

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE QUIMICA**



**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL PARA  
OPTAR AL TITULO DE:**

**LICENCIADO EN QUIMICA**

**TITULADA:**

**PROCESOS INDUSTRIALES DE ACABADO  
ESMALTADO Y GALVANIZADO SOBRE  
PIEZAS DE ZAMAC**

**PRESENTADA POR:**

**OSCAR RICARDO ALAYO ATOCHE**

**ASESOR:**

**MG. ING. ADOLFO LA ROSA TORO GOMEZ**

**LIMA – PERU  
2007**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	2
OBJETIVOS.....	3
<b>CAPÍTULO I:</b>	
MATERIAL BASE.....	4
1.1 El Zinc .....	4
1.2 Propiedades Fisicoquímicas del Zinc .....	4
1.3 EL Zamac.....	5
1.4 Clases y Características del Zamac.....	6
1.5 Usos del Zamac .....	9
<b>CAPÍTULO II:</b>	
PROCESOS DE FABRICACIÓN Y ACABADOS DE PIEZAS DE ZAMAC .....	10
2.1 Diagrama del Proceso de Fabricación y Acabados sobre Piezas de Zamac. ..	10
2.2 Proceso de Inyección de Piezas de Zamac .....	10
2.3 Proceso Industrial de Acabado Esmaltado .....	16
2.3.1 Fundamento de Esmaltes .....	16
2.3.2 Diagrama de Flujo del Proceso de Acabado Esmaltado .....	42
2.3.3 Proceso de Fosfatizado .....	43
2.3.4 Matizado de Colores .....	46
2.3.5 Proceso de Esmaltado en Tambor Giratorio .....	49
2.3.6 Control de Calidad de las Piezas Esmaltadas .....	53
2.4 Proceso Industrial de Acabados Galvanizados .....	54
2.4.1 Fundamentos de los Procesos de Galvanizado .....	54
2.4.2 Diagrama de Flujo del Proceso de Acabados Galvanizados .....	57
2.4.3 Tratamiento de Superficies .....	57
2.4.4 Depósitos de Zinc “Zincado” .....	61
2.4.5 Depósitos de Cobre “Cobreado” .....	63
2.4.6 Depósitos de Níquel “Niquelado” .....	67
2.4.7 Factores que Influyen en la Obtención de Depósitos Brillantes .....	69
CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	74
INDICE DE TABLAS.....	75
INDICE DE FIGURAS .....	76

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres Oscar y Editha, por haberme acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, que con sus consejos y apoyo incondicional han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi amada Ily, que gracias a su amor, respeto y ayuda, me han dado fuerzas terminar este trabajo.

Al Profesor Adolfo, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Oscar Ricardo

## **RESUMEN**

En el presente informe, producto de la experiencia profesional adquirida en la industria química, textil y galvánica, se describe las propiedades del material base “zamac”, el cual es utilizado para la fabricación de piezas de cierres, los procesos de inyección y acabados, haciendo énfasis en los procesos de esmaltado y galvanizado, describiendo los fundamentos, características, propiedades, parámetros de control, y otros factores de los procesos.

## **INTRODUCCION**

La Industria Textil Peruana, se encuentra particularmente relacionada con la fabricación de cierres, estos cierres están compuestos de dos elementos fundamentales, la cremallera y la llave, ambos pueden ser hechos de distintos materiales y tipos según los requerimientos del mercado.

Para la fabricación de llaves para cierres, comúnmente se utiliza zamac y latón, ambas aleaciones del zinc. El proceso de fabricación involucra diversidad tecnologías como la textil (cremallera), metal-mecánica (fabricación de llaves y elementos), química (acabados de llaves y cremalleras). Es así que mediante una serie de procesos se logran fabricar cierres, según estándares internacionales.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Dar a conocer la experiencia profesional adquirida sobre los procesos industriales de acabados sobre piezas de zamac, para su uso en la industria textil de cierres.

### **ESPECIFICOS:**

- Describir las propiedades y usos del material base “zamac”
- Describir el proceso industrial de inyección de piezas de zamac.
- Revisar los fundamentos de esmaltes y galvanizado involucrados en los procesos de acabados de llaves.
- Describir el proceso industrial de acabado esmaltado sobre piezas de zamac.
- Describir los procesos industriales de acabados galvanizados sobre piezas de zamac.

## **CAPITULO I: MATERIAL BASE “ZAMAC”**

### **1.1 El Zinc [1], [12]**

El zinc es un metal blanco ligeramente azulado y brillante. Es quebradizo cuando esta frío, pero se vuelve maleable y dúctil entre 100 y 150°C. En un ambiente húmedo, se cubre de una fina capa de hidrogenocarbonato que lo protege contra la oxidación.

El zinc se encuentra en la naturaleza mayormente en forma de sulfuro (ZnS) mineral llamado “blenda” o “esfalerita”, de color caramelo y “marmatita” de color negruzco.

La palabra zinc viene del alemán “zinke”. Aunque no representa más que el 0,012% de la corteza terrestre, esta presente en el agua, el suelo y el aire, siendo un componente esencial e indispensable para el cuerpo humano.

El zinc es un metal esencial para el desarrollo de la sociedad moderna. Es el cuarto metal en términos de consumo y contribuye con cerca de US\$ 40 000 millones a la economía mundial cada año.

### **1.2 Propiedades Físicoquímicas del Zinc [1], [12]**

El zinc presenta distintas propiedades físicoquímicas, que son aprovechadas en distintos usos, de manera primaria y secundaria.

Las propiedades físicoquímicas del zinc y su relación con su uso primario y secundario se muestran a continuación en la tabla N° 1.

**Tabla N° 1:** *Propiedades Fisicoquímicas, usos primario y secundario del zinc.*

Propiedades	Uso Primario	Uso Final
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactividad con hierro.</li> <li>• Resistencia a la corrosión.</li> <li>• Electroquímica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra la corrosión (galvanización, metalización, electrolgalvanización, pinturas ricas en zinc).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificación / construcción, energía / poder, defensas y señales en carreteras y calles, agricultura, automotriz / transporte.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo punto de fusión. Fluidez</li> <li>• Capacidad para el tratamiento de superficies.</li> <li>• Resistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundición a presión (Die Casting) y fundición por gravedad (Gravity Casting)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos deportivos, aparatos domésticos, accesorios, juguetes, herramientas, etc.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plasticidad.</li> <li>• Resistencia a la corrosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zinc laminado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificación / construcción.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electroquímica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baterías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automotor / transporte, computadoras, equipos médicos, productos de consumo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Química.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Óxido de zinc, estearato de zinc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumáticos todos los productos de caucho, pigmentos de pinturas, vitrificación de cerámicas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutriente esencial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compuestos de zinc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industria alimenticia, alimentos balanceados para animales, fertilizantes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curativa.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industria fertilizante.</li> </ul>

### 1.3 El Zamac [1], [12]

El zamac es una aleación de zinc con aluminio, magnesio y cobre. Esta aleación fue creada por la New Jersey Zinc Company en la década de 1920, su nombre es un acrónimo alemán “Zamak” de los materiales que componen la aleación: Zink (Zinc), Aluminium (Aluminio), Magnesium (Magnesio) y Kupfer (cobre), Zamac es el equivalente del acrónimo en español.

Este material puede inyectarse por distintas técnicas la más conocida es el Die Casting.

El fundido a presión (Die Casting), es una técnica para producir piezas metálicas de precisión. Esta exitosa técnica junto con las aleaciones de zinc la cual proveen de piezas clave al sector automotriz, construcción, telecomunicaciones, electrónica, etc. Para entender en que se basa el éxito del fundido a presión es importante conocer sus actividades primarias generadoras de valor: el diseño y la fabricación.

El zamac brinda a la fundición a presión las siguientes ventajas:

- Alta resistencia y dureza.
- Excelente conductividad eléctrica.
- Costo mínimo de materia prima.
- Alta precisión dimensional y estabilidad.
- Excelentes posibilidades de espesores de pared.
- Características de acabado de alta calidad.

La alta dureza y resistencia convierten al zamac en la mejor alternativa para la producción de llaves para la fabricación de cierres, y son una de las menos costosas del mercado, en comparación con las aleaciones de aluminio, cobre y magnesio.

#### **1.4 Clases de Zamac [1], [12]**

Esta aleación dependiendo de los porcentajes de su composición y uso, pueden ser zamac 2, 3, 5, 7, que son las de mayor uso comercial. La tabla N° 2 muestra la composición de las distintas clases de zamac.

