcos de madera llevando tejido filtrante (algodón,

nylon, etc.) hasta los filtros prensa (empleados para filtrar grandes volúmenes de líquido), incluyendo además los filtros de candela, las unidades filtrantes precubiertas y los filtros centrífugos.

Los filtros de candela, constituidos por cilindros de material poroso (Kieselguhr, o material análogo), son capaces de separar partículas pequeñísimas; sin embargo presentan desventajas por su lento trabajo y posibilidad de obturación. Una mejora de esta clase de filtración la constituye el empleo de las unidades filtrantes precubiertas, construidas con acero inoxidable, acero recubierto con caucho, bakelita o vidrio.

Los filtros centrífugos, cuyo tambor giratorio actúa de elemento filtrante, reúne la ventaja de una filtración rápida a la vez que fina, siendo por éste motivo una de las más solicitadas en las instalaciones modernas.

Los distintos sistemas de filtración citados pueden ser acoplados de una manera fija a la cuba donde se ha de realizar la electrólisis, o bien constituir unidades independientes portátiles, utilizables para varios baños.

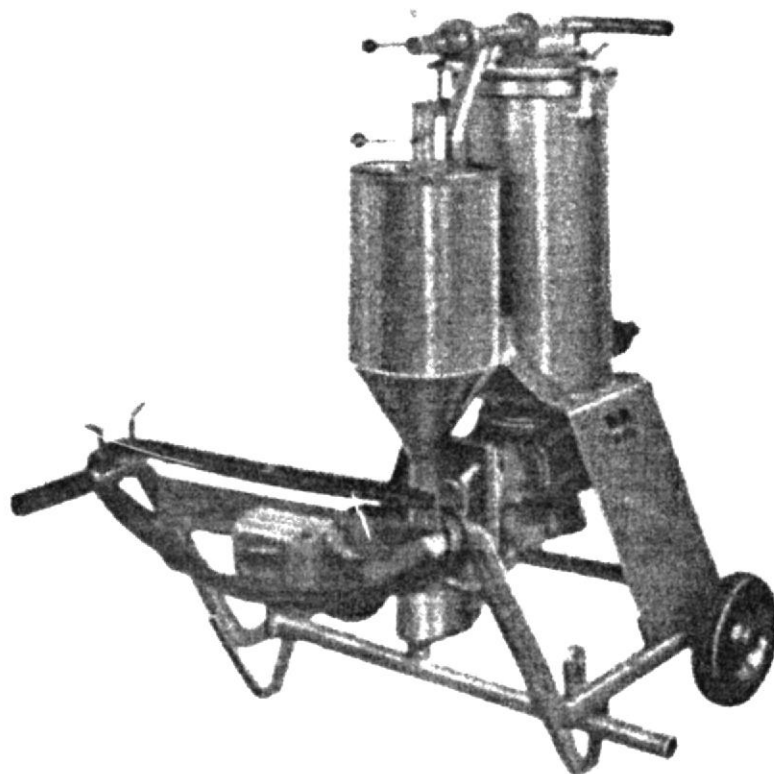


Figura 1.12. Sistema de filtración independiente para electrolitos ácidos y básicos

### **Elementos de aspiración**

En una instalación galvánica existe una gran cantidad de emanaciones de vapores tóxicos o irritantes, por lo que es necesario un sistema de aspiración de gases. Puede también instalarse un sistema de ventilación para toda la planta.

Hay dos tipos de sistemas de extracción, los verticales y las horizontales. Las segundas son las más indicadas ya que no estorban el trabajo de los operadores.

El material empleado en la construcción de los elementos de aspiración (capotas, tubos, conexiones etc.) debe ser inatacable por los vapores desprendidos. En gran parte de los casos se utilizan resinas sintéticas.

# **CAPÍTULO 2**

## **DISEÑO DEL BANCO EXPERIMENTAL Y RECOPIACIÓN DE DATOS**

En esta sección, se tratará todo lo relacionado con lo que se ha tenido que hacer en laboratorio, para obtener un recubrimiento de latón de aceptables características. Para esto, tenemos que conocer los diferentes equipos con los que contamos; y cuales necesitamos según el proceso que queramos aplicar.

### **2.1 Definición de los Elementos Constitutivos de la Planta a Implementar.**

El Banco experimental consta de algunos elementos, de los cuales los más importantes serán analizados y seleccionados según las necesidades que se presenten. Para realizar el proceso de Latonado se

consultaron las normas ASM, D.I.M., y cierta bibliografía de autores españoles, las cuales nos dan la pauta de ¿qué hay que hacer y cómo hay que hacerlo?.

Las normas y artículos a los que se hace referencia nos dan información como:

- Composición y condiciones de operación de soluciones típicas de latón.
- Temperaturas idóneas para lograr un proceso más eficiente.
- Control de pH de las soluciones.
- Densidades de corrientes.
- Control de impurezas.
- Tipos de ánodo.

En los recubrimientos electrolíticos las soluciones son una parte fundamental en el proceso, ya que muchos de los pasos que hay que realizar utilizan soluciones de distintas características.

### **Selección de los Baños empleados**

Se seleccionarán los baños que necesitamos para realizar los siguientes pasos:

- Pre-desengrase.
- Decapado.
- Neutralización.
- Desengrase electrolítico.
- Niquelado.
- Latonado.
- Barnizado.

Para seleccionar los baños electrolíticos que servirán en los recubrimientos, William Blum estableció ciertas reglas, las cuales se han seguido al pie de la letra:

1°) La sal metálica debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Ser bastante soluble para permitir una concentración elevada.
- Las soluciones deben ser muy conductoras.
- Deben resistir a la hidrólisis, a la oxidación y a la reducción.
- Debe sufrir disociación electrolítica dando una concentración débil de iones metálicos (caso de los cianuros complejos).
- Poder disolver el ánodo en condiciones análogas a las teóricas.
- Ser de precio razonable.
- Facilidades para ser adquiridas en el mercado.

2°) Las sustancias agregadas al baño deben cumplir alguna de las siguientes condiciones:

- Aumentar la solubilidad de la sal Metálica o de los compuestos susceptibles de formarse (óxidos o sales básicas).
- Aumentar la Conductividad.
- Regular la acidez, o dicho de una forma más precisa, la concentración de iones hidrógeno.
- Reducir la concentración de iones metálicos.
- Favorecer la corrosión Anódica y disminuir la resistencia debido a la polarización.
- Formación de coloides que se dirijan hacia el Cátodo, disminuyendo las dimensiones de los cristales de metal depositado.

Hay que tomar en cuenta que para el pre-desengrase, decapado y desengrase electrolítico, debemos conocer el material que va a ser recubierto, ya que para cada metal hay una solución diferente.

En la mayoría de las soluciones desengrasantes se usa como componente principal hidróxido de sodio, que al igual que el ácido clorhídrico usado como base de los decapados, son los principales elementos para la producción de Clorhidrato de Cocaína, por esa razón

se los denomina precursores, de venta muy controlada por el CONSEP en nuestro país, por esta razón es muy complicada su adquisición.

En las tablas que se presentan a continuación se describirán las soluciones que más se han acercado a los requerimientos planteados.

### ***Pre-desengrase***

Esta solución se la utiliza para eliminar todo tipo de grasas con las que se cubre a los metales para evitar que se corroan. Una vez que se eliminan las grasas, la pieza puede ser manipulada de una mejor manera.

**TABLA X**  
**PRE-DESENGRASE**

Sosa Cáustica	38 g/lt
Carbonato de Sodio	25 g/lt
Fosfato Trisódico	6.2 g/lt

Esta solución para el desengrase funciona de manera muy efectiva a temperaturas que oscilan entre los 35 y 50 °C.

### **Decapado**

En el caso del decapado es importante conocer el estado de la pieza que va a ser tratada; y según éste, podremos decidir el tiempo de inmersión que ésta necesita para eliminar todas las impurezas y el óxido que pueda tener.

Se puede realizar este proceso con soluciones que contengan Acido Sulfúrico o Clorhídrico. Los componentes de estas soluciones se los presenta en las tablas XI y XII.

**TABLA XI**

**DECAPADO CON SAL BASE DE ACIDO SULFÚRICO (7)**

Ácido Sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28 ml
Inhibidor Inorgánico	2 ml
Agua	1 lt
Cátodo	Probeta
Anodo	Carbón o Plomo
Densidad de Corriente	20 Amp./dm <sup>2</sup>

Esta solución es efectiva cuando el número de piezas que están siendo tratadas es bastante grande. Es importante que éste proceso esté conectado a la celda de la misma manera que el desengrase electrolítico.

**TABLA XII**

**DECAPADO CON SAL BASE DE ACIDO CLORHÍDRICO (6)**

Acido Clorhídrico HCl	1 lt
Trióxido de Antimonio Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	20 g
Cloruro de Estaño SnCl <sub>2</sub>	1 lt

Esta solución funciona perfectamente a temperatura ambiente. Ésta es una solución que se utiliza cuando el tamaño de las probetas es pequeño y la cantidad de las mismas es mínima. En caso de que la pieza tenga corrosión superficial, y no pronunciada, podemos efectuar un decapado de 10 a 15 minutos, de esta manera eliminamos la limpieza Mecánica.

### **Neutralización**

Como ya hemos mencionado, la neutralización la realizamos según la solución en la que haya sido sumergida la probeta, por eso las soluciones que utilizamos son dos las cuales se mencionan en las tablas XIII y XIV

**TABLA XIII**

**NEUTRALIZANTE ALCALINO (1)**

Agua	1 lt
Hidróxido de Sodio	35 g

**TABLA XIV**

**NEUTRALIZANTE ACIDO (1)**

Agua	1 lt
Acido Sulfúrico $H_2SO_4$	10 ml

La solución alcalina neutraliza los efectos del ácido después del decapado, ya que, en los intersticios moleculares de las probetas se puede almacenar ácido y éste puede corroer la probeta, si no se lo neutraliza. Después del desengrase electrolítico es necesario eliminar las soluciones básicas que puedan haber quedado en la probeta por

medio de un decapado, ya que el siguiente paso sería el recubrimiento de Níquel que se realiza en baños ácidos, y éstos podrían contaminarse. Este paso ayuda a desprender los óxidos que se habrían formado en las probetas cuando se expuso al medio ambiente.

### ***Limpieza Electrolítica***

La solución que se ha utilizado para este paso se muestra en la tabla XV y es la que se obtiene en el mercado, ya que su precio es cómodo, es de fácil adquisición y es muy efectiva para nuestro propósito.

### ***Baño de Níquel***

Se adquirió para el recubrimiento de níquel, un baño comercial muy efectivo, que se utiliza en casi todas las plantas que realizan recubrimientos electrolíticos en la ciudad. Su composición se presenta en la Tabla XVI, su pH es 5 y su densidad  $\rho = 1.12$ .

### ***Baños de Latón***

Estos baños serán elegidos según la coloración final que se desee, y será seleccionado de las diferentes opciones que presentan las Normas A.S.M., las cuales se muestran en la Tabla XVII. De estas opciones se

ha escogido la que nos da una tonalidad dorada (la última), la densidad y el pH de la misma son  $\rho = 1.1$  y  $\text{pH} = 11$ .

**TABLA XV**

**SOLUCIÓN PARA LIMPIEZA ELECTROLÍTICA**

Sosa Cáustica	30 g/lt
Fosfato de Sodio	39.5 g/lt
Carbonato de Sodio	30 g/lt
Temperatura	60°C
Voltaje	4 Voltios
Densidad	7° Be

**TABLA XVI**

**COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS DE NÍQUEL**

Sulfato de Níquel	300 g/lt
Cloruro de Níquel	60 g/lt
Acido Bórico	50 g/lt

**TABLA XVII**  
**COMPOSICIÓN Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DE SOLUCIONES TÍPICAS PARA RECUBRIMIENTOS DE LATÓN (5)**

Tipo	Cianuro de Na g/lt	Cianuro de K g/lt	Cianuro de Cu g/lt	Cu g/lt	Cianuro de Zn g/lt	Zn g/lt	Carbonato de Sodio g/lt	Hidróxido de Na g/lt	Hidróxido de K g/lt	NH <sub>4</sub> %	Temperatura °C	PH	Densidad de Corriente
Latón convencional para recubrimientos rápidos	36	...	26	18	11	6	10	...	...	0.5	32	10	0 → 3
Latón convencional para recubrimientos en tanques giratorios	60	...	36	26	14	8	10	...	...	0.5	32	10	0 → 2
Latón convencional para alta velocidad de recubrimiento	60	...	36	25	14	8	10	...	...	...	70	10	0 → 7
Solución de Latón de alta alcalinidad, veloz recubriendo engranajes	120	...	90	63	7	4	...	65	...	...	82	...	3 → 16
Solución de Latón de alta alcalinidad, para propósitos generales	125	...	75	53	5	3	...	45	...	...	70	...	1 → 8
Solución de Latón de alta alcalinidad, color dorado elevado Cu	...	110	42	30	5	2.5	...	...	22	...	45	...	0.5 → 5
Solución convencional Latón da color oro alto Cu en recubrimiento	70	...	42	30	7	4	10	...	...	0.1	40	11	0 → 2

### ***Recubrimiento no Metálico***

Para poder adquirir estas soluciones debemos tener en cuenta otros parámetros como:

- Aislar la probeta del medio Ambiente
- El recubrimiento debe ser completamente transparente
- No debe ser poroso

La finalidad de estos parámetros es la de proteger el recubrimiento de manchas que se pudieran dar al manipular las probetas después de recubiertas, para esto se utilizarán barnices comerciales.

### **Construcción del Material Anódico**

Para la construcción de los ánodos se tomó en cuenta el color de recubrimiento al que se quiere llegar, por lo que la aleación ideal es 70% de Cu y 30% de Zn. La fundición se realizó con Cobre electrolítico con 99 % de pureza y Zn con 90 % de pureza, a partir de estos materiales se obtuvo dos lingotes de:

Largo: 23.5 cm

Ancho: 3.5 cm

Altura: 4.5 cm

Peso: 1 Kg

Su composición Química es:

Cu = 64.06 %

Zn = 32.37 %

Fe = 2.18 %

Cr = 0.48 %

Ni = 0.25 %

Mn = 0.24 %

Co = 0.21 %

Mo = 0.04 %

Elementos como Fe, Ni, Co, Mo, Cr son impurezas que se han obtenido al realizar el proceso de Fundición. El análisis químico de los lingotes de latón se lo realizó con el equipo que posee la refinería de Esmeraldas, este equipo es el **Metallurgist Modelo 9277**

La relación ánodo / cátodo para un perfecto funcionamiento del baño, como mínimo debe ser de 1/1, siendo imprescindible en algunos casos una superficie anódica mayor.

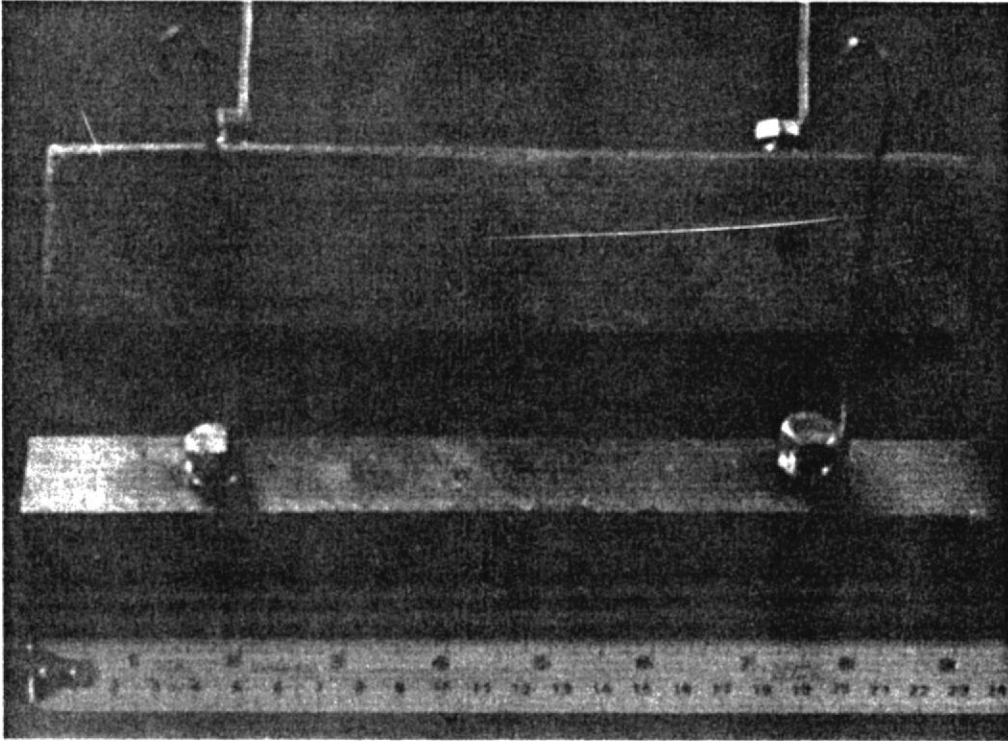


FIGURA 2.1. Ánodos de Latón

## **Cubas**

A lo largo del proceso se utilizaron diferentes cubas. En el proceso de decapado se utilizó una cuba de cristal de 4 galones de capacidad, la cual almacenaba la solución de ácido Clorhídrico.

Para la celda electrolítica se utilizaron cubas de PVC que se obtuvieron de desarmar baterías de vehículos pesados, las cuales nos dan capacidades de 3 a 5 galones. Se usaron soluciones de latón o níquel para realizar las diferentes pruebas; y se seleccionaron estas cubas por su capacidad de resistir tanto soluciones ácidas como alcalinas.

Para la limpieza electrolítica se utilizó una cuba de acero inoxidable, la cual debía conectarse al polo positivo del transformador rectificador. La capacidad de esta cuba es aproximadamente de 4 galones.

## **Barras Conductoras**

La celda tiene tres barras conductoras de Cu con 0.5 pulgadas de diámetro, las cuales están dispuestas de la siguiente manera:

- Las dos barras extremas están conectadas al polo positivo del Transformador Rectificador

- La barra central estará conectada al polo negativo del Transformador-Rectificador

A las barras de los extremos se engancharán los ánodos de Latón 70-30. Es importante mantener los contactos entre los ganchos, las barras y los ánodos limpios, para que la corriente circule libremente. La barra central que se asienta en apoyos deslizantes será la que sujete a las probetas.

Parte importante de esta celda y del proceso en general es la etapa de la limpieza electrolítica. Utilizando extensiones de cables que poseen lagartos en los extremos, conectamos la barra catódica a la cuba de acero inoxidable y la barra anódica a una barra de cobre, esta hará de soporte para las probetas. Es importante mantener aisladas las barras de la cuba, así, conseguiremos un buen resultado en la limpieza de las probetas.

### **Transformador-Rectificador**

Se utilizará el transformador-rectificador que hay en el laboratorio de metalurgia, el cual tiene una capacidad nominal de 10 Amperios y 15 Voltios, enfriado por aire ver figura 2.2.

La función del rectificador es reducir la tensión de alimentación a la tensión que requerimos, la cual puede variar de 0 a 15 voltios. La corriente que medirá el amperímetro que está instalado en el equipo variará según la carga de probetas que sumerjamos a los baños.

### **Metal Base (Sustrato).**

El proceso que efectuamos puede ser utilizado para recubrir cualquier tipo de Metal, lo único que varía es la composición de las soluciones de limpieza, especialmente las de decapado, y esto se debe a que no todos los metales reaccionan igual con ciertas soluciones.

Para realizar este trabajo se tomaron los siguientes parámetros de selección para el metal base:

- Utilización en la industria
- Bajo Costo
- Aceptable Maquinabilidad
- Superficies no muy rugosas
- Aceptable conductividad eléctrica

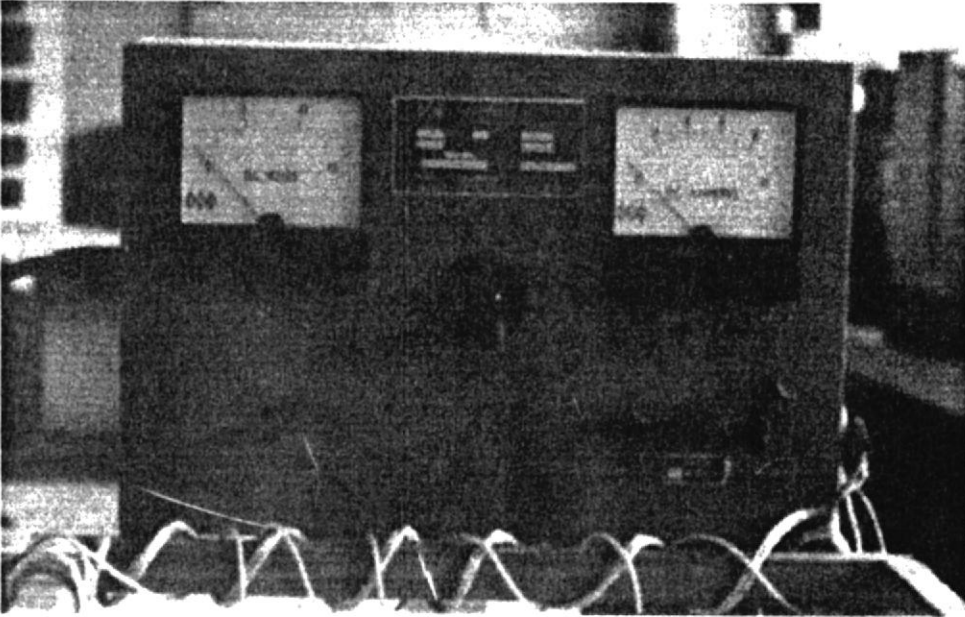


FIGURA 2.2. Transformador Rectificador 10 Amp 15 Volt.

Se probó con Platinas de Acero negro, las que se desecharon ya que su superficie era demasiado irregular y nos tomaría mucho trabajo y tiempo para lograra un pulido bastante bueno como para que el recubrimiento tenga el brillo que se está buscando. Se probó también con planchas de acero negro las que al cortarlas, tenían vértices cortantes de difícil montaje para realizar los pasos de pulido.

Para el trabajo se seleccionó una probeta redonda con las siguientes características:

#### *Dimensiones*

Diámetro ( $\emptyset$ ): 32.6 mm

Espesor ( $\epsilon$ ): 1.45 mm

#### *Composición Química*

Fe = 98.77   C = 0.16   Mn = 0.68   Si = 0.27   P = 0.017

S = 0.008   Cu = 0.01   Cr = 0.02   Ni = 0.01   Mo = 0.01

Sn < 0.001   Al = 0.0057   Zn < 0.0001   Pb = 0.003   V = 0.035

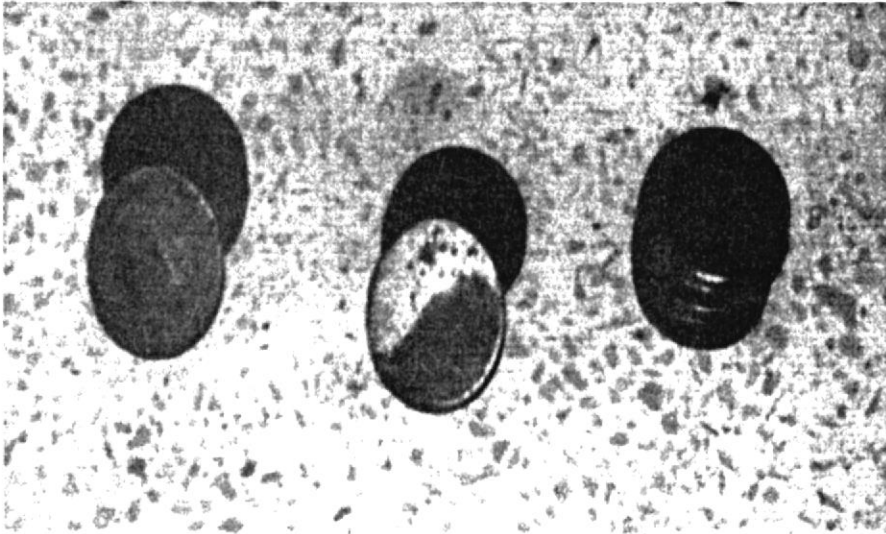


FIGURA 2.3. Probetas antes de entrar al proceso de limpieza

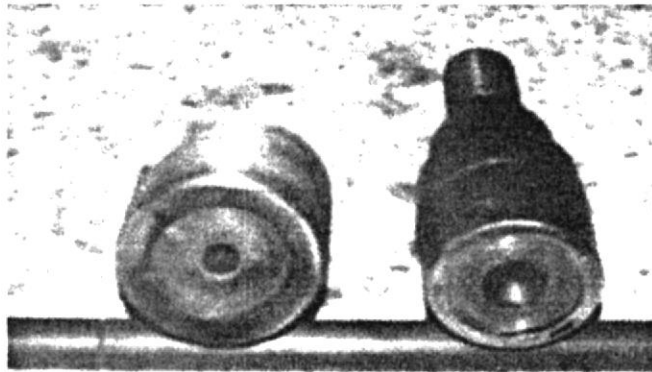


FIGURA 2.4. Porta probetas, utilizados para poder realizar la limpieza mecánica

~~Es importante recalcar que estas probetas no tuvieron costo alguno.~~ Las probetas serán colocadas de tres en tres, de esta manera, para cada prueba, tenemos aproximadamente  $0.5 \text{ dm}^2$ , con los que se podrá realizar cálculos aceptables en lo que se refiere a densidad de corriente.

## **2.2 Asignación de Probetas**

Para alcanzar el objetivo de este trabajo, (que es encontrar el proceso ideal para obtener un recubrimiento de Latón de calidad) se necesitará realizar un sinnúmero de pruebas que se las dividirá según la característica específica que se desee conocer.

### **2.2.1 Selección de las Pruebas que se van a realizar**

Para este experimento se realizarán pruebas variando:

- ❖ Voltaje (2 voltajes 3 y 4 Voltios)
- ❖ Temperatura (2 Temperaturas, Ambiente y  $40^{\circ}\text{C}$ )
- ❖ Tiempo de exposición (5 tiempos diferentes)
- ❖ Recubrimiento de latón con capas intermedias
- ❖ Recubrimientos de latón sin capas intermedias

Cada bastidor que se use tendrá 3 probetas, las cuales se utilizarán para sacar un promedio de pesos y espesores para cada tiempo de exposición que se disponga.

Como ya se ha dicho, se limitará el rango de variación de voltaje, ya que al trabajar con voltajes menores a los establecidos, los recubrimientos se hacen muy lentos y no existen beneficios notorios para que sean usados. Los voltajes mayores a 5 son perjudiciales y nos dan un recubrimiento manchado.

Las temperaturas para realizar los recubrimientos de latón no deben ser elevadas, por lo tanto se realizarán pruebas a temperatura ambiente y otra a 40°C. Otra prueba que se realizará será la de recubrir las probetas con latón sin capas intermedias, de esta manera se podrá observar cómo se comporta el recubrimiento sobre el acero y qué tipo de propiedades obtenemos. Los tiempos que se utilizarán serán los mismos usados en los recubrimientos con capa intermedia de Níquel.

### 2.2.2 Identificación de las Probetas

Para realizar cada una de las pruebas se necesitará un número determinado de probetas, las cuales serán identificadas según la codificación que se muestra en la tabla XVIII.

**TABLA XVIII**  
**IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS**

<b>Recubrimiento intermedio</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Numero de Probeta</b>
0	1	3	1	1
1	2	4	2	2
0	1	3	3	3
1	2	4	4	1
0	1	3	5	2
1	2	4	1	3

El primer dígito nos informa si la probeta tiene o no capas intermedias. Si posee capa intermedia este será el número 1 de lo contrario será el número 0.

El segundo dígito representa la temperatura de la solución al momento del recubrimiento. Si fue a temperatura ambiente, se representará con el número 1, si fue a 40°C se representará con el número 2.

El tercer dígito representa el voltaje que se usó en el proceso de recubrimiento, ya sea 3 o 4 voltios.

El cuarto dígito nos muestra el tiempo en el cual se realizó el recubrimiento y estuvo la probeta expuesta al paso de corriente. Como se utilizan 5 tiempos diferentes, los dígitos que se usarán son del 1 al 5. Por último, el quinto dígito nos da el número de probeta usada, ya que para cada prueba se usan 3 probetas

### **2.3 Descripción del Proceso Experimental**

El trabajo relacionado con el proceso de Latonado, contiene una serie de pasos que tienen que seguirse de manera estricta e inalterable. Una vez que el proceso finalice, se realizará el control de calidad, que está destinado a poner en cuestionamiento el resultado obtenido.

Los objetivos de este trabajo son explicar los efectos producidos por parámetros importantes como densidad de corriente, tiempo de inmersión y capas intermedias; y por último, llegar a una coloración dorada, la cual es muy utilizada en la industria con fines decorativos; y lo

más importante, la protección anticorrosiva. Todo el proceso se ha dividido en tres etapas las cuales se denominaron: Equipos utilizados y preparación superficial, Proceso Principal y Post Proceso

### **2.3.1 Equipos Utilizados y Preparación Superficial**

En esta sección se describirán los equipos que se usarán en todo el proceso. También se describirá todo el proceso de limpieza, y todos los pasos que tienen que realizarse para obtener una probeta pulida y lista para ser recubierta.

En la tabla XIX se enumeran los elementos que se utilizaron para armar el banco experimental y se especificará su función

**TABLA XIX**  
**ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL BANCO EXPERIMENTAL**

<b>Cant.</b>	<b>Artículo</b>	<b>Función</b>
1	Transformador-Rectificador	Provee energía
3	Barras Conductoras de Cu	Conducir Corriente
2	Extensiones	Conducción de Corriente
2	Cubas de PVC	Almacenar soluciones
1	Cubas de Acero Inoxidable	Limpieza Electrolítica
1	Cuba de Cristal Pyrex	Decapados
1	Barra de Cu de 40 cm	Suspender Bastidores
4	Recipientes plásticos	Enjuagues
2	Recipientes plásticos	Neutralización
1	Pulidora 1000 RPM	Eliminar rebabas
1	Taladro con broca de 3/16	Perforaciones en la probeta
1	Esmeril de 3450 RPM	Pulir probetas
2	Discos de Paño	Pulir probetas
30	Bastidores	Suspender Probetas
1	Horno	Secado de probetas
2	Cilindros	Montar probetas para pulir
1	Termómetro	Mediciones de temperatura
2	Resistencias	Calentar soluciones
1	Balanza Electrónica	Controlar pesos
1	Medidor de espesores no magnéticos	Controlar espesores

Los pasos necesarios para realizar la Preparación Superficial son:

- a Preparación de las probetas
- b Decapado en solución de Acido Clorhídrico
- c Enjuague
- d Neutralización
- e Pulido con polvo de Esmeril
- f Pulido con Pulimento
- g Limpieza con Franela y solventes
- h Limpieza con Maicena o Talco
- i Limpieza electrolítica
- j Enjuague

### ***Preparación de las probetas***

La preparación de las probetas debe ser minuciosa ya que del acabado que logremos dar a las mismas dependerá la calidad final del trabajo.

Comenzamos eliminando las rebabas que tiene la probeta, primero porque son cortantes y peligrosas; y segundo porque evitan que la probeta esté bien montada en el cilindro que nos ayuda a pulirlas.

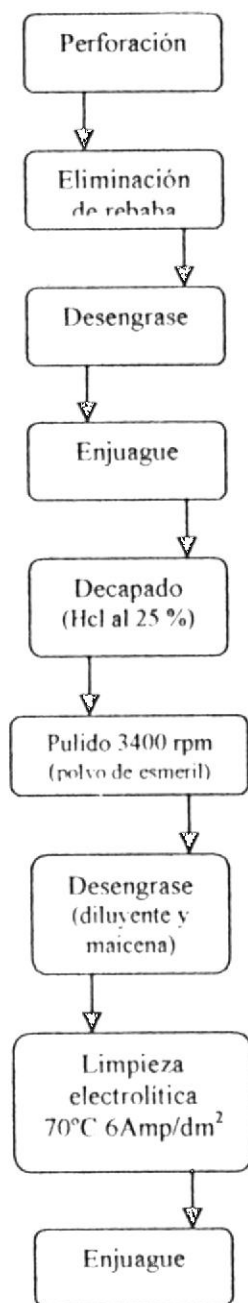


FIGURA 2.5. Diagrama morfológico de la Preparación Superficial

Por esta razón las probetas pueden salir expulsadas y esto es bastante peligroso. Este paso lo realizamos con una Amoladora De Walt de 1000 RPM la cual tiene un disco abrasivo. Luego, se realiza una perforación en las probetas, que nos servirá para poder amarrarlas con alambre de Cu y tenemos que asegurarnos que éste no tenga barniz, de esa manera habrá una buena circulación de corriente eléctrica.

### ***Decapado, Enjuague y Neutralización***

Como las probetas son de un material nuevo, la corrosión no ha dañado de manera considerable la superficie de las mismas.

Por esta razón, se las sumergirá en un baño ácido, en un decapado que durará unos 10 minutos. De esta manera se afloja la capa de óxido que está en la superficie. Lo que quede en ésta se puede retirar con un cepillo y polvo de piedra pómez. Se debe enjuagar bien las piezas y luego sumergirlas en una solución de Sosa cáustica, de esta manera neutralizamos los ácidos que podrían haber quedado en la misma.

### ***Pulido con Polvo de esmeril***

Este pulido se lo realiza en un disco de tela que está cubierto por este polvo, el cual es adherido al disco con cola de carpintero. Una vez que tenemos el disco cubierto de polvo de esmeril, lo introducimos en un horno a 100°C, de esta manera éste se secará más rápido. Una vez seco, lo colocamos en uno de los lados del esmeril, porque en el otro extremo va un disco que nos servirá para el segundo proceso de pulido. El polvo de esmeril es de grano # 220, que es el más fino que se encuentra en el mercado.

### ***Pulido con Pulimento***

El segundo disco es para aplicar un pulimento abrasivo, estos pulimentos se los adquiere según el material que se pulirá, en este caso se usó pulimento para acero R-1, (esta es la referencia con la que se lo encuentra en el mercado Guayaquileño) para dar un acabado casi sin líneas y como un espejo. Para poder pulir las probetas se acondicionaron cilindros metálicos a los cuales se los torneó, dejando un círculo de las dimensiones de la probeta, de manera que al montarlas sólo tenga contacto la superficie superior de ésta, con los discos de paño que tienen polvo de esmeril y pulimento.