**Tabla N° 2:** *Composición de las distintas clases de Zamac.*

Zamac	(ASTM B 240)		Zamac-2	Zamac-3	Zamac-5	Zamac-7
Composición Química (%)	Al	Mín.	3.9000	3.9000	3.9000	3.9000
		Máx.	4.3000	4.3000	4.3000	4.3000
	Ni	Mín.				0.0050
		Máx.				0.0200
	Mg	Mín.	0.0250	0.0250	0.0300	0.0100
		Máx.	0.0500	0.0500	0.0600	0.0200
	Cu	Mín.	2.6000		0.7500	
		Máx.	2.9000	0.1000	1.2500	0.1000
	Fe	Mín.				
		Máx.	0.0750	0.0750	0.0750	0.0750
	Pb	Mín.				
		Máx.	0.0040	0.0040	0.0040	0.0020
	Cd	Mín.				
		Máx.	0.0030	0.0030	0.0030	0.0020
Sn	Mín.					
	Máx.	0.0020	0.0020	0.0020	0.0010	
Zn		Balance	Balance	Balance	Balance	

La tabla N° 3 muestra las características de las distintas clases de zamac.

**Tabla N° 3:** *Características de las distintas clases de Zamac.*

Características	Zamac-2	Zamac- 3	Zamac-5	Zamac-7
Resistencia a la ruptura y dureza en caliente	1	2	1	2
Facilidad de colada	1	1	1	1
Complejidad de la pieza	1	1	1	1
Precisión dimensional	1	1	1	1
Estabilidad dimensional	4	2	2	1
Resistencia a la corrosión	2	3	3	2
Resistencia a efectos producidos por enfriamiento	2	2	2	1
Facilidad y calidad para el mecanizado	1	1	1	1
Facilidad y calidad para el pulido	2	1	1	1
Facilidad y calidad para galvanoplastia	1	1	1	1
Anodización (protección)	1	1	1	1
Recubrimiento químico (protección)	1	1	1	1

Escala relativa: 1 = mas conveniente, 5 = menos conveniente

**Aleación de Zinc 2 (Zamac 2)**, también llamada kirsite, ofrece la mayor resistencia y dureza de toda la familia, pero sin embargo con el paso del tiempo estas propiedades pueden cambiar por su alto contenido de cobre. Los cambios incluyen ligeros rendimientos dimensionales, menor alargamiento y menor rendimiento ante impactos. La aleación número 2 presenta excelentes características para la fundición.

**Aleación de Zinc 3 (Zamac 3)**, la gran estabilidad a largo plazo, excelente colabilidad y excelente equilibrio de propiedades químicas y físicas de esta aleación hacen que sea la primera opción cuando se piensa en fusión a presión y es la más utilizada en Norteamérica. También ofrece excelentes características de acabado de galvanostegia, pintura y otros.

**Aleación de Zinc 5 (Zamac 5)**, esta aleación es la más utilizada en Europa. Su contenido de cobre da como resultado una mayor resistencia y dureza, a cambio de cierta pérdida de ductibilidad (alargamiento). Es recomendada cuando se necesita resistencia a la tracción. Tiene resistencia a la fluencia y es la mejor opción para soportar altas temperaturas.

**Aleación de Zinc 7 (Zamac 7)**, es una modificación de la aleación 3, que brinda fluidez y mejor acabado de superficie. Es utilizada mayormente en aplicaciones mecánicas. Su mayor fluidez permite fundir paredes de menor espesor y por lo tanto es aconsejable para piezas con detalles complicados.

Para la fabricación de llaves, especialmente los cuerpos, se utiliza zamac 3, debido a que se obtienen muy buenos resultados a bajo costo, en comparación con el zamac 7, que es el específico para piezas pequeñas. Debido a sus propiedades es el zamac 5, el elegido para fabricar las lengüetas (jaladores) de las llaves, ya que este brinda una mayor dureza y mejora las propiedades mecánicas.

## **1.5 Usos del Zamac [1], [12]**

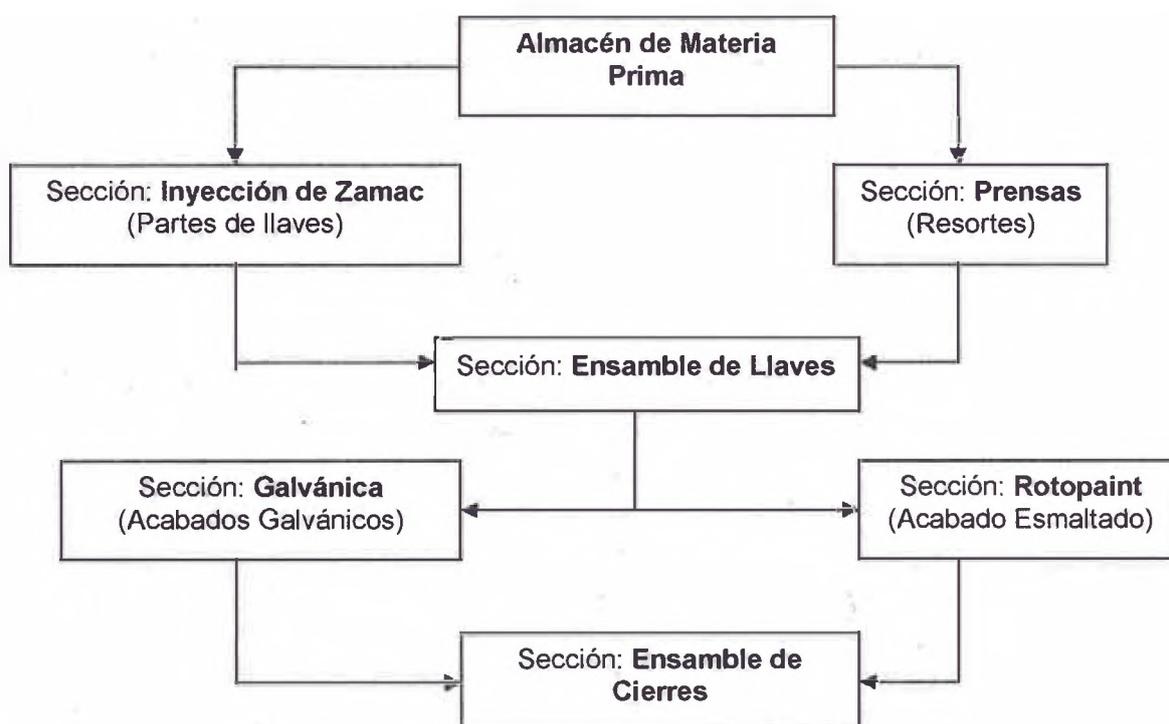
A continuación se mencionará algunos usos y beneficios del zamac en artículos de uso rutinario:

- Navajas de afeitarse, utilizan un cuerpo de zamac, los diseñadores de la navaja eligen este tipo de pieza por sus propiedades de peso, comodidad y buenos acabados.
- Los grifos de las tinas y el fregadero hechos de zamac han evolucionado de ser elementos puramente funcionales a ser objetos altamente decorativos.
- Muchas de las herramientas que tiene en casa están hechas de zamac. Los fabricantes de herramientas aprovechan la dureza, para hacer herramientas a bajo costo para el hogar.
- Prendas de vestir utilizan cierres. La llave que compone el cierre son comúnmente hechos de zamac.

## **CAPITULO II: PROCESO DE FABRICACION Y ACABADOS SOBRE PIEZAS DE ZAMAC**

### **2.1 Diagrama del Proceso de Fabricación y Acabados sobre Piezas de Zamac**

El diagrama de flujo del proceso general de fabricación de piezas de zamac, se muestra en la figura N° 1.



*Figura N° 1: Diagrama de Flujo del Proceso General de Fabricación de Piezas de Zamac.*

### **2.2 Proceso de Inyección de Zamac [1], [13]**

El fundido a presión (Die Casting), es una técnica para producir piezas metálicas de precisión. Esta exitosa técnica junto con las aleaciones de zinc la cual proveen de piezas a la sección de ensamble de llaves, esta técnica es utilizada también en los sectores: automotriz, construcción, telecomunicaciones, electrónica, etc.

## Capítulo II: Proceso de Fabricación y Acabados sobre piezas de Zamac

Para entender en que se basa el éxito del fundido a presión es importante conocer sus actividades primarias generadoras de valor: el diseño y la fabricación.

En la etapa de diseño de piezas, se realiza un análisis minucioso a fin de diseñar la pieza adecuada, que cumpla con las características y la función del producto y que satisfaga las necesidades del cliente.

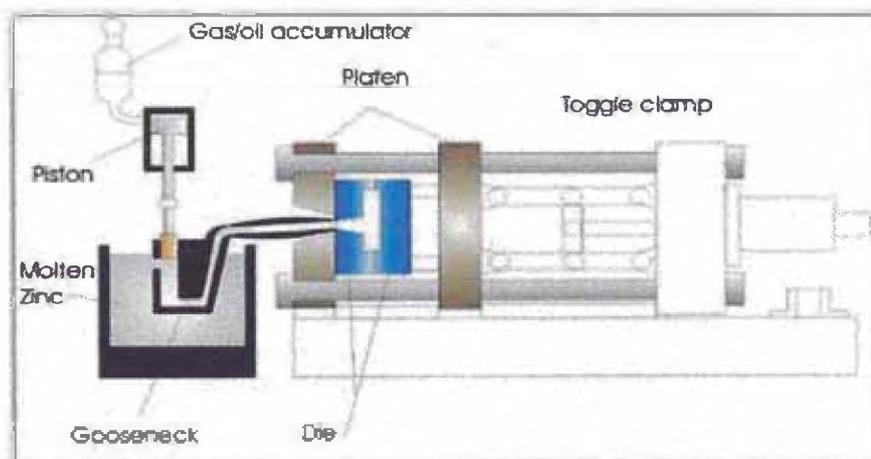
El proceso tradicional de fundición a presión, consiste en la inyección a alta presión, de zamac fundido en un molde de acero. Ésta se solidifica rápidamente (en unos cuantos segundos) para producir un componente de forma final que es extraído automáticamente. En general existen dos procesos básicos de fundición a presión, que se diferencian solamente por el método de inyección del metal: cámara caliente y cámara fría.

El proceso en cámara caliente se utiliza solamente para aleaciones de zinc y aleaciones de magnesio. Para las aleaciones de aluminio se puede utilizar solamente el proceso en cámara fría debido a que sus aleaciones erosionan el acero del mecanismo de inyección que se introduce en la cámara caliente. La etapa del ciclo correspondiente a la inyección de metal normalmente concluye con una súbita intensificación de la presión sobre el metal. Esta presión se logra aumentando la presión hidráulica del émbolo, que obliga a una cantidad adicional de metal a penetrar en la cavidad del molde para compensar la contracción que se produce durante la solidificación. Esto es beneficioso hasta el punto en que promueve el llenado completo de la cavidad del molde, y crea una densidad uniforme en el metal. Sin embargo, la intensificación excesiva no es aconsejable porque fuerza al metal fundido a introducirse entre los componentes del molde, provocando el desgaste del molde y una rebaba excesiva que tiene que ser eliminada posteriormente.

Las máquinas se clasifican de acuerdo con la cantidad de toneladas de fuerza de fijación que pueden desarrollar durante el funcionamiento continuo a largo plazo.

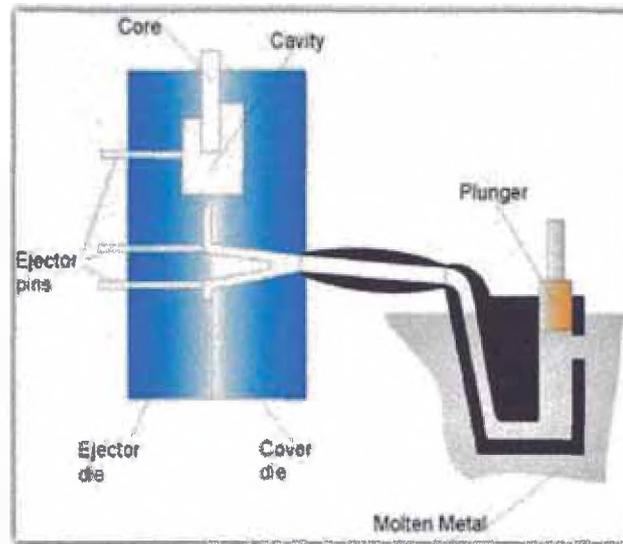
Normalmente la pieza fundida es expulsada del molde, unida a cierta cantidad de material sobrante. Aquí se incluyen la compuerta, el canal de colada (que puede tener una galleta), cualquier rebosadero y posiblemente, rebaba. Conjuntamente, todo este material (conocido como colada) es transferido a un troquel de desbarbado que separa la pieza fundida del material sobrante. Este material procedente del desbarbado se recicla posteriormente.

**Fundición a presión en cámara caliente.** Es utilizado solamente para el zinc y otras aleaciones de bajo punto de fusión que no atacan fácilmente ni erosionan los recipientes, cilindros ni pistones de metal. En la figura N° 2, se muestran los componentes básicos de una máquina de fundición a presión en cámara caliente y el molde. En este proceso, el émbolo y el cilindro, que forman el mecanismo de inyección, se sumergen en el metal fundido que se encuentra en el crisol (o recipiente refractario) que es parte integral de la máquina.

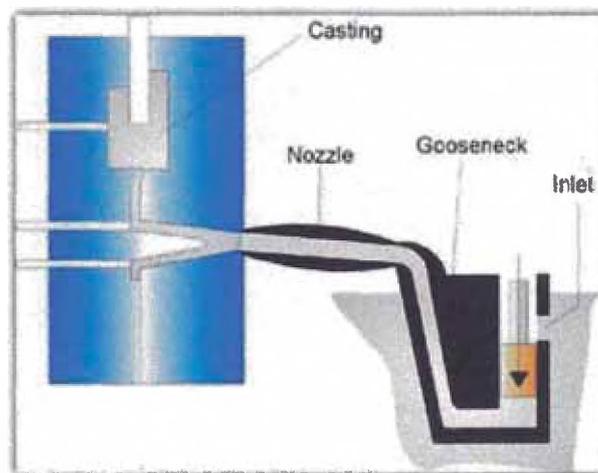


*Figura N° 2: Componentes básicos de una máquina de fundición a presión.*

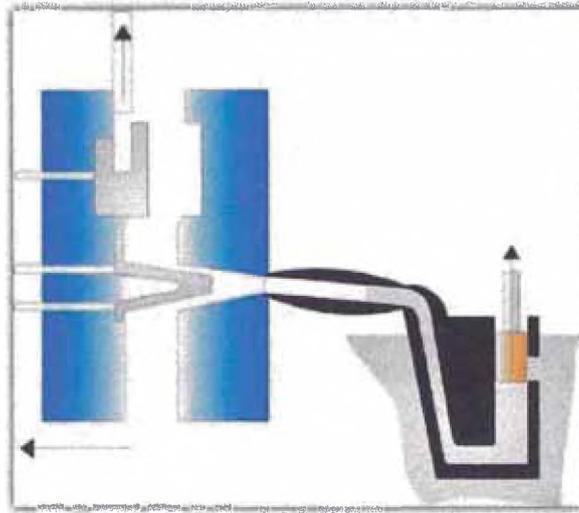
En las Figuras 3, 4, 5 y 6, se muestran las etapas del proceso de fundición en cámara caliente.



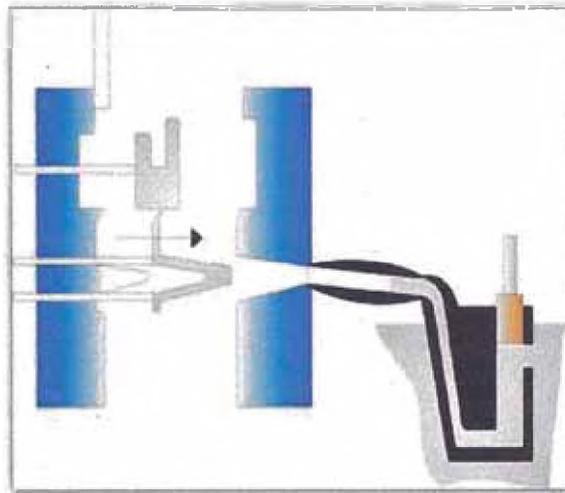
**Figura N° 3:** Etapa 1: Se cierra el molde y se eleva el émbolo, abriendo el orificio y permitiendo que el metal fundido llene el cilindro.



**Figura N° 4:** Etapa 2: El émbolo desciende y sella el orificio empujando el metal fundido a través del sifón y la tobera, hacia el interior de la cavidad del molde, donde es mantenido bajo presión hasta que se solidifica.