*encio de  
presa que  
comercializa.*

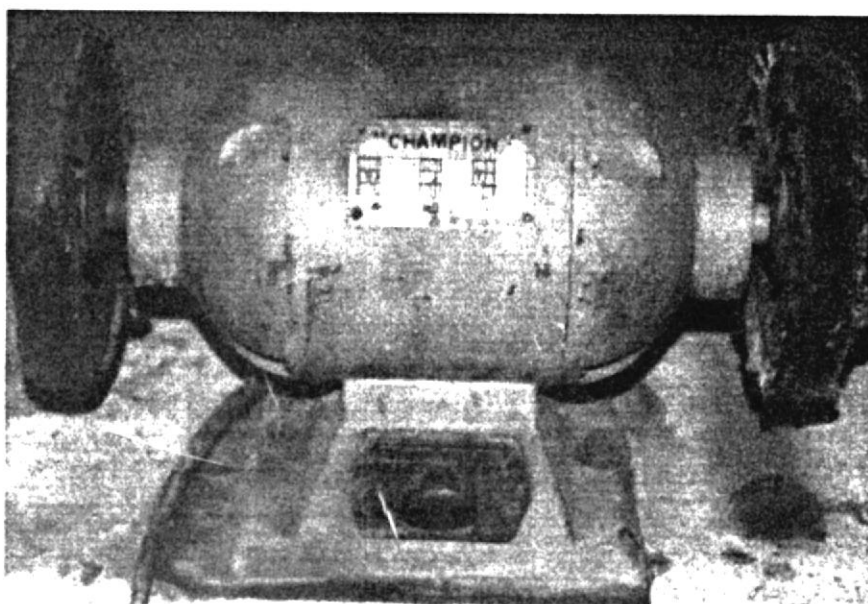


FIGURA 2.6. Esmeril con paños pulidores

***Limpieza con paño, solvente y maicena o talco***

Una vez pulidas las probetas, las desengrasamos con solventes orgánicos o inorgánicos, estos pueden ser gasolina o diluyente, aflojando de esta manera los residuos de pulimento.

Paso seguido con un trapo y maicena se elimina el solvente y los residuos de pulimento que fueron removidos anteriormente.

Ahora las piezas se amarrarán de tres en tres con alambre de Cu; y éste a su vez a un bastidor.

***Limpieza electrolítica y enjuague***

De esta manera, ya se puede comenzar a introducir las probetas en la cuba para la Limpieza Electrolítica, la cual se basa en el principio inverso al del recubrimiento electrolítico, lo que quiere decir que al estar conectado de manera opuesta, la probeta no recibe iones, mas bien libera iones. Estos iones, al desprenderse de la probeta, se llevan consigo partículas de impurezas y grasas que no hubieran sido eliminadas por los solventes orgánicos. La solución estará a una temperatura que varía entre los 70 y 80 °C. Por las probetas circulará una densidad de corriente aproximada de 6 Amp/dm<sup>2</sup> por un tiempo de 15 minutos máximo. Después de este proceso, enjuagamos las piezas y éstas están listas para el siguiente paso.

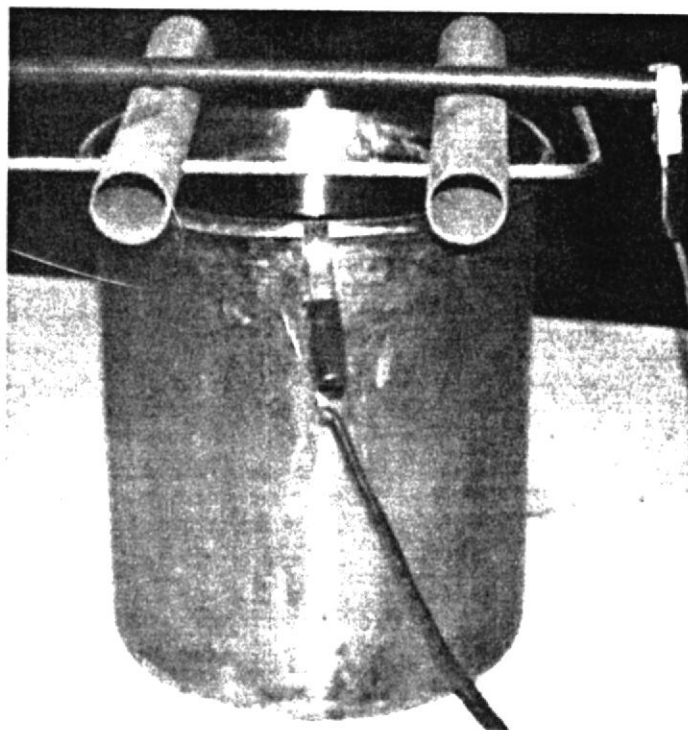


FIGURA 2.7. Cuba para Limpieza Electrolítica con sus Respectivas Conexiones y su correspondiente Barra Anódica

### 2.3.2 Procesos de Recubrimientos Electrolíticos

Este se refiere al proceso de electro-deposición. Aquí se hablará de todos los recubrimientos que se realicen, y de los pasos que tengan que ver con estos y son:

- a Neutralización En solución de Acido Sulfúrico
- b Enjuague
- c Niquelado
- d Enjuague
- e Latonado
- f Enjuague

#### ***Neutralización con Acido Sulfúrico***

Es el primer paso que se realiza, ya que el baño para niquelado es ácido, y así evitamos que se contamine con sales básicas del baño de limpieza Electrolítica, con la Neutralización la pieza queda con un pH neutro. La Neutralización se realiza en una solución de Acido Sulfúrico al 10 % a temperatura ambiente, por un periodo de 5 a 10 segundos. Luego, se enjuaga bien la probeta, de esta manera queda lista para ser recubierta.

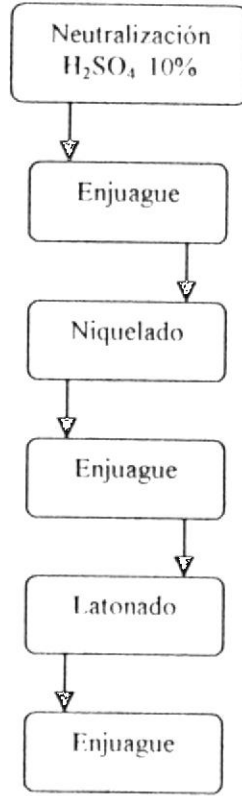


FIGURA2.8. Diagrama morfológico de los recubrimientos electrolíticos

### ***Niquelado***

Este es el primer recubrimiento que se les hace a las probetas y servirá como protección contra la corrosión y anclaje para la capa de latón que es el siguiente recubrimiento. Normalmente la solución de Níquel debe estar a una temperatura que puede variar entre 50 y 60 °C, con pH 5. Una vez listo el recubrimiento, enjuagamos las probetas y seguimos con el siguiente paso. Se realizaron algunas pruebas para determinar cual sería el espesor de níquel ideal. Los recubrimientos de níquel necesitan poca agitación, para que la solución sea homogénea en toda la cuba. La agitación la logramos usando un compresor eléctrico de ½ HP que existe en el laboratorio de metalurgia.

### ***Latonado***

La solución de latón debe estar a temperatura ambiente, máximo a 40°C, con un pH que puede variar entre 11 y 12. Una vez listos los recubrimientos enjuagamos y pasamos a la última parte del proceso.

En las soluciones de latón no se usa agitación por medio de un flujo de aire, ya que el oxígeno reacciona con el cianuro y las soluciones

se dañan. Para las soluciones cianuradas la agitación se da por el desplazamiento de la barra catódica, el se efectúa por medio de un motor eléctrico y un sistema de brazo manivela.

### **2.3.3 Sellado del Latonado**

Es la última parte del proceso; y en esta se enunciaran cada uno de los pasos realizados para mantener el brillo de la pieza y evitar su corrosión atmosférica.

- Enjuague en solución de Brastone
- Enjuague
- Secado de probetas
- Barnizado al horno

#### ***Enjuague en solución de Brastone***

Este enjuague es para eliminar los restos de cianuro que quedan en las probetas después del enjuague en agua natural. Esta solución trabaja a temperatura ambiente. Paso seguido se vuelve a enjuagar la probeta en agua natural.

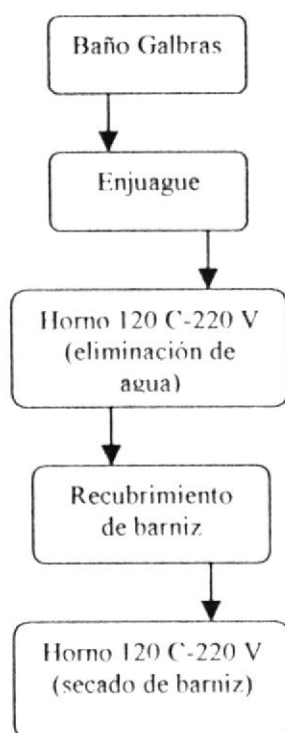


FIGURA2.9. Diagrama morfológico del sellado del latonado

***Secado de probetas***

En el horno que se encuentra a unos 120°C se secan las probetas, pero antes debemos sacudirlas para que no queden gotas, las que al evaporarse puedan manchar el recubrimiento de latón.

***Barnizado al Horno***

Una vez que las probetas están secas, las introducimos en un recipiente con barniz para metales, el cual no es muy poroso y evita el contacto de la pieza con el medio ambiente. Luego las colocamos dentro del horno que está a 120°C por un periodo de 5 a 10 minutos, las retiramos y las piezas están listas para que se les realice el control de calidad.



FIGURA 2.10. Solución de Brastone

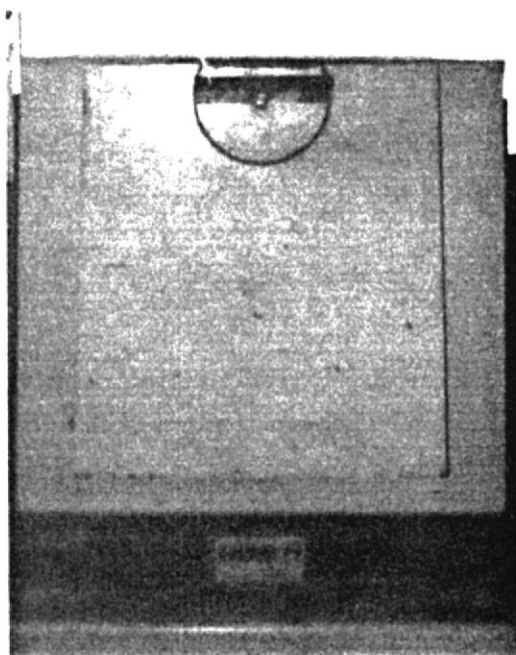


FIGURA 2.11. Horno para secado y barnizado de las probetas

## 2.4 Control de Variables del Proceso

Las variables que normalmente se controlan en este proceso son:

- Voltaje
- Densidad de Corriente
- Temperatura
- Tiempo de Exposición
- Brillo
- Peso y Espesor del Recubrimiento
- Adherencia

El Niquelado se estandarizará en este proceso. Por esta razón, voltaje, agitación, densidad de corriente etc. serán valores predeterminados para lograr un espesor deseado.

### **Voltaje**

Al variar el voltaje en el proceso electrolítico, nosotros aumentamos o disminuimos la corriente que pasa por las probetas. Si utilizamos voltajes muy bajos, el recubrimiento se demorará demasiado, por lo que se utilizan voltajes que varían entre 3 y 4 Voltios. Para los recubrimientos de Níquel se utilizan 5.4 voltios.

Para controlar el voltaje se usa un voltímetro análogo que mide de 0 a 15 voltios, el cual controla el voltaje total que nos suministra el transformador-rectificador. Para controlar el voltaje que llega a la probeta se utilizará un multímetro digital marca Fluke serie 87, con rango de medición hasta de 1000 Voltios.

### **Densidad de corriente**

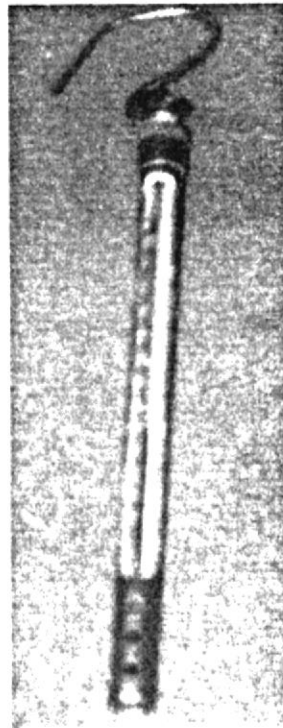
Esta es controlada por medio de la corriente que atraviesa la probeta, y a ésta se la puede medir por medio del multímetro, que al ser conectado en serie con el bastidor y las probetas, nos da la medida exacta de corriente que pasa por las mismas.

Una vez que sabemos cual es la corriente, la dividimos para el área total de las probetas y tenemos la densidad de corriente que hemos utilizado.

### **Temperatura**

Para el Niquelado, calentamos las soluciones hasta que alcanzan temperaturas que varían entre 50 y 60°C. En lo que respecta al Latonado, se puede trabajar a temperatura ambiente, la cual en Guayaquil a las 12:00 H y a la sombra varía entre los 31 y 33 °C. También se puede trabajar elevando la temperatura hasta 40 o 45°C no se recomienda mayor temperatura porque las soluciones de cianuro

podrían comenzar a evaporarse y esto es bastante peligroso, ya que son muy tóxicas. La temperatura de los baños que se calientan se controló con termómetros de mercurio los que están dentro de una jaula metálica. La temperatura de las soluciones se las elevó con resistencias de Cu de 500 watts.



**FIGURA 2.12.** Termómetro de Mercurio

### **Tiempo de Exposición**

Se probará con cinco tiempos de exposición para los niquelados, 15, 20, 25, 30 y 35 minutos, de esta manera se podrá decidir cual es el ideal según espesores, adherencia, ductilidad y brillo, ya que todas estas propiedades del Niquelado influenciarán en las características finales de la pieza terminada. Una vez que se decida el espesor que se utilizará para realizar los recubrimientos de Níquel, se estandarizará el valor del tiempo de exposición en esta solución.

Las pruebas con Latón se realizarán con intervalos de tiempo de 10, 15, 20, 25, 30, 35 segundos. A mayor tiempo de exposición la probeta comienza a opacarse. Según el libro publicado por Enrique Julve Salvadó, los tiempos de exposición pueden ser mayores a los que nosotros probaremos. Estas pruebas no serán realizadas ya que las tonalidades de estos recubrimientos son muy opacas, y no cumplen con los objetivos aquí buscados.

## **Brillo**

El brillo se lo medirá con las técnicas de reflectividad que se mencionaron en el primer capítulo. Se utilizará el que presenta la norma Alemana DIN 50 960.

## **Peso y Espesor del recubrimiento**

Para controlar los resultados obtenidos en las pruebas, se realizarán los siguientes pasos para poder determinar el peso de la capa de recubrimiento:

1. Una vez desengrasadas y decapadas las probetas, se procede a determinar el peso inicial  $W_0$ , el peso sin recubrimiento.
2. Luego de que se realice el níquelado se tomará una de las probetas y se la pesará para determinar el peso de la probeta con la capa de níquel  $W_1$ .
3. De las dos probetas que quedan, a una de ellas se la pesa y obtenemos  $W_2$  que es el peso de la probeta con los dos recubrimientos.
4. El peso del níquel depositado  $W_n$  es la diferencia de  $W_1 - W_0$  y el peso del latón depositado  $W_L$  es  $W_2 - W_n - W_0$ .

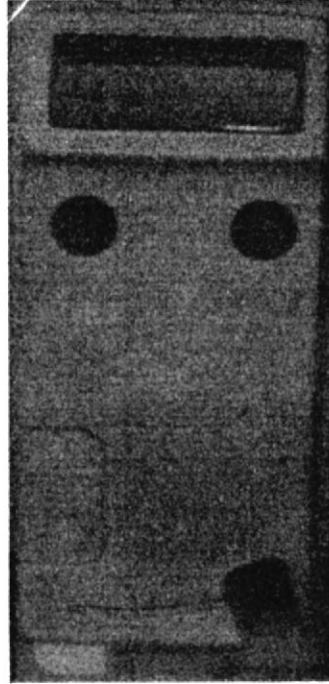
Para realizar este control se utilizó la balanza electrónica del laboratorio de instrumentación del instituto de química que se muestra en la figura 2.

Una vez que tenemos los pesos, podemos calcular el espesor de los recubrimientos utilizando el área y la densidad de los mismos. Otro método para calcular espesores es utilizar un medidor de espesores para recubrimientos no magnéticos. Se trató de medir los espesores utilizando el microscopio, pero la capa de latón es tan delgada que no se la pudo apreciar con el mismo.

### **Adherencia**

Es muy común que la falta de adherencia se presente como uno de los principales defectos en los procesos electrolíticos, ya sea como resultado de deformaciones mecánicas, desprendimiento de gases ocluidos, cambio de temperatura, falta de una limpieza adecuada, etc.

Para realizar este control, se seguirán las pruebas de doblado según lo determina el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la Norma INEN 950-1984-04: RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE ADHERENCIA.METODO DE ENSAYO.