**Figura N° 5:** Etapa 3: El molde se abre y los machos, si hay alguno, se retiran. La pieza fundida se queda sólo en una sección del molde, en el lado del mecanismo de inyección. El émbolo retorna, permitiendo que el metal fundido residual retorne a través de la tobera y el sifón.



**Figura N° 6:** Etapa 4: Los expulsores empujan la pieza fundida y la sacan del molde por el lado del inyector. A medida que el émbolo va destapando el agujero de llenado, el metal fundido fluye a través de la entrada para rellenar el sifón, como en el paso (1).

### **Ventajas de la cámara caliente sobre la cámara fría**

- Ciclos cortos, 1 segundo para componentes de zinc diminutos.
- Control preciso de la temperatura del metal, que mejora la fluidez, y permite que la presión de inyección sea menor, lo que somete al equipo a menor esfuerzo.
- Una mejor fluidez proporciona un mejor llenado de la cavidad, produce piezas más compactas, y permite paredes de menor espesor.
- El cilindro sumergido de la colada (sifón), que se llena automáticamente, elimina la variación, acorta el tiempo del ciclo, y facilita el control de la temperatura del metal.
- No se produce enfriamiento de la carga (colada calculada), como puede ocurrir cuando se transfiere metal fundido al cilindro de la colada de una máquina de cámara fría.
- El metal fundido es sometido a una menor oxidación y a menos contaminantes provenientes de la exposición a la atmósfera.

### **Desventajas del proceso de cámara caliente**

- Limitaciones, ya que las aleaciones de aluminio o de zinc-aluminio, y ciertas aleaciones de magnesio, pueden ser procesadas solamente en cámara fría.
- Se pueden alcanzar presiones de inyección y velocidades más bajas, por lo que las piezas fundidas pueden ser menos compactas.
- Mayores costos de mantenimiento.

### **2.3. Proceso Industrial de Acabado Esmaltado**

#### **2.3.1 Fundamento de Esmaltes [2], [3], [4], [5], [14], [15], [18]**

- ***Concepto y Componentes de un Esmalte***

En la terminología actual la palabra “esmalte” es sólo una parte de lo que se conoce como recubrimiento orgánico; éstos incluyen pinturas, barnices, lacas, colorantes, selladores y todos los diversos productos accesorios como los disolventes. Estos recubrimientos tienen las siguientes propiedades en grados variables, dependiendo de la composición del recubrimiento: buen flujo y nivelación; proporción de aspersion y grosor de película satisfactorios; secado rápido, alta impermeabilidad, buena adhesión, flexibilidad y dureza, resistencia a la abrasión y durabilidad. Se refiere en primer lugar a las sustancias empleadas para dar color y que suelen ser una mezcla de un pigmento con un aglutinante, el cual puede diluirse más o menos.

Los componentes de los esmaltes son los siguientes:

- Ligantes (Polímeros)
- Disolventes (Mezcla de solventes)
- Pigmentos
- Aditivos

La cantidad de cada componente varia con el tipo de esmalte, color y grado de brillo, pero su participación siempre responde a una composición centesimal aproximada: los disolventes pueden estar en un 50-60%, los ligantes desde el 15 al 45%, los pigmentos pueden variar en función del tipo de pintura y color desde un 3% hasta el 35% y los aditivos del 1 al 5%. La figura N° 7, muestra de manera ideal un esmalte e indica sus componentes.



*Figura N° 7: Componentes de un Esmalte.*

• **Clasificación de los Esmaltes**

De un modo muy general se les clasifica de la siguiente manera:

- Esmaltes en base al agua. Se muestra el detalle en la tabla N° 4.
- Esmaltes en base a solventes. Se muestra el detalle en la tabla N° 5.

*Tabla N° 4: Esmaltes en base al agua*

Tipo de Pintura	Vehículo Sólido	Disolvente	Tipo de Pigmentos	Usos
Plásticas	Acetato de polivinilo	Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxido de cromo azul ultramar.</li> </ul>	Decoración de paredes interiores y exteriores
Acrílicas	Acrilatos	Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxido de cromo azul ultramar.</li> </ul>	Decoración, maderas, metal interiores y exteriores

**Tabla N° 5: Esmaltes en base a solventes**

Tipo de Pintura	Vehículo Sólido	Disolvente	Tipo de Pigmentos	Usos
Alquídicas de Secado al aire	Resinas gliceroftálicas con aceites secantes	Aguarrás	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo cromo</li> <li>● Rojo molibdeno</li> <li>● Amarillo zinc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Decoración anticorrosiva</li> </ul>
Alquídicas de Secado al horno	R. oleo-gliceroftálicas + melamino -formol	Tolueno-xileno Butanol	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo cromo</li> <li>● Rojo molibdeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Automotriz</li> <li>● electrodomésticos</li> </ul>
Vinílicas	Polivinil-butiral	Tolueno	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo zinc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Anticorrosivos</li> </ul>
Celulósicas (lacas)	Nitrocelulosa modificada con resinas y plastificante	Acetato de etilo ciclohexanona metiletilcetona	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo cromo</li> <li>● Rojo molibdeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Decoración de muebles, automotriz</li> </ul>
Cloro-caucho	Caucho clorado	Xileno Tolueno	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo zinc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pinturas ignífugas</li> <li>● Rev. Antiácidos, antiherrumbre</li> </ul>
Poliuretano	Poliéster y Poliisocianato	Cetonas, acetato de etilenglicol, acetato de butilo	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amarillo cromo</li> <li>● Rojo molibdeno</li> <li>● Amarillo zinc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pinturas marinas y para hormigón, protectoras de fierro y aluminio</li> </ul>
Epóxicas	Poliamida o poliamina con resina	Esteres, cetonas, alcoholes, glicoles		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pinturas marinas, revest. Estanques.</li> </ul>

● **Propiedades Físicas de los Esmaltes**

**A. Adherencia.** La adherencia puede definirse como la propiedad por la cual, dos superficies se mantienen perfectamente unidas por acción de fuerzas intrínsecas. En el caso de las pinturas el grado de adherencia que tiene la película que se forma cuando se aplica sobre una superficie (sustrato), está dado por las propiedades fisicoquímicas de la pintura, como la adhesión al sustrato y la cohesión molecular.

En la práctica se emplean tres procesos de ensayo diferentes para la determinación de la adherencia:

- Ensayo de corte enrejado
- Ensayo de dureza al rayado
- Ensayo de resistencia al gravillonado

**B. Viscosidad.** La viscosidad es una variable importante de un sistema de pintura, su significado físico es la medida de fricción interna de un líquido, causada por interacciones intermoleculares. En la industria de pinturas se han establecido varios métodos de medición para la determinación de la viscosidad de líquidos, desde el simple flujo de copa hasta viscosímetros rotativos controlados por computadoras, algunas técnicas son las siguientes:

- Viscosímetros rotativos
- Viscosímetros de burbuja
- Copas de inmersión
- Copas de flujo

**C. Brillo.** El brillo es una percepción visual que se produce al observar superficies. La percepción del brillo es más pronunciada cuanto más luz refleja. Un brillo alto se da sobre superficies planas, completamente lisas y pulidas. Un brillo mate se da en superficies rugosas, pues la luz no es reflejada en la reflexión principal sino también de forma difusa en otras direcciones.

**D. Dureza.** Dureza es la resistencia de un revestimiento a una fuerza mecánica tal como, presión, indentación o arañazo. En la práctica existen diferentes métodos de ensayos:

- Dureza al impacto de péndulo
- Dureza a la abolladura
- Dureza al arañazo

- ***Factores que afectan el comportamiento de los recubrimientos sobre la superficie***

Los factores principales implicados en un comportamiento satisfactorio de los recubrimientos de superficies son:

- A. Formulación.** Evidentemente se deben de usar los ingredientes combinados en las proporciones exactas, para obtener las características deseadas del producto en cuestión. Hay que tener en cuenta las propiedades y usos de las materias primas y la formulación de las diversas clases de recubrimiento.
- B. Método de Fabricación.** Estas materias primas deben mezclarse de una manera apropiada para obtener un recubrimiento satisfactorio. Los esmaltes deben fabricarse o elaborarse de una manera adecuada, los pigmentos deben de estar debidamente dispersos y los productos extraños eliminados, y el producto envasado y enviado al cliente en perfectas condiciones de uso.
- C. Preparación de la superficie.** El trabajo requerido para preparar un sustrato, implica la eliminación de óxidos, suciedad, aceite, grasa, agua, etc., antes de aplicar el recubrimiento sobre la superficie.
- D. Métodos de Aplicación.** Existen diversos tipos de aplicación, las cuales presentan distintas características en el recubrimiento, ventajas, limitaciones y espesor de película.
- E. Forma de Secado.** Este factor abarca todos los elementos que transforman un recubrimiento líquido en una película protectora dura, tenaz y duradera. Aunque es inevitable una considerable variación de las condiciones de secado cuando los recubrimientos se secan al aire libre, los materiales secados en estufa necesitan, por regla general, un control riguroso del tiempo y la temperatura. Una cocción corta puede ser la causa de un acabado blando, poco endurecido, de escasa impermeabilidad, de poca duración o con otros defectos, mientras que una cocción excesiva puede ser la causa de fragilidad.