**FIGURA 2.13** Medidor de espesores para recubrimientos metálicos no Magnéticos sobre sustrato Ferroso.

## **2.5 Resultados Obtenidos**

Los resultados obtenidos en el laboratorio se han controlado con mediciones de espesor y peso, las cuales se pueden medir antes y después del experimento. Para poder estandarizar el recubrimiento de níquel se tomarán medidas del mismo a distintos tiempos a 5.4 voltios y a una temperatura de 55°C

### **2.5.1 Control cuantitativo de Variables con respecto al Tiempo para la capa de Níquel**

En las tablas XX y XXI que se presentan a continuación tenemos los valores de espesor y peso de la capa de Níquel con condiciones de Voltaje y Temperatura controlados.

TABLA XX

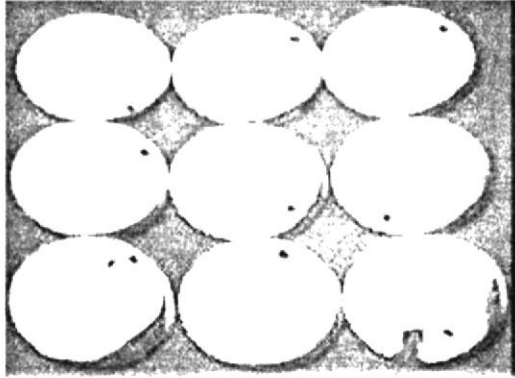
MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE NÍQUEL DEPOSITADA.

Temperatura: 55°C		Voltaje: 4Volt.	
Pruebas	Tiempo Min.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
1,1	15	0,013056	
1,2	15	0,009407	0,010745
1,3	15	0,009773	
2,1	20	0,015233	
2,2	20	0,010853	0,012103
2,3	20	0,010223	
3,1	25	0,014697	
3,2	25	0,01457	0,016563
3,3	25	0,020421	
4,1	30	0,033826	
4,2	30	0,024878	0,027688
4,3	30	0,024359	
5,1	35	0,032142	
5,2	35	0,027115	0,028859
5,3	35	0,027319	

TABLA XXI

## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE NÍQUEL DEPOSITADA

Temperatura: 55°C			Voltaje: 4 Volt.		
Pruebas	W <sub>0</sub> g	Tiempo Min	W <sub>1</sub> gr	ΔW g	Promedio g
1,1	6,83	15	6,9835	0,1535	0,126333333
1,2	6,76	15	6,8706	0,1106	
1,3	6,755	15	6,8699	0,1149	
2,1	6,685	20	6,8641	0,1791	0,1423
2,2	6,815	20	6,9426	0,1276	
2,3	6,735	20	6,8552	0,1202	
3,1	6,4512	25	6,624	0,1728	0,194733333
3,2	6,7853	25	6,9566	0,1713	
3,3	6,743	25	6,9831	0,2401	
4,1	6,725	30	7,1227	0,3977	0,325533333
4,2	6,7	30	6,9925	0,2925	
4,3	6,824	30	7,1104	0,2864	
5,1	6,805	35	7,1829	0,3779	0,3393
5,2	6,85	35	7,1688	0,3188	
5,3	6,72	35	7,0412	0,3212	



**FIGURA 2.14.** Probetas recubiertas con Níquel

## 2.5.2 Control Cuantitativo de Variables con respecto al Tiempo para la capa de Latón

En las tablas XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, se presentan datos de espesores de la capa de latón sin y con capa intermedia de níquel, en las tablas XXX, XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV, XXXVI, XXXVII están los datos de pesos de la capa de Latón sin y con capa intermedia de níquel, obtenidos a valores diferentes de voltaje y temperatura.

**TABLA XXII**

### MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (013)

Temperatura = Ambiente		Voltaje: 3 Volt	
Probeta Asignada	tiempo Seg.	$\epsilon$ Mm	$\Delta\epsilon$ mm
01311	10	0,001394	0,001421
01312	10	0,001412	
01313	10	0,001457	
01321	15	0,00161	0,001649
01322	15	0,001673	
01323	15	0,001664	
01331	20	0,001754	0,001763
01332	20	0,001808	
01333	20	0,001727	
01341	25	0,002024	0,001979
01342	25	0,001907	
01343	25	0,002006	
01351	30	0,002105	0,002093
01352	30	0,002123	
01353	30	0,002051	

**TABLA XXIII**  
**MEDICIÓN DEL ESPEORES DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA**  
**(014)**

Temperatura: Ambiente		Voltaje: 4 Volt	
Probeta Asignada	Tiempo Seg.	$\epsilon$ Mm	$\Delta\epsilon$ mm
01411	10	0,001529	
01412	10	0,001592	0,00158
01413	10	0,001619	
01421	15	0,00179	
01422	15	0,001835	0,001808
01423	15	0,001799	
01431	20	0,002042	
01432	20	0,002015	0,002015
01433	20	0,001988	
01441	25	0,00215	
01442	25	0,002051	0,00212
01443	25	0,002159	
01451	30	0,002213	
01452	30	0,002231	0,002225
01453	30	0,002231	

TABLA XXIV

MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (023)

Temperatura : 40°C		Voltaje: 3 Volt	
Probeta Asignada	Tiempo Seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
02311	10	0,001502	
02312	10	0,001484	0,001511
02313	10	0,001547	
02321	15	0,001682	
02322	15	0,001763	0,001736
02323	15	0,001763	
02331	20	0,001934	
02332	20	0,001898	0,001913
02333	20	0,001907	
02341	25	0,002105	
02342	25	0,001997	0,002066
02343	25	0,002096	
02351	30	0,002177	
02352	30	0,002186	0,00215
02353	30	0,002087	

TABLA XXV

## MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (024)

Temperatura: 40°C		Voltaje: 4 Volt.	
Probeta Asignada	Tiempo Seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
02411	10	0,001637	0,00167
02412	10	0,001646	
02413	10	0,001727	
02421	15	0,001817	0,001892
02422	15	0,001925	
02423	15	0,001934	
02431	20	0,002105	0,002078
02432	20	0,002078	
02433	20	0,002051	
02441	25	0,002276	0,002234
02442	25	0,002141	
02443	25	0,002285	
02451	30	0,002366	0,00233
02452	30	0,002357	
02453	30	0,002267	

TABLA XXVI

## MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (113)

Temperatura: Ambiente		Voltaje: 3 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo Ni Min	Tiempo latón Seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
11311		10	0,00206	
11312		10	0,002159	0,0021097
11313	25			
11321		15	0,002285	
11322		15	0,002231	0,0022582
11323	25			
11331		20	0,002357	
11332		20	0,002393	0,0023751
11333	25			
11341		25	0,002429	
11342		25	0,002411	0,0024201
11343	25			
11351		30	0,002456	
11352		30	0,00242	0,0024381
11353	25			

TABLA XXVII

MEDICION DEI ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (114)

Temperatura: Ambiente		Voltaje: 4 Volt		
Probeta Asignada	tiempo Ni min	tiempo latón seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
11411	25	10	0,002168	0,002209
11412		10	0,002249	
11413				
11421	25	15	0,002393	0,002362
11422		15	0,00233	
11423				
11431	25	20	0,002447	0,002474
11432		20	0,002501	
11433				
11441	25	25	0,002528	0,002524
11442		25	0,002519	
11443				
11451	25	30	0,002546	0,002533
11452		30	0,002519	
11453				

TABLA XXVIII

MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (123)

Temperatura: Ambiente		Voltaje: 3 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo Ni min	Tiempo latón seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
12311		10	0,002123	
12312		10	0,002204	0,002164
12313	25			
12321		15	0,00233	
12322		15	0,002294	0,002312
12323	25			
12331		20	0,002393	
12332		20	0,002447	0,00242
12333	25			
12341		25	0,002483	
12342		25	0,002447	0,002465
12343	25			
12351		30	0,002501	
12352		30	0,002456	0,002479
12353	25			

TABLA XXIX

## MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (124)

Temperatura: Ambiente		Voltaje: 4 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo Ni min	Tiempo latón Seg.	$\epsilon$ mm	$\Delta\epsilon$ mm
12411		10	0,0022941	
12412		10	0,0023571	0,0023256
12413	25			
12421		15	0,0025011	
12422		15	0,0024561	0,0024786
12423	25			
12431		20	0,0025461	
12432		20	0,002618	0,002582
12433	25			
12441		25	0,002645	
12442		25	0,002618	0,0026315
12443	25			
12451		30	0,002654	
12452		30	0,002618	0,002636
12453	25			

TABLA XXX

## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (013)

Temperatura: Ambiente			Voltaje: 3 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> g	ΔW g	Promedio g
01311	10	6,9611	6,977	0,016	0,0158
01312	10	6,7328	6,749	0,016	
01313	10	6,625	6,641	0,016	
01321	15	6,685	6,703	0,018	0,01833
01322	15	6,735	6,754	0,019	
01323	15	6,7853	6,804	0,018	
01331	20	6,805	6,825	0,019	0,0196
01332	20	6,743	6,763	0,02	
01333	20	6,589	6,608	0,019	
01341	25	6,72	6,743	0,023	0,022
01342	25	6,85	6,871	0,021	
01343	25	6,792	6,814	0,022	
01351	30	6,433	6,456	0,023	0,02327
01352	30	6,586	6,61	0,024	
01353	30	6,57	6,593	0,023	

TABLA XXXI

MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (014)

Temperatura: Ambiente			Voltaje: 4 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> g	ΔW g	Promedio g
01411	10	6,961	6,978	0,017	0,01757
01412	10	6,755	6,773	0,0177	
01413	10	7,001	7,019	0,018	
01421	15	6,86	6,88	0,0199	0,0201
01422	15	6,795	6,816	0,0204	
01423	15	6,777	6,797	0,02	
01431	20	6,679	6,701	0,0224	0,0221
01432	20	6,667	6,689	0,0221	
01433	20	6,595	6,617	0,0218	
01441	25	6,984	7,008	0,0239	0,02357
01442	25	6,61	6,633	0,0228	
01443	25	6,785	6,809	0,024	
01451	30	6,805	6,83	0,0246	0,02473
01452	30	6,788	6,813	0,0248	
01453	30	6,723	6,748	0,0248	

TABLA XXXII

MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (023)

Temperatura: 40 °C			Voltaje: 3 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> g	ΔW g	Promedio g
02311	10	6,76	6,7768	0,017	0,0168
02312	10	6,871	6,8871	0,016	
02313	10	6,624	6,6412	0,017	
02321	15	6,685	6,7037	0,019	0,0193
02322	15	6,87	6,8899	0,02	
02323	15	6,733	6,7524	0,02	
02331	20	6,431	6,4525	0,021	0,021267
02332	20	6,61	6,6315	0,021	
02333	20	6,732	6,7534	0,021	
02341	25	6,985	7,0087	0,023	0,022967
02342	25	6,753	6,775	0,022	
02343	25	6,725	6,7485	0,023	
02351	30	6,552	6,5762	0,024	0,0239
02352	30	6,86	6,884	0,024	
02353	30	6,589	6,6122	0,023	

TABLA XXXIII

MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (024)

Temperatura: 40 °C			Voltaje: 4 Volt.		
Probeta Asignada	tiempo seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> g	ΔW g	Promedio g
02411	10	6,853	6,871	0,0182	0,018567
02412	10	6,732	6,751	0,0183	
02413	10	6,561	6,58	0,0192	
02421	15	6,444	6,464	0,0202	0,021033
02422	15	6,532	6,553	0,0214	
02423	15	6,551	6,573	0,0215	
02431	20	6,761	6,784	0,0234	0,0231
02432	20	6,777	6,8	0,0231	
02433	20	6,411	6,434	0,0228	
02441	25	6,434	6,459	0,0253	0,024833
02442	25	6,827	6,851	0,0238	
02443	25	6,735	6,761	0,0254	
02451	30	6,442	6,469	0,0263	0,0259
02452	30	6,572	6,598	0,0262	
02453	30	6,389	6,414	0,0252	

TABLA XXXIV

## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (113)

Temperatura: Ambiente			Voltaje: 3 Volt.					
Probeta Asignada	tiempo Ni min	tiempo latón seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> g	W <sub>2</sub> g	ΔW <sub>1</sub> g	ΔW <sub>2</sub> g	Promedio g
11311		10	6,397		6,66		0,023	
11312		10	6,647		6,911		0,024	0,02345
11313	25		6,472	6,712		0,24		
11321		15	6,548		6,813		0,025	
11322		15	6,572		6,837		0,025	0,0251
11323	25		6,753	6,993		0,24		
11331		20	6,543		6,809		0,026	
11332		20	6,589		6,856		0,027	0,0264
11333	25		6,515	6,755		0,24		
11341		25	6,423		6,69		0,027	
11342		25	6,487		6,754		0,027	0,0269
11343	25		6,444	6,684		0,24		
11351		30	6,651		6,919		0,027	
11352		30	6,769		7,036		0,027	0,0271
11353	25		6,466	6,706		0,24		
11353	25		6,466	6,706		0,24		

TABLA XXXV

## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (114)

Temperatura: Ambiente			Voltaje: 4 Volt.					
Probeta Asignada	tiempo Ni min	tiempo latón seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> G	W <sub>2</sub> g	ΔW <sub>1</sub> g	ΔW <sub>2</sub> g	Promedio g
11411		10	6,7991		7,064		0,024	
11412		10	6,555		6,821		0,025	0,02475
11413	25		6,6731	6,9134		0,24		
11421		15	6,7212		6,988		0,027	
11422		15	6,7544		7,021		0,026	0,02645
11423	25		6,6321	6,8723		0,24		
11431		20	6,6751		6,943		0,027	
11432		20	6,6542		6,922		0,028	0,0277
11433	25		6,7531	6,9932		0,24		
11441		25	6,8121		7,081		0,028	
11442		25	6,6542		6,923		0,028	0,02825
11443	25		6,6791	6,9193		0,24		
11451		30	6,7001		6,969		0,028	
11452		30	6,6541		6,923		0,028	0,02835
11453	25		6,7513	6,9915		0,24		

TABLA XXXVI

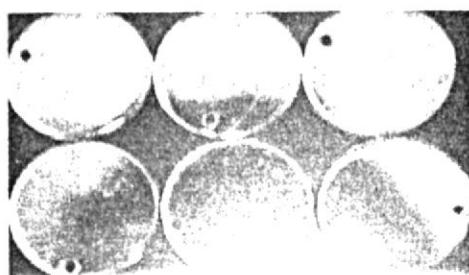
## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (123)

Temperatura: 40°C				Voltaje: 3Volt.				
Probeta Asignada	tiempo Ni min	tiempo latón seg.	W <sub>0</sub> g	W <sub>1</sub> G	W <sub>2</sub> g	ΔW <sub>1</sub> g	ΔW <sub>2</sub> g	Promedio g
12311		10	6,6471		6,9108		0,0236	
12312		10	6,6555		6,9201		0,0245	0,02405
12313	25		6,7777	7,0178		0,24		
12321		15	6,421		6,6871		0,0259	
12322		15	6,6512		6,9169		0,0255	0,0257
12323	25		6,632	6,8722		0,24		
12331		20	6,7008		6,9676		0,0266	
12332		20	6,7003		6,9677		0,0272	0,0269
12333	25		6,8101	7,0503		0,24		
12341		25	6,5423		6,81		0,0276	
12342		25	6,6666		6,9339		0,0272	0,0274
12343	25		6,4332	6,6733		0,24		
12351		30	6,5325		6,8006		0,0278	
12352		30	6,6732		6,9408		0,0273	0,02755
12353	25		6,7536	6,9939		0,24		

TABLA XXXVII

## MEDICIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN DEPOSITADA (124)

Temperatura: 40°C					Voltaje: 4 Volt.			
Probeta	tiempo Ni	tiempo latón	W0	W1	W2	$\Delta W_1$	$\Delta W_2$	Promedio
Asignada	min	seg.	g	g	g	g	g	g
12411		10	7,0414		7,307		0,0255	
12412		10	6,6276		6,894		0,0262	0,02585
12413	25		6,3978	6,638		0,24		
12421		15	6,7881		7,056		0,0278	
12422		15	6,5491		6,817		0,0273	0,02755
12423	25		6,6002	6,84		0,24		
12431		20	6,5499		6,818		0,0283	
12432		20	6,7457		7,015		0,0291	0,0287
12433	25		6,771	7,011		0,24		
12441		25	6,4772		6,747		0,0294	
12442		25	6,5935		6,863		0,0291	0,02925
12443	25		6,6696	6,91		0,24		
12451		30	6,4556		6,725		0,0295	
12452		30	6,9631		7,232		0,0291	0,0293
12453	25		6,7433	6,984		0,24		



**FIGURA 2.15.** Probetas recubiertas con Latón

**2.5.3 Control Cualitativo de Brillo y Adherencia para la capa de Níquel****TABLA XXXVIII****DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE BRILLO Y ADHERENCIA (Ni)**

<b>Recubrimientos de Níquel</b>			
	<b>tiempo Min.</b>	<b>Brillo</b>	<b>Adherencia n</b>
1.3	15	3	14
2.3	20	4	12
3.3	25	5	10
4.3	30	5	9
5.3	35	5	8

**2.5.4 Control Cualitativo de Brillo y Adherencia según las variaciones de Voltaje y Temperatura, para la capa de Latón**

**TABLA XXXIX**

**DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE BRILLO Y ADHERENCIA**

Recubrimientos sin Capa intermedia				Recubrimientos con capa intermedia (Ni)			
	tiempo seg.	Brillo	Adherencia n		tiempo seg.	Brillo	Adherencia n
0131	10	1	15	1131	10	2	10
0132	15	2	15	1132	15	3	10
0133	20	3	15	1133	20	4	10
0134	25	2	15	1134	25	4	10
0135	30	0	15	1135	30	2	10
0141	10	2	15	1141	10	3	10
0142	15	3	15	1142	15	3	10
0143	20	4	15	1143	20	5	10
0144	25	2	15	1144	25	4	10
0145	30	0	15	1145	30	2	10
0231	10	1	15	1231	10	3	10
0232	15	3	15	1232	15	4	10
0233	20	4	15	1233	20	5	10
0234	25	4	15	1234	25	4	10
0235	30	1	15	1235	30	3	9
0241	10	2	15	1241	10	4	10
0242	15	3	15	1242	15	4	10
0243	20	4	15	1243	20	5	10
0244	25	2	15	1244	25	4	10
0245	30	0	14	1245	30	3	10

# CAPÍTULO 3

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Peso de la Capa Electro-depositada

En la figura 3.1. encontramos el comportamiento del peso de la capa de Níquel electro-depositada, los datos se obtuvieron bajo condiciones controladas de voltaje, temperatura, acidez, densidad etc.