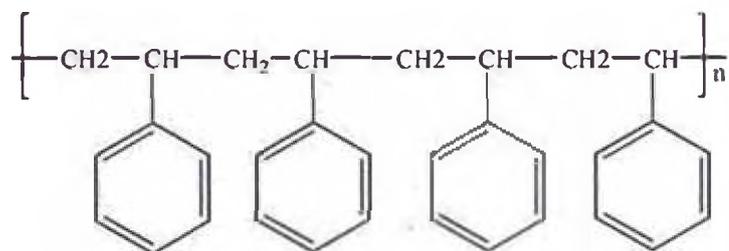
- **Ligantes**

Son los constituyentes más importantes y que cumplen la función de unir los pigmentos y aditivos, proveer la adhesión y la formación de película plástica final, proporcionando también propiedades al recubrimiento (brillo, elasticidad, flexibilidad, durabilidad, resistencia química, etc.)

**Un monómero**, es un compuesto de bajo peso molecular a partir del cual se obtienen los polímeros. La unidad monomérica es la unidad estructural o conjunto de átomos que se repiten a lo largo de una macromolécula. Ejemplo: estireno, etc.

**Las Macromoléculas**, son moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos. Generalmente podemos describirlas como la repetición de una o unas pocas unidades mínimas (monómeros), formando así los polímeros. A menudo el término macromolécula se refiere a las moléculas que contienen más de 100 átomos. Pueden ser tanto orgánicas como inorgánicas. Dentro de las moléculas orgánicas sintéticas se encuentran los plásticos. Ejemplo: poliestireno, etc.

**Los Polímeros**, son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de varias moléculas más pequeñas llamadas monómeros. La figura N° 8, muestra la estructura del poliestireno.



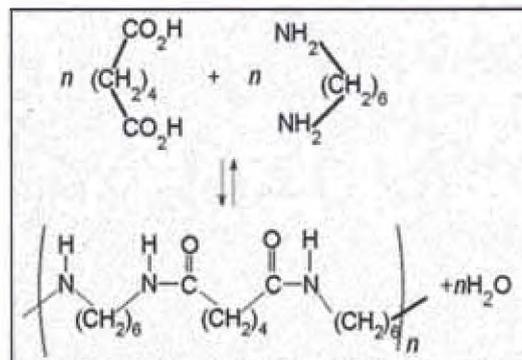
**Figura N° 8:** Estructura del Poliestireno; polímero formado a partir de la unidad repetitiva del estireno

**Un Oligómero**, consiste en un número determinado de monómeros. La naturaleza orgánica está llena de estos casos multifuncionales. En cambio, un polímero es una molécula con dos o más radicales de la misma especie. Un grupo de 3 a 9 moléculas de monómero que se han unido entre sí para formar una molécula más grande. Pueden ser dímeros, trímeros, tetrámeros, pentámeros, etc.

**Los plásticos**, son los materiales que resultan de mezclar uno o más polímeros con varios aditivos que mejoran sus propiedades. Pero el componente principal de un plástico, el que le da nombre y determina sus propiedades es el polímero.

**Unidad Repetitiva**, es la agrupación atómica que se repite sucesivamente en la estructura del polímero, formada por una o más unidades estructurales.

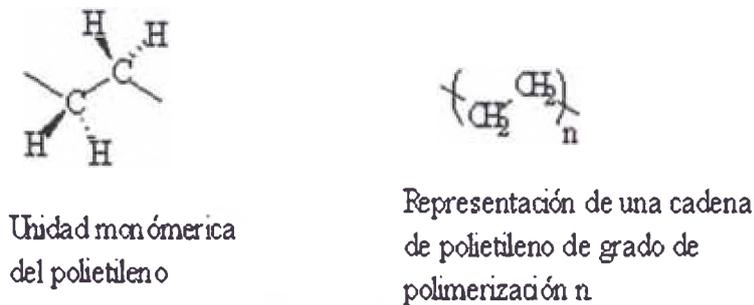
**Unidad Estructural**, son grupos atómicos que tienen la misma composición del monómero o que son restos del mismo. Por ejemplo el Nylon 66, formado por 2 monómeros, que origina dos unidades estructurales para formar la unidad repetitiva. La figura N° 9, muestra la estructura del nylon 66.



**Figura N° 9:** Formación del Nylon 66

**El Grado de Polimerización (n)**, indica que se repite n veces la unidad repetitiva.

La figura N° 10, muestra la estructura del polietileno.



*Figura N° 10: Estructura del Polietileno*

**Una Resina** es cualquier compuesto orgánico, natural o sintético, formado por una sustancia líquida viscosa o no cristalina. El término "resina" data de los orígenes de la industria del plástico y originalmente se refería a algunos sólidos amorfos naturales, tales como la colofonia o la laca.

**A. Clasificación de los Ligantes.** Los ligantes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Según su origen**, pueden ser:

**Naturales**, las cuales son secreciones endurecidas procedentes de árboles vivos, extraídas de la savia bien por exudación natural o provocada artificialmente por incisión en su corteza. Pueden también tener origen fósil, como el ámbar, o animal, como la goma laca. Las más conocidas son: Dammar, Almaciga, Sandárac, Ambar, Colofonia, Goma laca, etc.

**Sintéticas**, abarcan un amplio grupo de productos de síntesis con algunas de las propiedades físicas de las resinas naturales, pero con diferencias químicas. La mayoría de las resinas sintéticas son polímeros. Las más utilizadas son: Alquídicas, Acrílicas (base disolvente o base agua), Epóxicas, Poliuretanos, Poliésteres, Vinílicas, Caucho Clorado, Siliconadas, etc.



- Según la relación estructural química de los meros que constituyen el polímero. Esta clasificación se basa en el grupo funcional al cual pertenecen los meros:

Poliolefinas. Ejemplo; polipropileno, polibutadieno, poliestireno.

Poliésteres. Ejemplo; poli (tereftalato de etileno), policarbonato.

Poliamidas. Nylon, poliimida.

Polímeros celulósicos. Ejemplo; nitrato de celulosa, acetato de celulosa.

Polímeros vinílicos. Ejemplo; poli (acetato de vinilo), poli(alcohol vinílico).

Poliuretanos. Denominación genérica para los que son derivados de isocianatos

- Según la forma de la cadena polimérica. Se clasifican en:

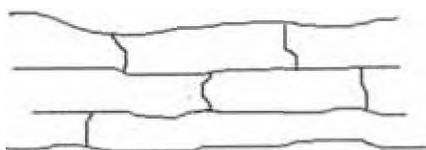
**Lineales:** en que no tienen ramificaciones.



**Ramificadas:** todas las moléculas contienen ramificaciones, es decir pequeñas cadenas laterales.



**Entrecruzadas:** los polímeros poseen estructura tridimensional, donde las cadenas están unidas unas a otras por enlaces químicos.

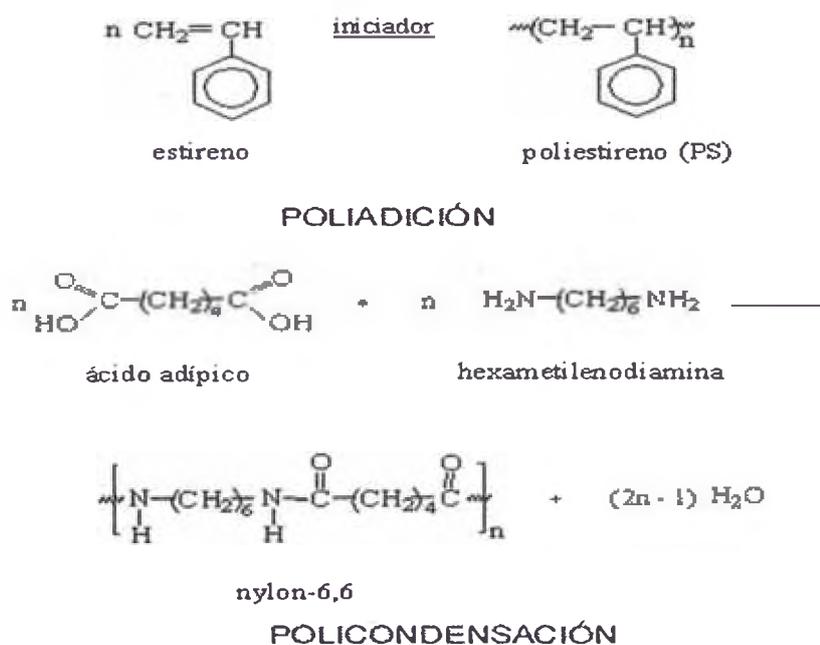


• Según su comportamiento frente a la temperatura

**Termoplásticos**, que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos. Su estructura molecular presenta pocos (o ninguno) entrecruzamientos. Ejemplos: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), PVC.

**Termoestables**, que se descomponen químicamente al calentarlos, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas. Ejemplo: Poliéster.

**B. Polimerización de los Ligantes.** En 1929, Carothers separó las polimerizaciones en dos grupos, de acuerdo con la composición o la estructura de los polímeros. De acuerdo con esta clasificación, se dividen las reacciones de polimerización en poliadiciones (por adición) y policondensaciones (por condensación). La poliadición puede darse en monómeros que contengan al menos un doble enlace, y la cadena polimérica se forma por la apertura de este, adicionando un monómero seguido de otro. En la policondensación la reacción se pasa entre monómeros que porten dos o más grupos funcionales, formando también casi siempre moléculas de bajo peso molecular como agua u amoníaco, como se muestra en la Figura N° 11.



**Figura N° 11:** Poliadición y Policondensación

Años más tarde, en 1953, Flory generalizó y perfeccionó esta clasificación utilizando como criterio el Mecanismo de Reacción, dividiendo las reacciones en polimerizaciones en cadena y en etapas, que corresponden, respectivamente, a las poliadiciones y policondensaciones. Las polimerizaciones en cadena y en etapas poseen características diferentes, como se muestra en la tabla N° 6.

**Tabla N° 6:** Características de la polimerización en cadena y en etapas.

<b>Polimerización en Cadena</b>	<b>Polimerización en Etapas</b>
Apenas el monómero y las especies propagantes pueden reaccionar entre si.	Cualquiera de las especies moleculares presentes en el sistema pueden reaccionar entre si.
La polimerización envuelve al mínimo dos Procesos Cinéticos	La polimerización solo tiene un Proceso Cinético.
La concentración del monómero disminuye gradualmente durante la reacción.	El monómero se consume totalmente ya en el comienzo de la reacción, restando menos de 1% al final.
La velocidad de reacción aumenta con el tiempo hasta alcanzar un valor máximo, en el que permanece.	La velocidad de reacción es máxima en el comienzo y disminuye con el tiempo.
Polímeros con alto peso molecular se forman desde el inicio de la reacción, y este no se altera con el tiempo.	Mucho tiempo de reacción es esencial para obtener un polímero con elevado peso molecular, el cual aumenta durante la reacción.
La composición química porcentual del polímero es igual que la del monómero que lo origina.	La composición química porcentual del polímero es diferente de aquella del monómero que lo origina.

**C. Propiedades fisicoquímicas de los Ligantes.** Las propiedades fisicoquímicas de los ligantes son:

**El Color.** Varían desde el blanco agua de algunos ligantes sintéticos, al marrón oscuro o negro de las breas. Los aceites, un gran número de resinas sintéticas, y algunas resinas naturales son de coloración ambarina de tonos diferentes.

**La Viscosidad.** Los ligantes varían enormemente en sus características y también en la viscosidad de sus soluciones. Aunque algunos aceites sin tratar y plastificantes químicos son casi tan fluidos como el agua, otras pueden tener viscosidad hasta el estado de gel. Solo mezclando resinas se consigue reducir esta viscosidad. Para alcanzar este punto es necesario, casi siempre, recurrir al uso de los disolventes volátiles, que generalmente disuelven las resinas o son compatibles con la composición de los mismos.

**Método de formación de película.** El proceso mediante el cual un revestimiento de superficie que es más o menos líquido cuando se aplica al substrato, se convierte en una película dura y continua, se conoce como “secado”. La formación de la película tiene lugar mediante diversos mecanismos, los cuales son: Evaporación de volátiles, polimerización por oxidación, polimerización por calor.

**Índice volumétrico.** En los materiales aglutinantes no existe tanta variación de densidad como en los pigmentos, pero estas diferencias son algunas veces lo suficientemente grandes para que tengan un efecto apreciable en los costos de formulación.

**Estabilidad.** La resistencia al calor, a la luz, a la humedad, a los agentes químicos y a los atmosféricos es con frecuencia necesaria en los vehículos y varía enormemente de acuerdo con las resinas utilizadas y sus proporciones. En los vehículos para esmaltes de alta calidad, blancos y de colores claros es importante una inmunidad relativa a la decoloración después de su cocción.

- **Disolventes.**

Los **disolventes** orgánicos, son compuestos orgánicos volátiles que se utilizan solos o en combinación con otros agentes, para disolver materias primas, productos o materiales residuales, como agente de limpieza, para modificar la viscosidad, como agente tensoactivo, como plastificante, como conservante o como portador de otras sustancias que, una vez depositadas, quedan fijadas y el disolvente se evapora.

Los compuestos orgánicos volátiles o VOCs se definen como todo compuesto orgánico (cuya estructura química tenga de base al elemento carbono) con una volatilidad determinada, que se establece a una presión de vapor de 0,01 KPa o más a temperatura ambiente (20°C).

**A. Clasificación de los Disolventes.** Los disolventes se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Acuosos:** Usados para disolver sustancias polares. Sus propiedades físicas son las mismas del H<sub>2</sub>O y las químicas dependen de las sustancias que contengan.

**Orgánicos:** Sustancias químicas o mezcla de las mismas, que son capaces de disolver sustancias no hidrosolubles y que por sus propiedades disolventes tienen múltiples aplicaciones en diversas tecnologías industriales-laborables. Los incluidos en este grupo son los considerados propiamente como disolventes.

La tabla N° 7, muestra la clasificación de los disolventes orgánicos y algunos ejemplos de uso.

**Tabla N° 7:** *Clasificación de los Disolventes*

<b>Clases de Disolventes</b>	<b>Ejemplos de los Disolventes más Utilizados</b>
Hidrocarburos alifáticos	Pentano, hexano, heptano, decano
Hidrocarburos alicíclicos	Ciclohexano, metilciclohexano, (alfa-Pineno)
Hidrocarburos aromáticos	Benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, estireno
Hidrocarburos halogenados	Cloruro de metileno, cloroformo, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, 1,2-dicloroetano, freones, 1,1,1-tricloroetano, tetracloroetileno
Alcoholes	Metanol, etanol, i-propanol, butanol
Glicoles	Etilenglicol, dietilenglicol
Éteres	2-metoxietanol, etoxietanol, butoxietanol, p-dioxano
Esteres	Acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de i-propilo, acetato de n-butilo, acetato de i-butilo, acetato de 2-etoxietilo, metacrilato de metilo
Cetonas	Acetona, butanona-2, 4-Metil-pentanona-2, hexanona-2, ciclohexanona
Otros	Nitroparafinas, disulfuro de carbono

**B. Propiedades fisicoquímicas de los disolventes.** Las propiedades fisicoquímicas de los disolventes son las siguientes:

**Color.** La mayoría de los disolventes son de color blanco agua. Esto hace posible que se puedan emplear en pinturas de cualquier colorido. Puesto que en muchos recubrimientos los disolventes son el componente en mayor proporción, esta propiedad constituye una necesidad importante.

**Punto de Inflamación.** Los valores del punto de inflamación de los disolventes indican las temperaturas atmosféricas a las cuales los vapores entran en ignición por la acción de llamas, chispas estáticas y chispas producidas por golpes de herramientas, zapatos o equipo eléctrico.