Los valores en los que se establecieron estas variables son:  $V = 5.4$  Volt.,  $T = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 5$ ,  $\rho = 1.12$ .

La corriente no varía y al ser medida para cada prueba nos dio un valor  $i = 0.525$  Amp. Como cada prueba contiene 3 probetas esta sería la corriente que disipan las tres juntas por lo tanto la densidad de Corriente para cada probeta Niquelada es  $D = 1.3$  Amp./dm<sup>2</sup>.

El comportamiento del peso de la capa de Níquel electro-depositada con respecto al tiempo, varía en forma polinomial creciente hasta el minuto 30 de exposición. De este momento en adelante, el incremento del peso es mínimo y el recubrimiento comienza a ponerse opaco y áspero. Se puede ver fácilmente que el incremento del peso es mayor entre los minutos 25 y 30.

El comportamiento del peso con respecto al tiempo de la capa de latón sin capa intermedia se puede observar en las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5. Para cada una de estas curvas varió el voltaje o la temperatura, ya que las pruebas se realizaron para 3 y 4 voltios y temperatura ambiente o 40° C, estas pruebas fueron realizadas en probetas tanto sin capa intermedia como con capa intermedia de Níquel.

Podemos ver que el comportamiento de las curvas en las cuales no se ha utilizado probetas con recubrimiento de níquel, es de tipo Polinomial creciente, y el incremento que tiene el peso de la capa de latón es constante. Los datos de la primera curva de este grupo, fueron tomados a temperatura ambiente y 3 voltios. Esta presenta una pequeña caída en el incremento del peso en la prueba tomada a 20 segundos; ésto se debe a que no hubo un buen contacto entre las probetas y el bastidor o entre el bastidor y las barras conductoras.

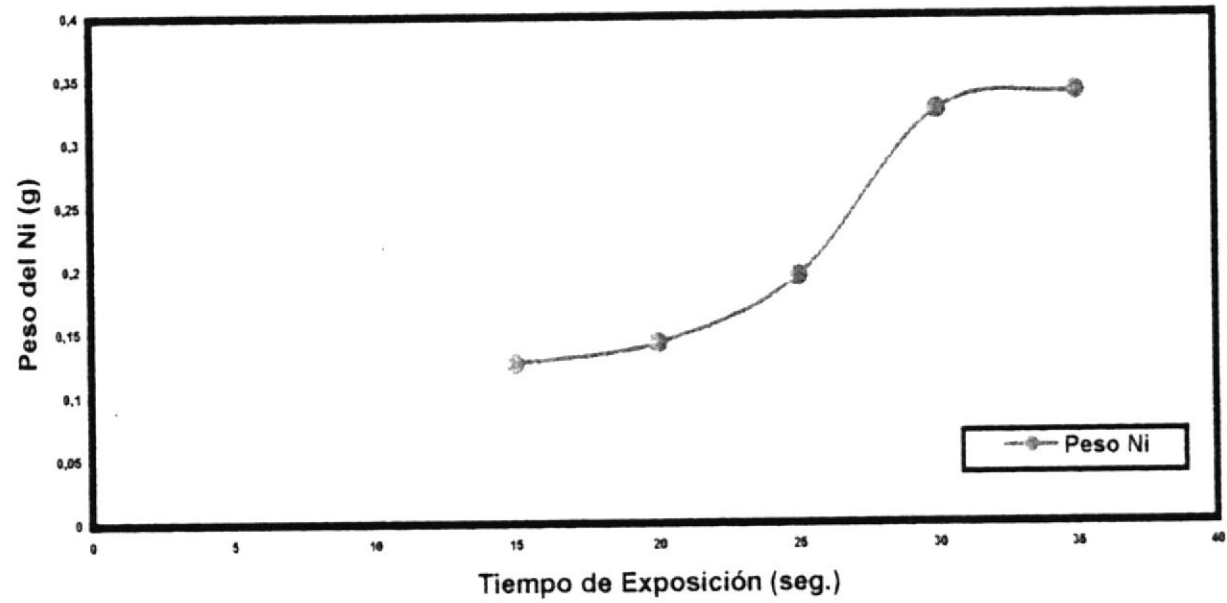


FIGURA 3.1. PESO DE LA CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL  
TEMPERATURA = 60°C VOLTAJE = 5,4 Volt

En las curvas de las figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, que muestran el comportamiento del peso de la capa de latón con respecto al tiempo, en las que se usaron probetas que estuvieran recubiertas por una capa de Níquel, podemos observar que este comportamiento es Polinomial. Su mayor incremento de peso es entre los puntos 10 y 20 segundos, ya que desde este momento el incremento del peso comienza a decaer hasta casi estabilizarse.

La corriente medida en las pruebas realizadas a 4 voltios fue  $i = 0.346$  Amp, por lo que la densidad de corriente  $D = 0.865 \text{ Amp./dm}^2$ , en las pruebas realizadas a 3 voltios la corriente tubo un valor  $i = 0.251 \text{ Amp.}$  y la densidad de corriente fue  $D = 0.627 \text{ Amp./dm}^2$

En las gráficas 3.10, 3.11 y 3.12 se presentan las curvas de los comportamientos de pesos en conjunto.

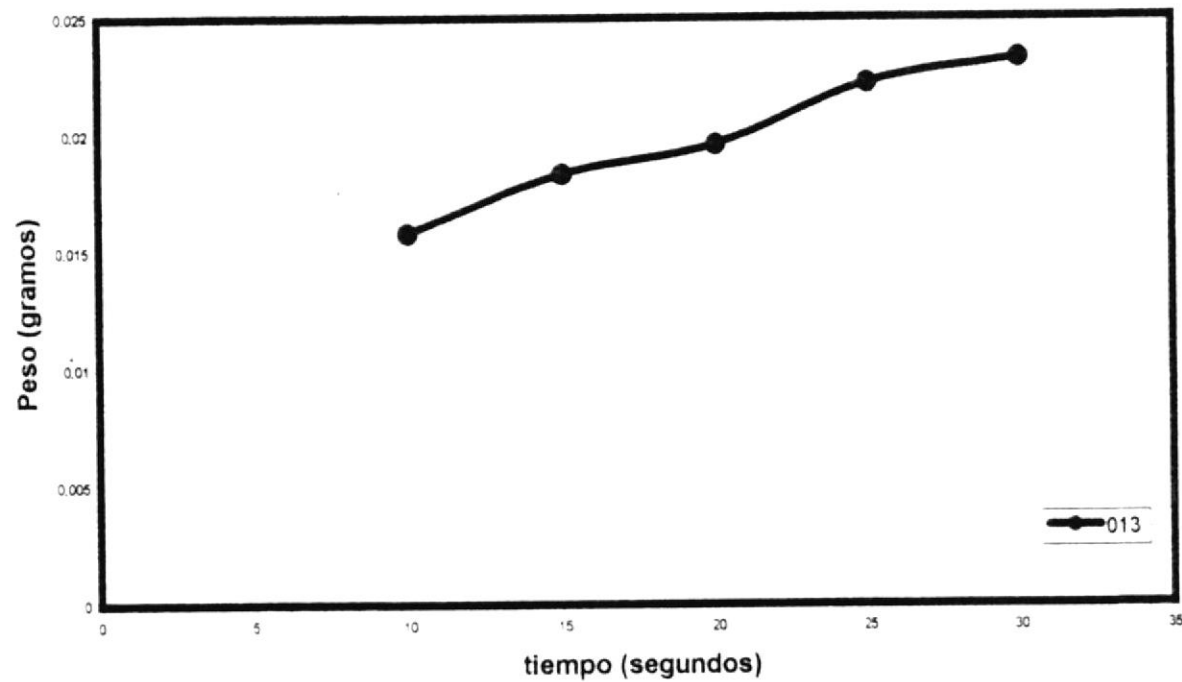


FIGURA 3.2.MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA A TEMPERATURA AMBIENTE Y VOLTAJE = 3 Volt.

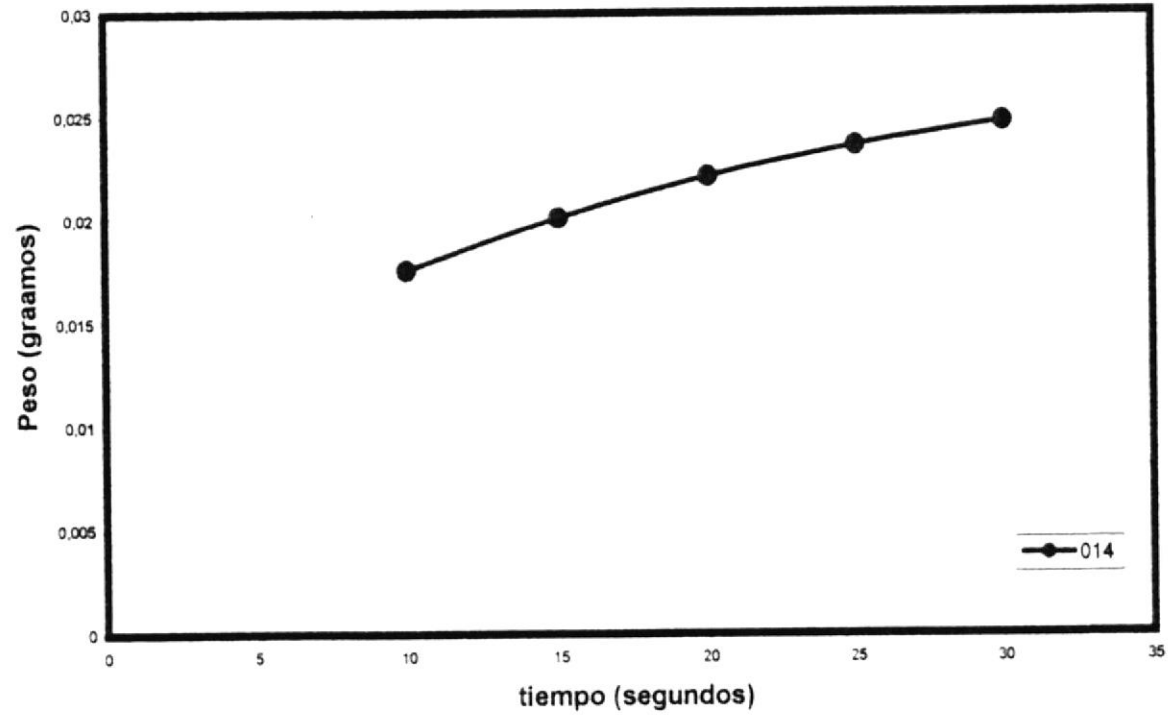


FIGURA 3.3. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA A TEMPERATURA AMBIENTE Y VOLTAJE = 4Volt.

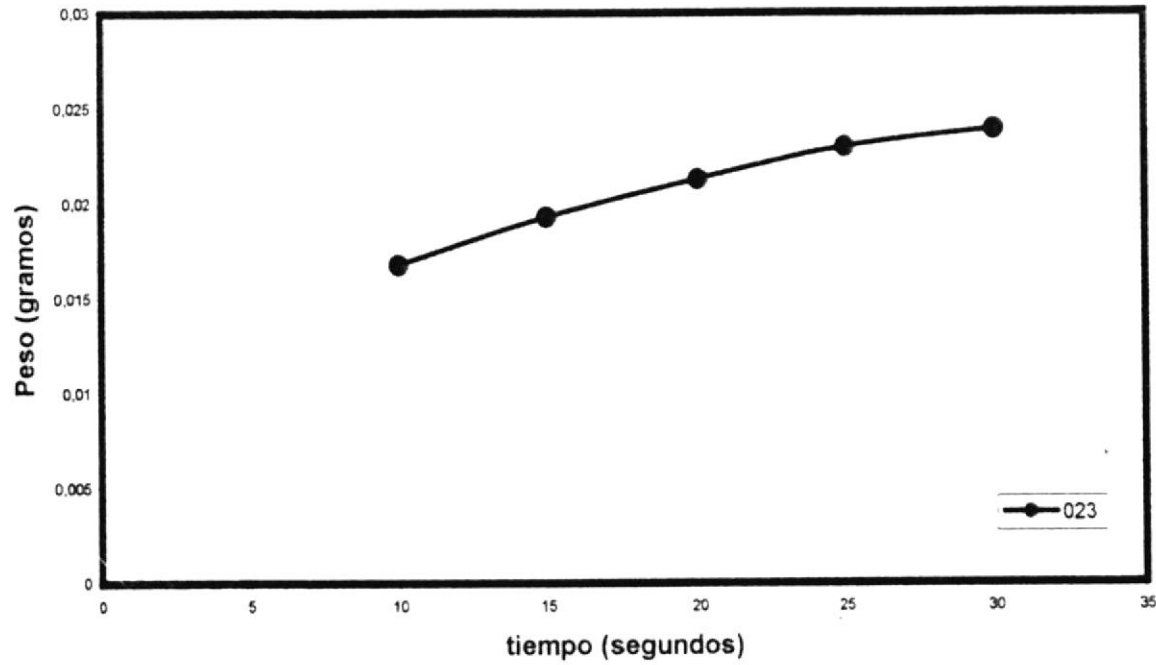


FIGURA 3.4. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA A TEMPERATURA = 40 °C Y VOLTAJE = 3 Volt.

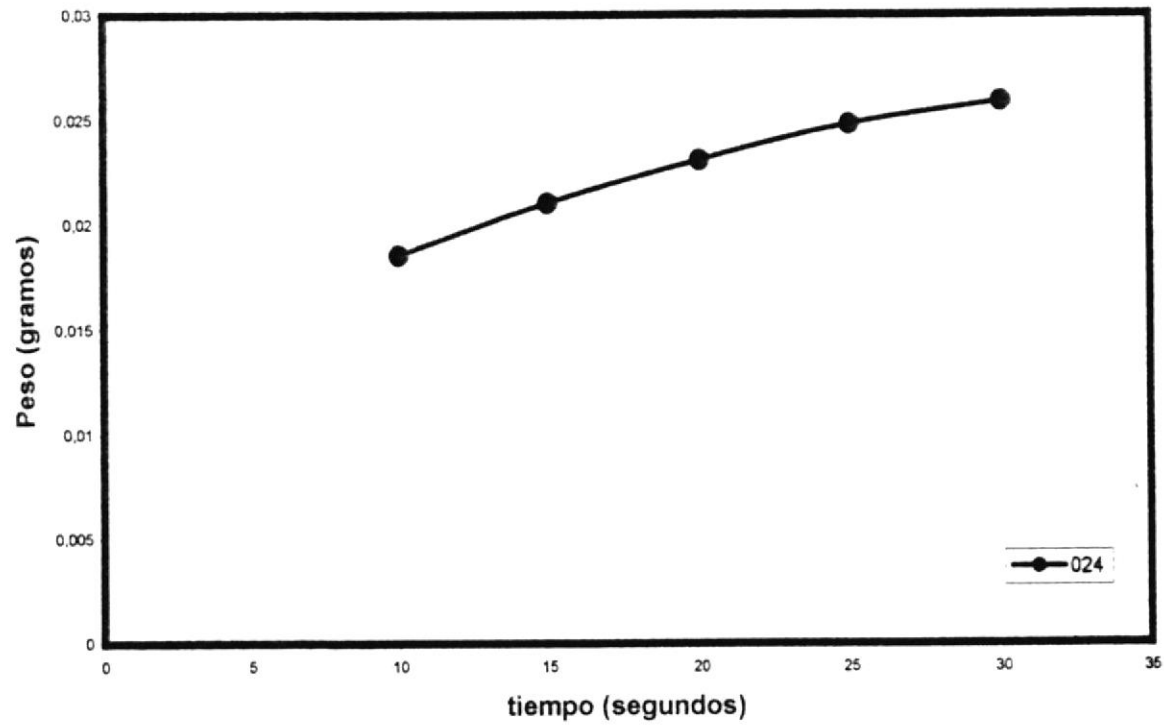


FIGURA 3.5. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA A TEMPERATURA = 40 °C Y VOLTAJE = 4 Volt.