Casi todos los disolventes excepto los que contienen cloro son muy inflamables especialmente en forma de vapor. Cuanto mas rápido es la velocidad de evaporación mas bajo es su punto de inflamación.

**Velocidad de evaporación.** La velocidad a la cual los disolventes se evaporan en los recubrimientos de superficies una vez aplicados, es una propiedad que limita su utilización, ya que influye sobre la fluidez y la uniformidad, el secado y otras características de comportamiento. Algunos se evaporan en pocos segundos mientras que otros necesitan muchas horas para evaporarse. Cuanto más rápida es la evaporación más rápido es el secado y menor la tendencia del recubrimiento a corroerse y formar arrugas; sin embargo, es mas probable que aparezca otros defectos de las películas, tales como la formación de piel de naranja, mareas de las brochas, etc.

**Poder de disolución.** En ciertos productos, tales como las lacas, existen “disolventes activos” los cuales disuelven por si solos las “resinas” y “disolventes latentes” que no son capaces de disolver por si solos estos materiales, pero si lo hacen cuando se usan con disolventes activos y producen soluciones en la misma proporción de sólidos que aquellos que contienen solamente disolventes activos para la misma viscosidad. Existen disolventes denominados “diluyentes” que no disuelven los formadores de películas, pero pueden tolerarse en diversas proporciones con disolventes activos y latentes para abaratar el costo de la composición.

**Efectos sobre la viscosidad del vehículo.** Las soluciones de ciertos formadores de películas varían mucho en el contenido de sólidos con la viscosidad de aplicación, dependiendo de los disolventes usados. La selección de disolventes debe hacerse teniendo en cuenta el contenido de sólidos que se obtiene y el costo, además, de todas las otras propiedades que se deben ajustar correctamente para obtener recubrimientos de superficies satisfactorios.

**Índice volumétrico.** Los disolventes, así como las resinas, varían algo en densidad. Algunos fabricantes de recubrimientos de superficies los adquieren por litros, mientras que otros lo hacen por kilos. Solamente en circunstancias especiales el índice volumétrico influye sobre la elección de los disolventes.

- **Los Pigmentos.**

Son sustancias insolubles de materiales orgánicos o inorgánicos (naturales o sintéticos) que se dispersan en el recubrimiento con objeto de conferir color u opacidad a un sustrato o para mejorar su resistencia mecánica. El tipo de pigmento de la pintura determina el color y la estabilidad del color de la pintura, mientras que la cantidad de pigmento determina el brillo y la opacidad del recubrimiento. Los pigmentos inorgánicos tienen mayor estabilidad frente a la luz ultravioleta y a la temperatura.

**A. Clasificación de los Pigmentos.** Los Pigmentos se pueden clasificar:

**Pigmentos coloreados:** Óxidos de Hierro, ftalocianina.

**Pigmentos blancos:** Dióxido de titanio, litopón, óxido de zinc.

**Pigmentos metálicos:** Escamas de aluminio (aumentan la impermeabilidad y aportan un acabado metálico), níquel y plata (se emplean como pigmentos en pinturas conductoras de la electricidad).

**Pigmentos funcionales, de refuerzo, inertes o cargas:** son compuestos minerales de color blanco o neutro que mejoran la dureza, matizado, opacidad, propiedades anticorrosivas, etc. Por ejemplo: fosfato de zinc, cromato de zinc, carbonato cálcico, talco, barita, mica, sílice, caolín.

**Pigmentos perlescentes:** Micas tratadas con óxidos metálicos.

**B. Propiedades Físicoquímicas de los Pigmentos.** Las propiedades físicoquímicas de los pigmentos son las siguientes:

**Color Básico.** Pone de manifiesto el color de los pigmentos cuando se dispersan solos en un vehículo. Evidentemente es una propiedad esencial ya que el primer requisito de cualquier pigmento es que produzca un acabado del tono deseado.

**Color Secundario.** El tono secundario es una propiedad de gran importancia, principalmente en los pigmentos coloreados y se obtienen tonos que se obtienen cuando se mezclan con otros pigmentos en grandes cantidades. A menudo es muy diferente del que se espera obtener en relación con su color básico.

**La Intensidad.** Es un factor importante tanto en el pigmento blanco como en los de color. Esta propiedad se refiere al poder colorante cuando se mezcla con otros pigmentos de tono secundario muy diferente. Se determina en los pigmentos coloreados, mezclándolos con blanco en ciertas proporciones fijas y en los pigmentos blancos mezclándolos con negro.

**Poder Cubriente.** Se refiere a la capacidad de un pigmento para cubrir los substratos cuando se incorpora a un medio adecuado y se extiende sobre la superficie en una película de grosor uniforme. El poder cubriente de los pigmentos de tipos diferentes varía ampliamente de diversos factores.

**Distribución del tamaño de las partículas.** El tamaño de las partículas de los pigmentos es otra propiedad importante, ya que afecta al poder cubriente, al brillo y a la tersura de la película de los recubrimientos de superficie. Puesto que la mayoría de las partículas de los pigmentos son más o menos redondas, normalmente su tamaño se establece en función del diámetro medio, medido en micras. El tamaño de las partículas de los pigmentos comerciales varía en una amplia escala cuyo límite superior está próximo a  $44 \mu\text{m}$ .

**Dispersabilidad.** El tamaño de las partículas, no es por desgracia el único factor que gobierna la facilidad con que se pueden producir acabados suaves y brillantes mediante los modernos métodos de dispersión de pigmentos. Estas partículas tienden a aglomerarse como racimos de uvas a causa de ciertas fuerzas de cohesión, por eso el tamaño efectivo de las partículas de los pigmentos es a menudo muchos más grande. Es evidente que esta aglomeración puede disminuir la intensidad y el poder cubriente.

**El Brillo.** Es una propiedad importante, el grado de brillo real logrado en un acabado se espera que sea el mayor posible. Todos los pigmentos, aun aquellos que tienen buena textura, y que se dispersan adecuadamente, tienden a reducir el brillo de los vehículos a los que se incorporan. Se puede obtener un gran brillo cuando el vehículo moja muy bien el pigmento, pero si el brillo es bajo, la mojabilidad del pigmento por el vehículo será probablemente mala.

**Estabilidad frente a:**

- El Calor
- La Luz
- La Humedad
- Los Reactivos químicos

- ***Aditivos***

Los aditivos son productos muy importantes, que se añaden a las pinturas en cantidades que oscilan entre el 0.001% y el 5% en peso y que tienen una profunda influencia en sus propiedades físicas y químicas.

**A. Clasificación de los aditivos**, se puede clasificar a los aditivos en función de la propiedad que afectan, de la siguiente manera:

- **Aditivos que afectan a la viscosidad.** Cuando una pintura está en reposo tiene un aspecto gelatinoso si la sometemos a agitación las partículas se separan y disminuye la viscosidad. Si se para o disminuye la agitación la floculación, así se llama comenzará de nuevo y aumentará la viscosidad. Luego las pinturas parecen tener dos viscosidades: una alta cuando está en reposo y una baja cuando se agita. En realidad tiene un amplio espectro de viscosidades, correspondientes a todos los grados de esfuerzo cortante entre cero y un valor al que la viscosidad es mínima, o a todas las etapas de floculación parcial, entre la floculación completa y la defloculación total. Si la floculación tiene lugar lentamente, la viscosidad medida a bajos grados de esfuerzo cortante, aumenta con el tiempo durante el período de reposo después de una agitación adecuada. Cuando esto sucede se dice que la pintura es tixotrópica. Si no hay dependencia con el tiempo o con el tratamiento previo de la pintura y si la viscosidad disminuye al aumentar el esfuerzo cortante, entonces se dice que la pintura es pseudoplástica. Si se requiere un esfuerzo umbral antes de que la pintura fluya, el comportamiento de la viscosidad se dice que es plástico. Todos estos comportamientos se dice que son contrarios a la

ecuación de Newton, y por ello se agrupan bajo la denominación de viscosidad no Newtoniana. La mayoría de las pinturas presentan cierto grado de viscosidad no Newtoniana, que si es marcado puede resultar beneficioso para la pintura, ya que son fáciles de aplicar y no se desprenden porque la viscosidad sube tan pronto la pintura se inmoviliza sobre el objeto al que cubre. Como contra las marcas de aplicación serán difíciles de eliminar.