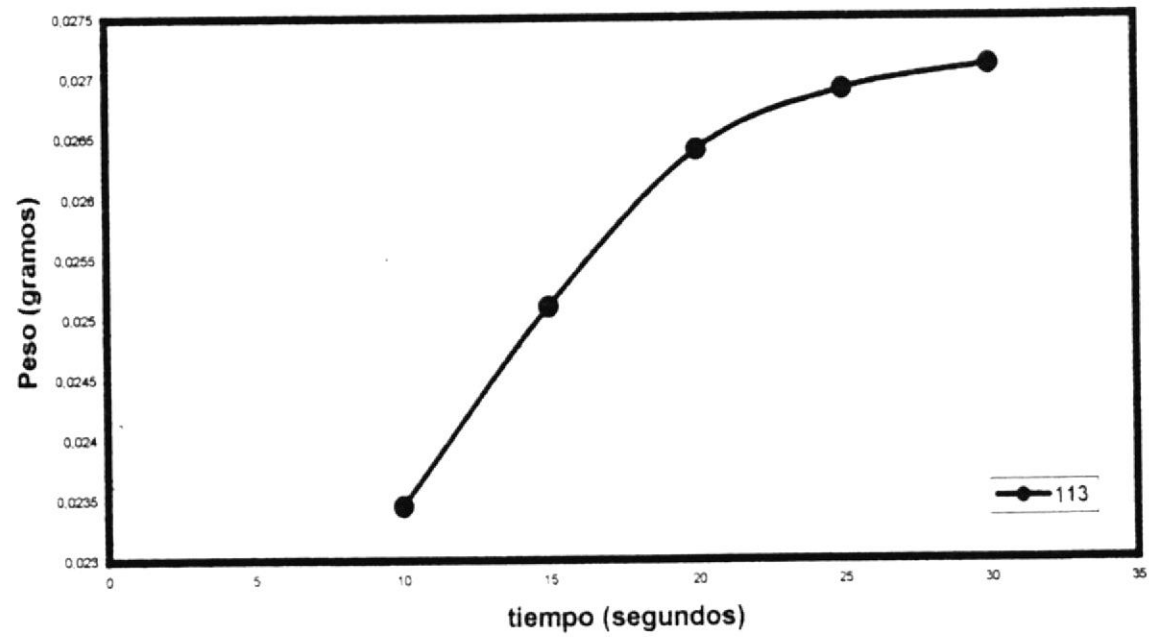


FIGURA 3.6. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL A TEMPERATURA AMBIENTE Y VOLTAJE=3 Volt.

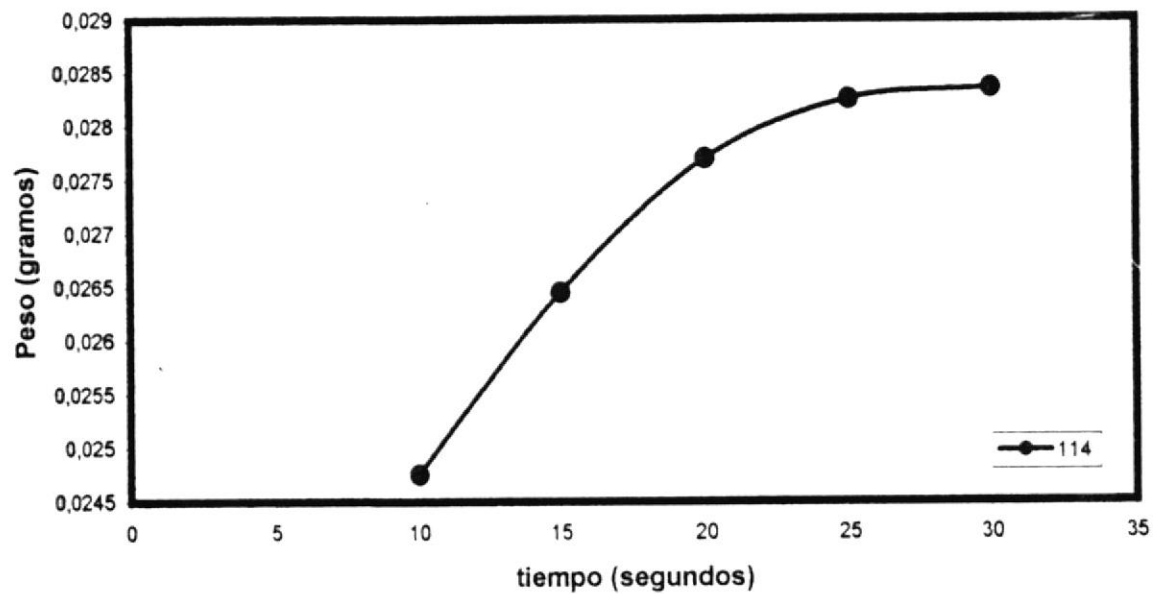


FIGURA 3.7. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL A TEMPERATURA AMBIENTE Y VOLTAJE=4 Volt.

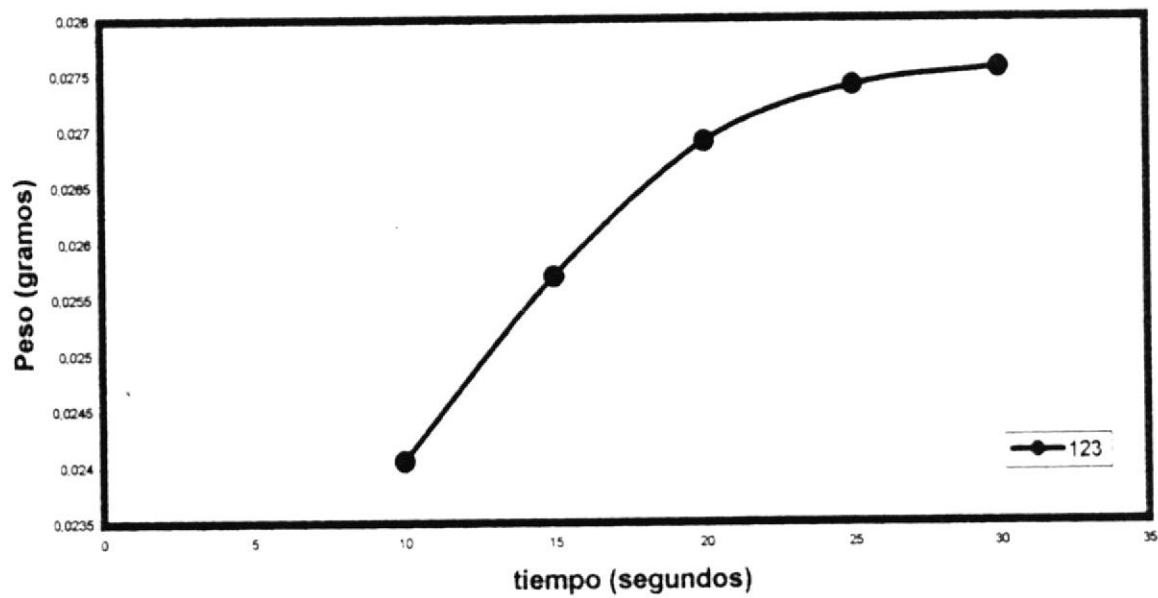


FIGURA 3.8. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL A TEMPERATURA 40°C Y VOLTAJE=3 Volt.

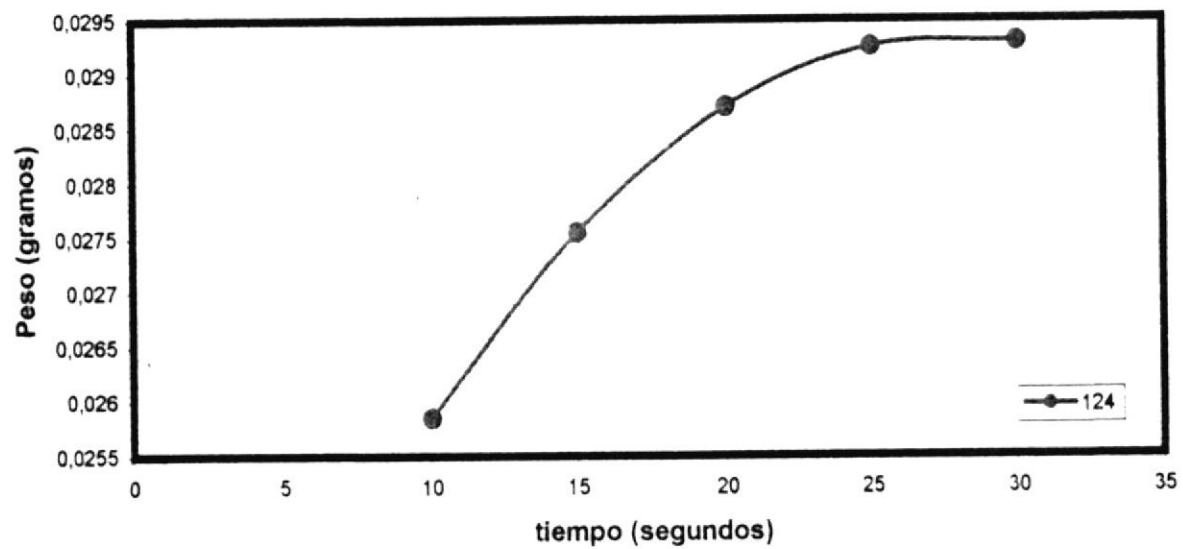


FIGURA 3.9. MEDICIÓN DE PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL A TEMPERATURA 40°C Y VOLTAJE= 4 v

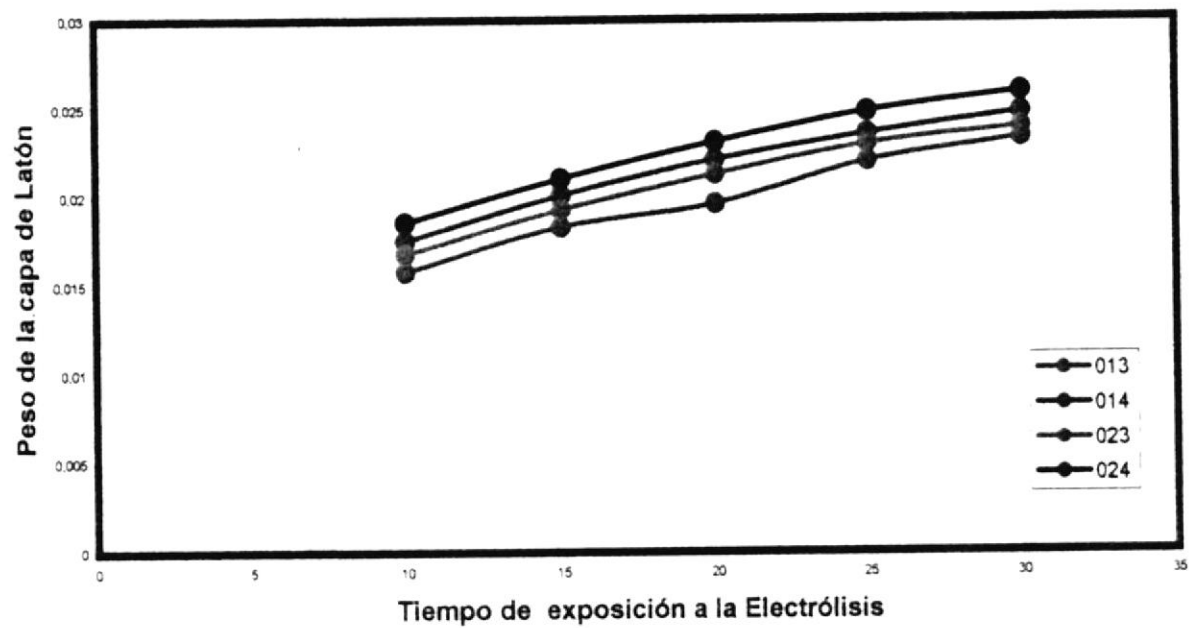


FIGURA 3.10. COMPARACIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA

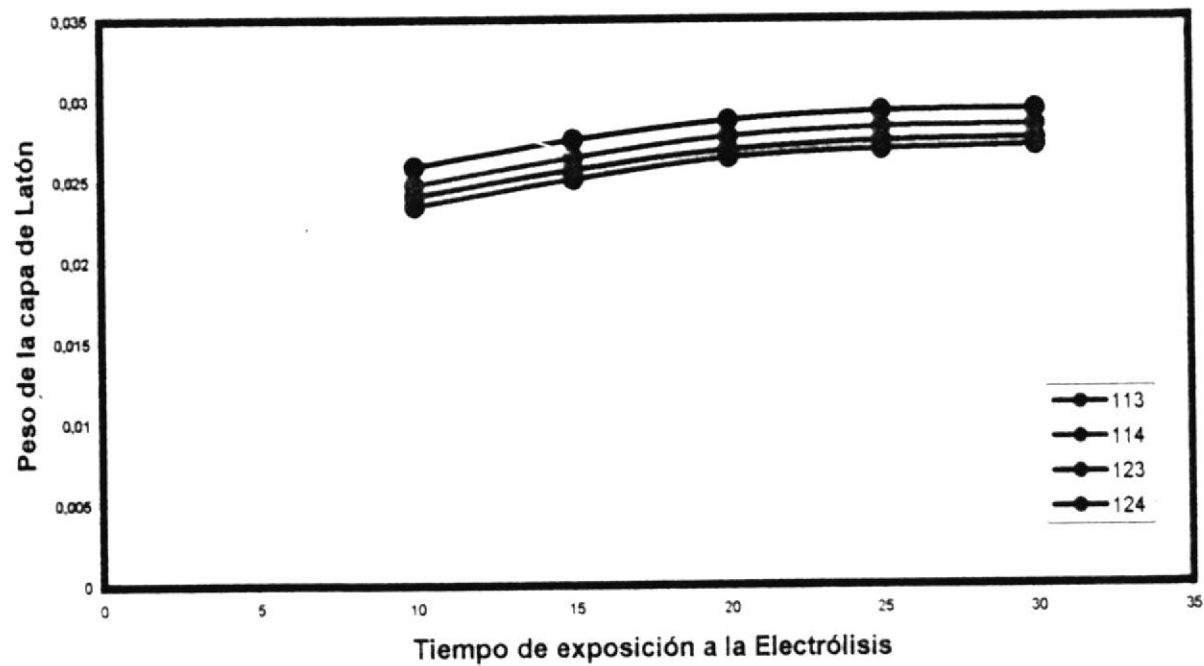


FIGURA 3.11. COMPARACIÓN DEL PESO DE LA CAPA DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL

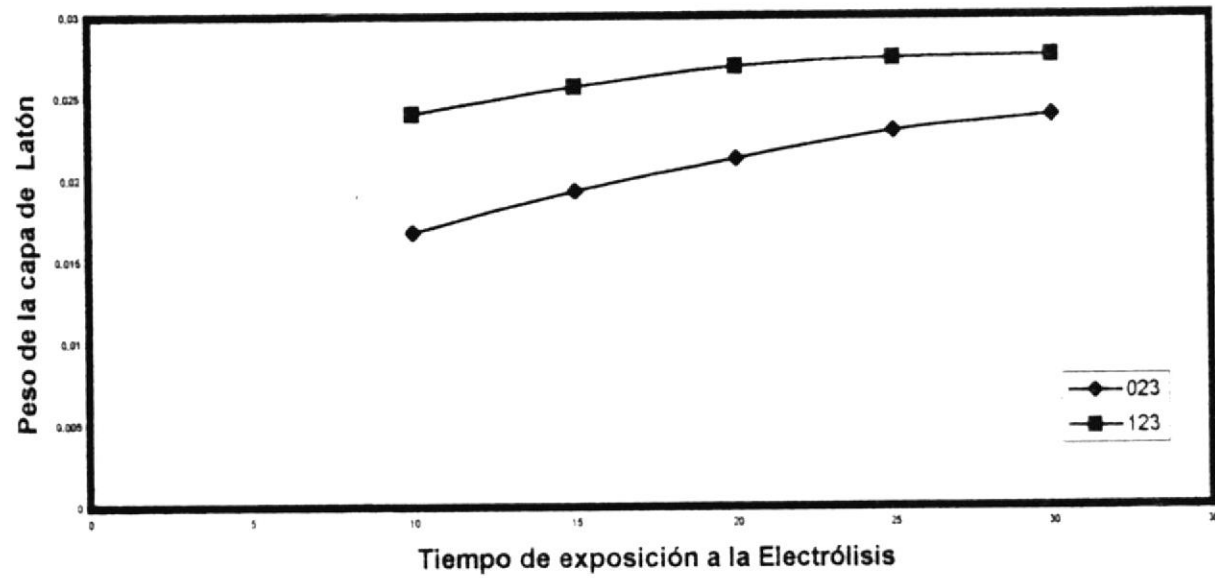


FIGURA 3.12. COMPARACIÓN DEL PESO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN, A IGUAL TEMPERATURA Y VOLTAJE, CON Y SIN CAPA INTERMEDIA.

### 3.2 Espesor del Recubrimiento

El comportamiento del espesor con respecto al tiempo de los recubrimientos electrolíticos es semejante al comportamiento del peso de los mismos. Por esta razón en esta sección no se analizarán las curvas de las pruebas individualmente (figuras 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20) ya que sería lo mismo de lo que ya se ha hablado.

En las figuras 3.21 y 3.22 se analizarán las curvas de espesores en conjunto, para poder observar la diferencia que existe entre las 4 curvas.

Podemos observar que la influencia que tiene el voltaje sobre el espesor de la capa de latón es mucho más pronunciada que la que tiene la temperatura sobre el mismo. En la figura 3.21 analizamos las pruebas realizadas en probetas sin capa de níquel se puede observar que la diferencia entre los espesores de las curvas 013 - 014 es mayor a la diferencia entre las curvas 013 - 023. La diferencia entre las curvas 013 - 024 es la mayor de todas ya que es el producto del incremento de la temperatura y el voltaje.

En la figura 3.22 las curvas de los recubrimientos con capa intermedia actúan de manera similar, pero se diferencian por el mayor espesor que

alcanza la capa de latón cuando posee una capa intermedia de un metal más noble que el sustrato, esta diferencia la podemos ver en la figura 3.23, donde se comparan las curvas 013 y 113.

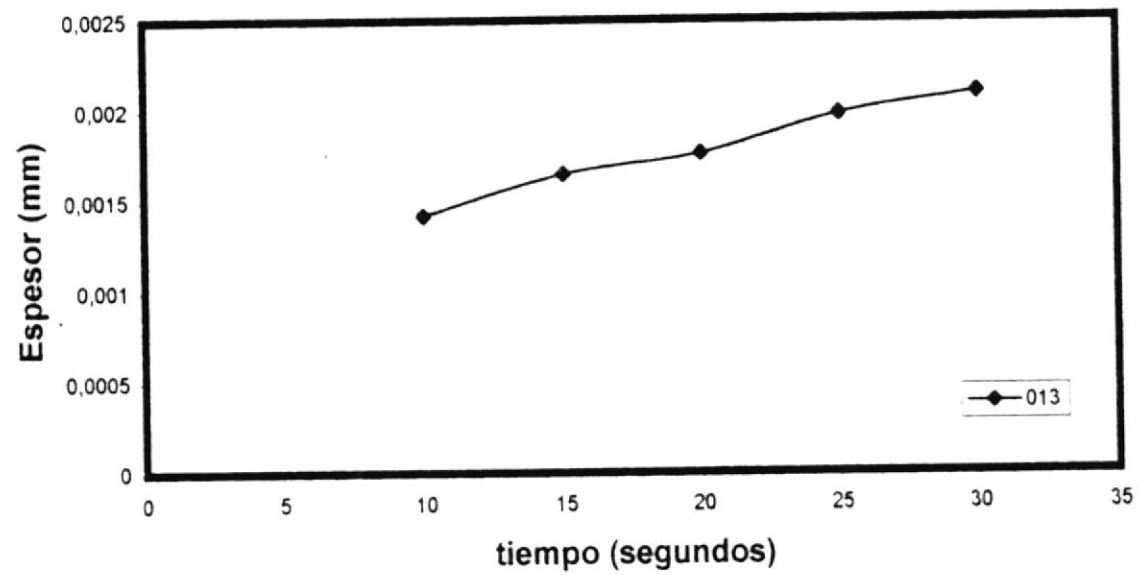


FIGURA 3.13. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA TEMPERATURA AMBIENTE VOLTAJE=3 Volt.

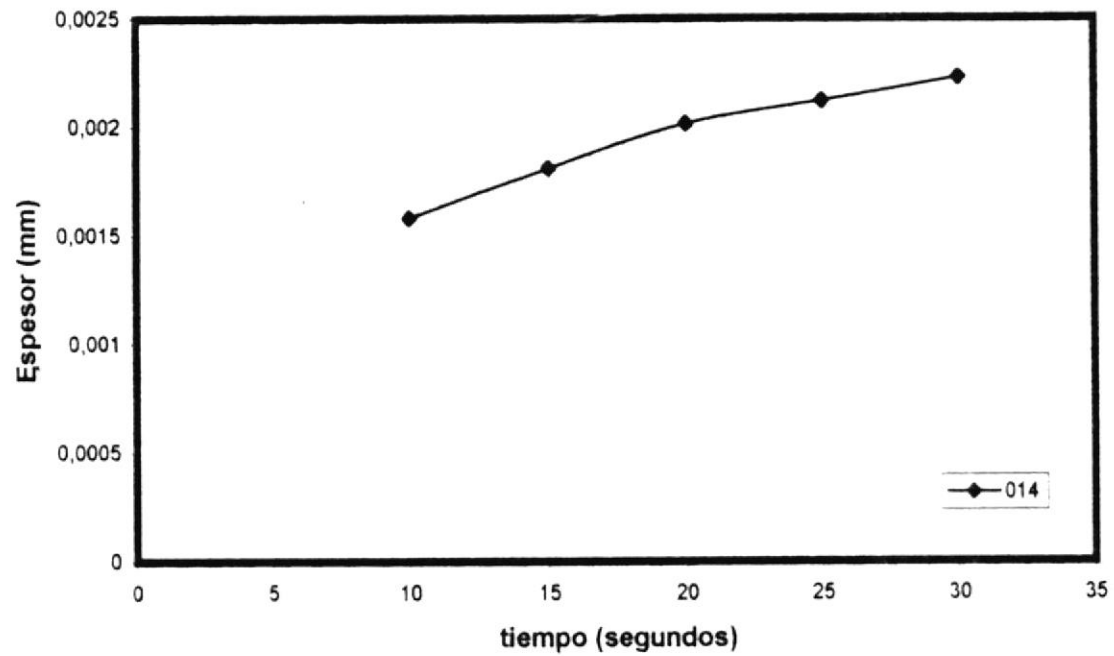


FIGURA 3.14. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA TEMPERATURA AMBIENTE VOLTAJE=4Volt.

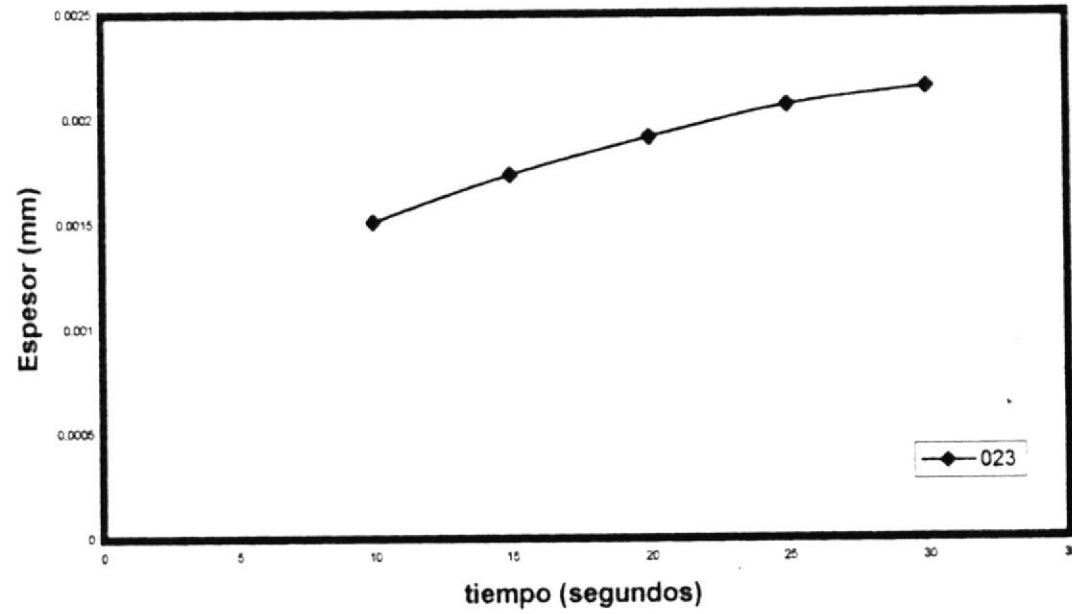


FIGURA 3.15. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA TEMPERATURA= 40°C VOLTAJE= 3 Volt.

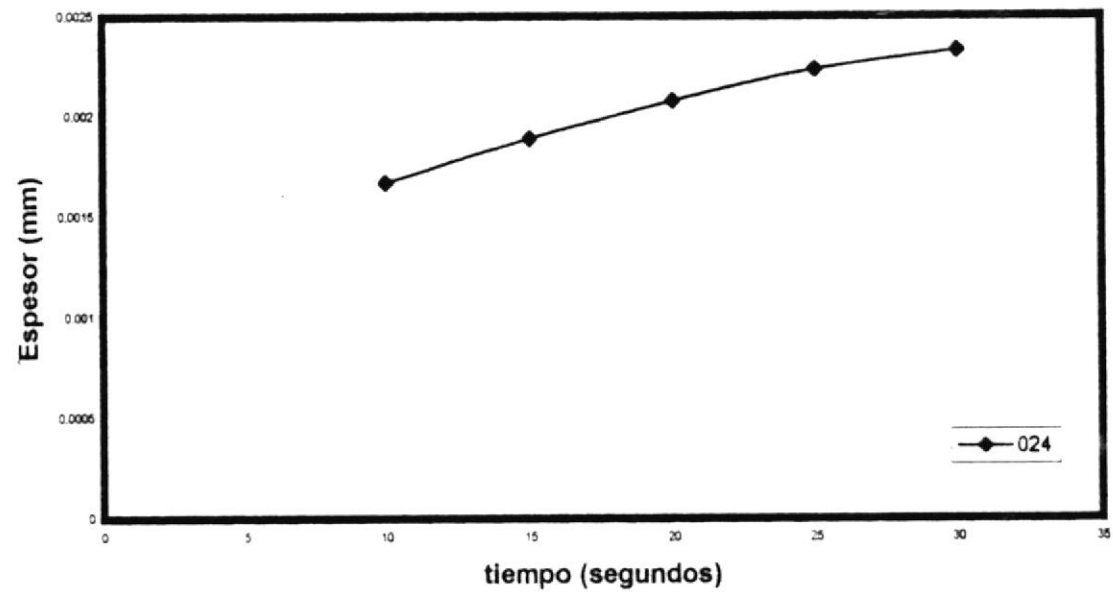


FIGURA 3.16. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA TEMPERATURA = 40°C VOLTAJE 4 Volt.

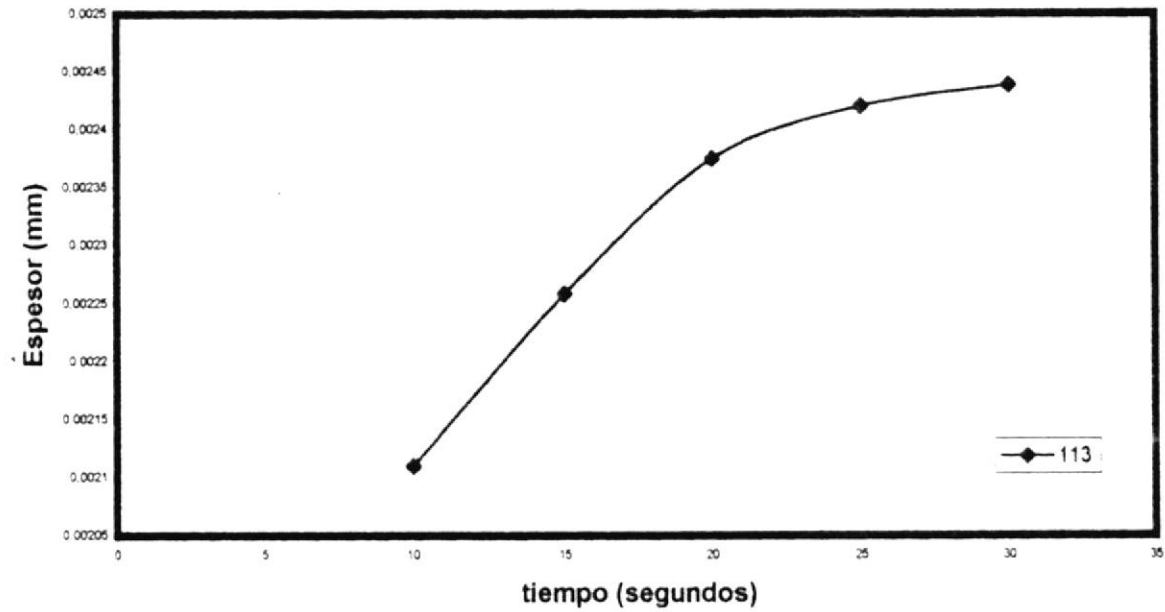


FIGURA 3.17. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL TEMPERATURA AMBIENTE VOLTAJE = 3 Volt.

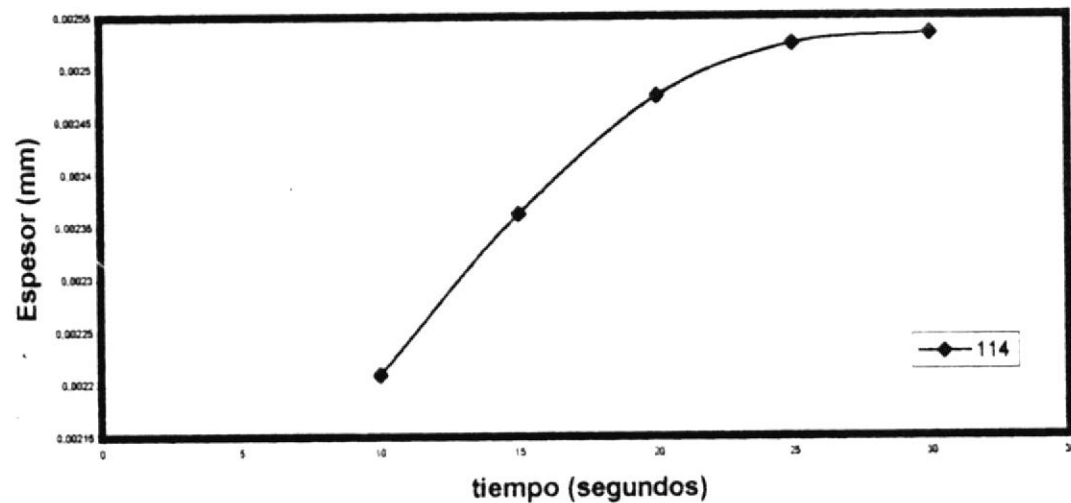


FIGURA 3.18. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON  
CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL TEMPERATURA AMBIENTE  
VOLTAJE = 4 Volt.

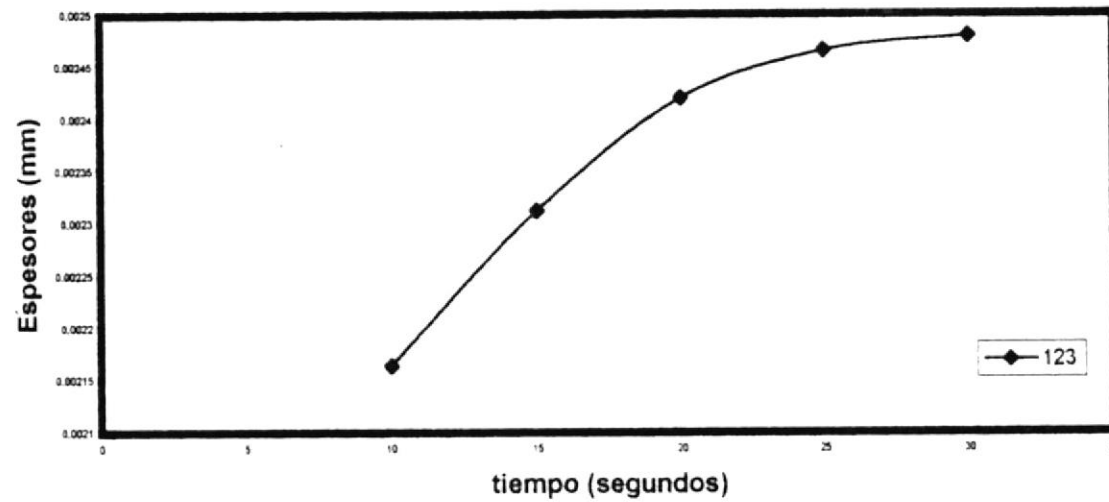


FIGURA 3.19. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON  
CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL TEMPERATURA= 40°C  
VOLTAJE= 3Volt.

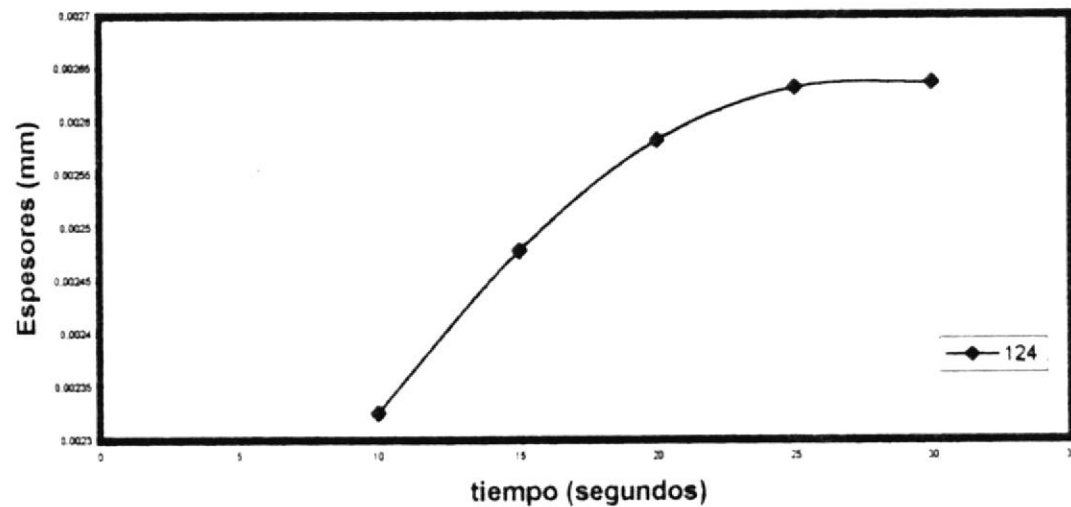


FIGURA 3.20. MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON  
CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL TEMPERATURA= 40°C  
VOLTAJE= 4 Volt.

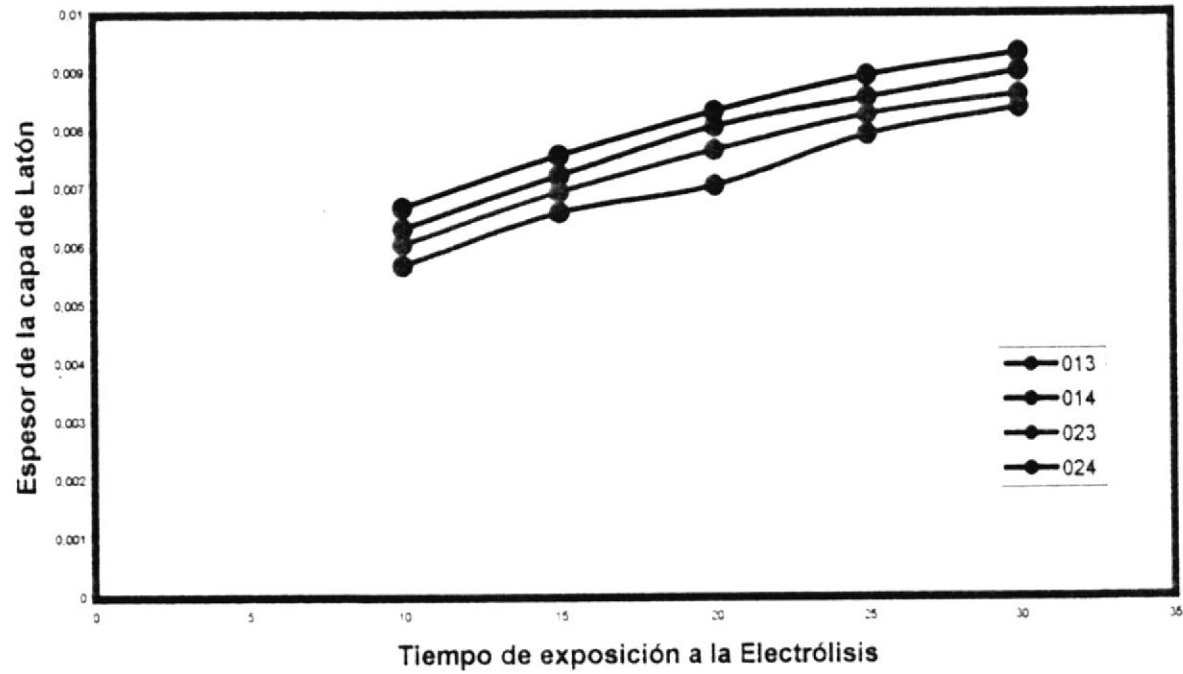


FIGURA 3.21. COMPARACIÓN DE ESPEORES DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN SIN CAPA INTERMEDIA.

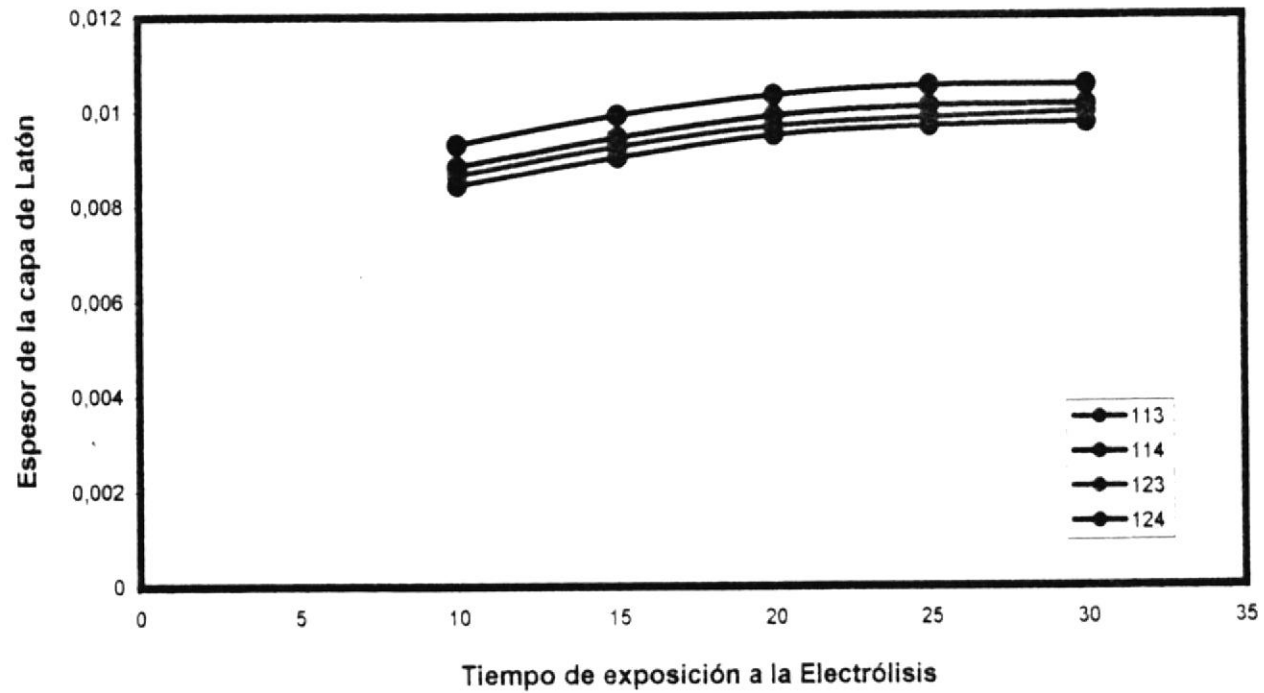


FIGURA3.22. COMPARACIÓN DE ESPEORES DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN CON CAPA INTERMEDIA DE NÍQUEL

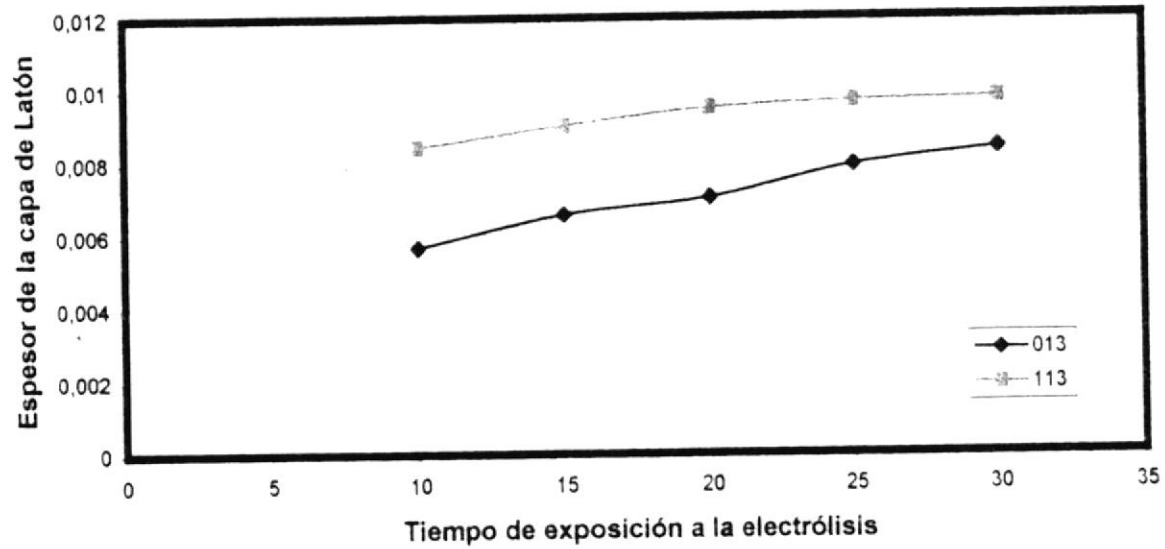


FIGURA 3.23. COMPARACIÓN DEL ESPESOR DE LOS RECUBRIMIENTOS DE LATÓN, A IGUAL TEMPERATURA Y VOLTAJE, CON Y SIN CAPA INTERMEDIA

### 3.3 Análisis de Adherencia y Brillo

Se calificó el brillo de una de las tres probetas que tenía cada prueba que se realizaba. La calificación fue de 0 a 5 donde 0 indica que la probeta no tiene brillo y 5 que la probeta tiene un brillo y una tonalidad de muy buena calidad.

Se analizó una probeta por cada prueba realizada, se pudo comprobar que a mayor tiempo de exposición, el brillo del recubrimiento es mayor pero así mismo éste se pone más frágil, por esta razón se quiebra mas rápido y se desprende del metal base. Por esta razón el tiempo de exposición óptimo es 25 minutos.

En el caso de los recubrimientos de Latón las probetas que se expusieron a la electrólisis durante tiempos entre los 10 y 15 segundos tenían cierto brillo, pero no de la calidad que se estaba buscando. Las probetas expuestas a 25 y 30 segundos que no tenían capa intermedia, eran escasas de brillo, opacas, y algunas presentaban manchas oscuras, las cuales tenían aspecto a metal quemado. En las probetas que tenían una capa intermedia de níquel, el brillo y la tonalidad que presentaban eran bastante buenas, ya que no se manchaban como las anteriores.

Las probetas que siempre mantuvieron brillo y tonalidad buenas y muy buenas para los dos tipos de recubrimiento, fueron las probetas que se expusieron a la electrólisis durante tiempos de 20 segundos.

La adherencia que presentan los recubrimientos de latón directamente en acero es excelente y como los recubrimientos que obtuvimos son muy delgados, estos no presentan escamas ni fisuras al realizar la prueba de adherencia, la que en todas las pruebas realizadas a este tipo de recubrimiento, nos dió 15 dobleces antes de presentar alguna falla de adherencia.

En el caso de los recubrimientos con capa intermedia la prueba nos dió datos diferentes, ya que la capa de níquel es mucho más gruesa y por lo tanto un poco más frágil y susceptible a los dobleces que se realizan en la prueba, pero de todas maneras la adherencia era muy buena.

### **3.4 Defectos Obtenidos**

Entre los defectos obtenidos durante la experimentación podemos mencionar los descascaramientos de la capa electro-depositada, debido a la falta de limpieza de las probetas o al manipuleo con manos sucias o con grasa al momento de la electrólisis.

Los defectos más comunes son los que se producen por la acción del excesivo tiempo de electrólisis en las soluciones de níquel o latón al que fueron expuestas ciertas probetas.

Las manchas que se producen en el recubrimiento de níquel, por la falta de neutralización de la probeta antes de entrar a los baños electrolíticos, causan aspectos opacos en la probeta terminada.

Otro defecto que se detectó fue cuando se dejaron las probetas mucho tiempo sumergidas en las soluciones de limpieza electrolítica, lo que produjo que las probetas se mancharan con puntos y líneas oscuras.

Las probetas también se pueden manchar después del recubrimiento de latón y esto puede ocurrir porque ya sea la probeta estuvo mucho tiempo expuesta al medio ambiente, porque no se sacudió la probeta antes de que ingresara al horno para secarla, o porque no se utilizó Brastone después del recubrimiento metálico de Latón.

## **CONCLUSIONES:**

1. La limpieza electrolítica funciona de manera efectiva, cuando aplicamos un voltaje de 5 V. y la temperatura de la solución es de 70° C.
2. Mientras mayor es el brillo que se obtiene antes de los recubrimientos electrolíticos, en el proceso de pulido, mayor será el brillo de la probeta después de haber sido recubierta con Níquel y Latón.
3. Las Densidades de Corriente que se utilizaron en el proceso de recubrimientos metálicos (0.865 y 0.627 Amp./dm<sup>2</sup>) fueron mayores a la recomendada por la información teórica que se consultó (0.3 Amp./dm<sup>2</sup>), ya que el voltaje necesario para esta Densidad de Corriente es muy bajo, y los tiempos de electrólisis son muy largos, sin mayores beneficios para el recubrimiento.

4. A Densidades de Corriente de  $0.865 \text{ Amp./dm}^2$  con un Voltaje de 4 voltios. se obtienen mejores espesores y un acabado de buena calidad comparados con los obtenidos a  $0.627 \text{ Amp./dm}^2$  y 3 voltios.
5. Para los recubrimientos de Níquel se estandarizó el tiempo de electrólisis en 25 minutos ya que con éste, el espesor del recubrimiento es el suficiente para proteger la probeta de la corrosión, y no hay riesgo de que la probeta se manche por exceso de corriente.
6. A mayor temperatura y Voltaje, el espesor y el peso del recubrimiento aumentarán, pero en el caso del latón, el incremento del peso es mínimo, y las características de brillo que se buscan se pierden completamente.
7. Capas de espesores menores tienen mayor adherencia, ya que estas no se resquebrajan al doblarlas en la prueba de adherencia.
8. Las probetas que tienen recubrimiento intermedio de níquel, presentan menor adherencia que las probetas que no lo tienen, debido al mayor espesor que tiene este con respecto al del latón.
9. Los recubrimientos de Latón tiene características brillantes decorativas para tiempos de exposición muy cortos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Si las probetas que se van a recubrir no han sido atacadas por la corrosión de manera exagerada, no es necesario realizar una limpieza mecánica al principio del proceso, ya que si efectuamos un decapado en ácido clorhídrico por un período de tiempo de 3 minutos, neutralizando luego las probetas en sosa cáustica, la probeta queda lista para el proceso de pulido, ahorrando un tiempo considerable en el proceso de limpieza.
2. En vista que el recubrimiento de Latón es catódico (noble), se recomienda emplearlo solo para aspectos decorativos, y no para aspectos Anticorrosivos
3. El trabajo se debe realizar de manera ininterrumpida evitando intervalos de tiempo largos entre cada paso del proceso, de esta manera evitamos que las probetas se contaminen al estar expuestas al medio ambiente.

4. Es importante tener en cuenta que tipo de baños se están utilizando, de esta manera se podrá decidir que tipo de neutralizantes se deberán usar en cada uno de los procesos para cada uno de los recubrimientos metálicos existentes.
  
5. Es importante mantener cubiertos los baños con lonas, de esta manera evitaremos que estos se contaminen con sustancias extrañas o insectos, que habitan en climas como los nuestros. También es aconsejable filtrar periódicamente las soluciones electrolíticas.
  
6. Es importante mantener todas las seguridades del caso en lo que respecta al cuidado personal de las personas que ingresan al laboratorio, ya que las soluciones de cianuro liberan gases tóxicos que pueden provocar desordenes como ANOXIA (falta de oxígeno), daños en el sistema nervioso central y en exposiciones permanentes hasta la muerte.

## **APENDICE A**

**RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA.**

**MÉTODO DE ENSAYO. Norma Ecuatoriana INEN 950-1984-04**

### **1. Objeto**

Esta norma establece los métodos de ensayo para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados sobre base también metálica

### **2. Alcance**

Esta norma esta aplicada a todo tipo de recubrimiento, depositado por cualquiera de los métodos usuales.

### **3. Método de Ensayo**

El metodo consiste en doblar o deformar de alguna manera la probeta. La aparición de escamaciones denota adhesión insuficiente. El procedimiento exacto de la deformación plástica debe establecerse para cada producto en particular.

Para el ensayo de doblado de placas en laminas, se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos. El radio de los mandriles es de 4 mm.

Se dobla la lamina 90° alternativamente sobre los dos mandriles por un numero de veces que debe especificarse para cada recubrimiento en la aplicación particular. El método tiene aplicación principalmente para laminas delgadas con recubrimientos de oro, plata, bronce, latón o cobre

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- WILLIAM BLUM Y GEORGE B. HOGABOOM, Galvanotecnia y Galvanoplastia (3<sup>ra</sup> edición, México, Compañía Editorial Continental 1979)
- 2.- JONES DENNY A. PRINCIPLES AND PREVENTION OF CORROSION. (Department of Chemical and Metallurgical Engineering University of Nevada, Reno 1992)
- 3.- José González Fernández, TEORÍA Y PRÁCTICA DE LA LUCHA CONTRA LA CORROSIÓN (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas Madrid, 1984)
- 4.- ASTM, 1976 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, (Part 9, Electrodeposited Metallic Coatings and Related Finishes Powders and Metal Powder Product, ASTM. USA.)
5. – ASM International, Metals Handbook (9na edition Sintet S.A. Volumen 5 Cleaning and Finishing of stainless steel and heat Resisting Alloys USA. 1982)
- 6.- Enrique Juelve Salvado, RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS BRILLANTES (1<sup>ra</sup> edición, Ediciones Cedel Mallorca España 1963)
- 7.- Reinaldo Candel, GALVANOSTEGIA , (3<sup>ra</sup> edición Sintet S.A. Barcelona, 1981)
- 8.- Biasoli – Weitz QUÍMICA GENERAL E INORGÁNICA, ( 2<sup>da</sup> edición Editorial Kapelusz Buenos Aires 1981).
- 9.- E.R. Plunkett MANUAL DE TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL ( 3<sup>ra</sup> edición Chemical Publishing, USA 1966)