- **Aditivos que afectan a las tensiones superficiales e interfaciales.** Aparte de los defectos introducidos por el método de aplicación, se pueden presentar otros problemas imprevistos. Por ejemplo la aparición de burbujas, agujeros o cráteres en la película, que suele ser debido a un secado inadecuado a temperatura ambiente antes de ser cocida la pintura; o también a la presencia de demasiado disolvente de punto de ebullición bajo, o a una reacción en la pintura con producción de gas, o a una capa inferior defectuosa. Otro defecto es el llamado rubor de la pintura, cuando se la blanquea la superficie de una película que debería de ser clara, o cuando se pierde el brillo de una superficie con pigmentos; esto es debido a condensación y posterior emulsión del agua de la película. Si el agua se evapora después de fijarse la pintura se forman burbujas. La refracción, reflexión y difracción conducen a una apariencia lechosa. Estos y otros defectos se pueden subsanar cambiando las condiciones de secado. Hay un defecto llamado cisuras que requiere un aditivo para su solución. Las cisuras son pequeñas depresiones en forma de platillos que aparecen en la superficie de la película. Están causadas por partículas de material incompatible, que caen o están presentes en la pintura durante su secado. Se dice que existe una alta tensión interfacial entre la pintura y las partículas. Para prevenir la aparición de cisuras, hay que añadir un aditivo que reduzca la tensión interfacial. Cuando cae la tensión interfacial, la partícula se moja y es absorbida por la película. Los agentes tenso activos (surfactantes), reducen la tensión interfacial.
- **Aditivos que afectan a la apariencia.** La naturaleza del brillo depende de la rugosidad de la superficie por ello para reducir el brillo de una superficie debemos hacerla más rugosa. En los acabados con pigmentos, esto se consigue aumentando el número de partículas de pigmento presentes en la pintura y por lo tanto en su

superficie. Los acabados con pigmentos coloreados con frecuencia cambian su color al secar, debido a la migración hacia o desde la superficie de la pintura. Los pigmentos inertes de refuerzo de finas partículas son efectivos para controlar este problema conocido como floating (flotante, separación de uno o más pigmentos al secarse la pintura), o como flooding (anegación) cuando el problema es más grave. Las últimas clases de aditivos que afectan a la apariencia son estabilizadores de luz y colorantes fluorescentes incoloros. Las pinturas pueden perder color por desvanecimiento del pigmento, y también puede romperse el polímero en el aglutinante. La causa primaria de estos problemas puede ser el efecto de la radiación incidente, especialmente la UV. Los absorbedores de UV, tienen la capacidad física de absorber las radiaciones UV, con lo que evitan que alcancen y ataquen el aglutinante. Estos absorbedores se utilizan ahora en combinación con limpiadores de luz de amina obstaculizada. Estos capturan los radicales libres producidos por la acción de la radiación, que de otra forma provocaría una degradación del polímero.

- **Aditivos que afectan a las reacciones químicas.** Estos son los productos conocidos como “activadores” (o catalizadores) y, “aceleradores”, “secadores”, “inhibidores”(o soluciones retardadoras) dependiendo de si inician o modifican la velocidad de la reacción de secado respectivamente. Un inhibidor ralentiza la reacción de secado a base de reaccionar con los radicales libres, evitando que estos inicien una polimerización por adición. Las soluciones retardadoras son simplemente soluciones de un inhibidor. Un retardador puede ser también un diluyente de lacas que contiene disolventes de alto punto de ebullición.
- **Aditivos que afectan a los microorganismos vivos.** Las pinturas pueden deteriorarse por la acción de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos). Todos los microorganismos pueden estropear las pinturas líquidas en el continente, pero sobre todo son las bacterias quienes producen estos efectos indeseables. Las bacterias pueden producir gases, reducción de la viscosidad y pérdida de color en las pinturas de látex. Pueden entrar en la pintura a través de sus ingredientes (incluyendo el agua) y por equipos no esterilizados. Todo esto se

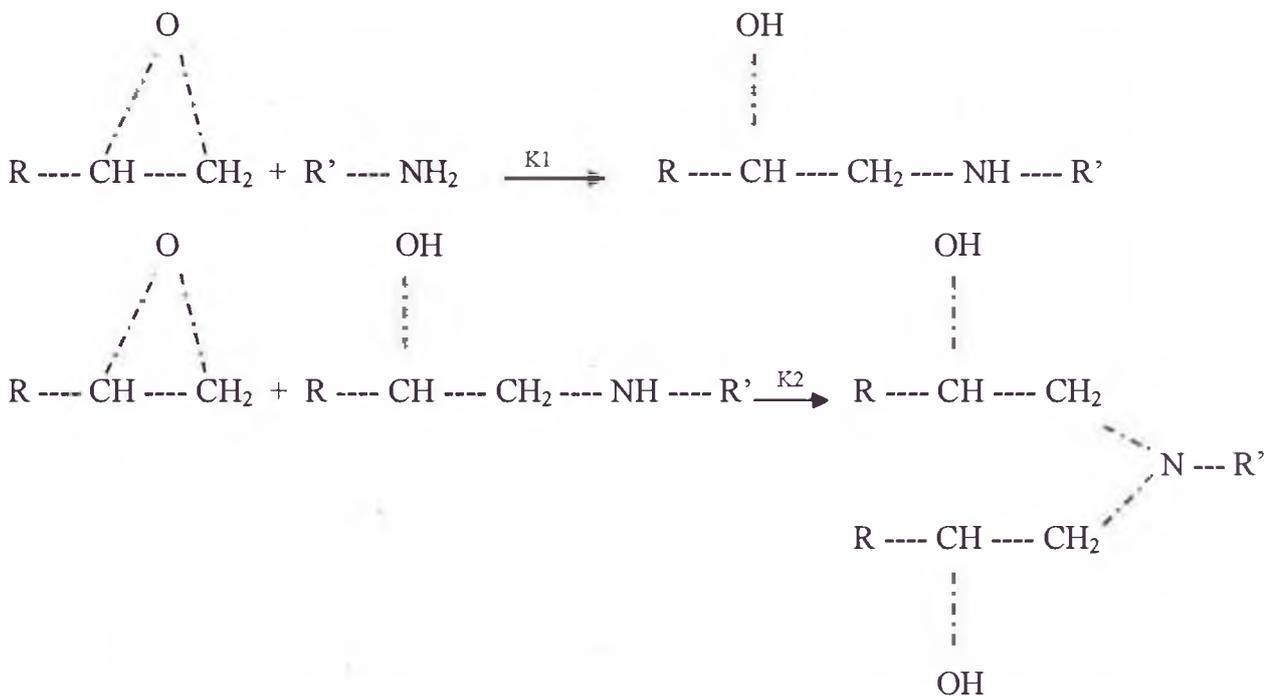
puede prevenir con esterilizaciones periódicas de la fábrica. Sin embargo la inclusión en la pintura de un bioácido (bactericida) en bajas concentraciones puede ayudarnos. Actualmente se tiene especial cuidado en la utilización de estos productos y siempre al nivel mínimo necesario. Ejemplos: óxidos de cobre, óxido cuproso y tiocianato cuproso, etc.

- ***Sistemas Epóxicos***

Los esmaltes a base de ligantes epóxicos, ocupan un importante espacio en el campo de los revestimientos industriales, las combinaciones más frecuentes en el área de productos para mantenimiento industrial para las resinas epoxi son con poliamida y poliamina. Estos polímeros tienen diversas y extraordinarias propiedades que los caracterizan, tales como: resistencia a ambientes químicamente agresivos y durabilidad en trabajos pesados que exigen resistencia a los daños mecánicos.

Las resinas epoxi son materiales que bajo determinadas condiciones (calor, radiación ultravioleta, presencia de un agente endurecedor), polimerizan dando lugar a materiales termoestables de notable resistencia que no pueden moldearse por la acción del calor. Una resina epoxi es capaz de reaccionar con un agente endurecedor (o simplemente agente de curado) originando polímeros formados por redes tridimensionales de cadenas ampliamente entrecruzadas. El proceso de polimerización también recibe el nombre de curado. Las propiedades finales del polímero están ligadas al epóxido de partida y al agente de curado empleado, pero también a las condiciones bajo las cuales se realiza el proceso de curado. Entre los agentes de curado más utilizados se encuentran las aminas debido a su gran reactividad. Las resinas epoxis curados con aminas se utilizan frecuentemente en la industria electrónica, aeroespacial y de la construcción, así como también en algunas aplicaciones en medicina y odontología. El proceso de curado afecta la estructura química de la red tridimensional y, por lo tanto, determina las propiedades físicas finales del polímero.

**Sistemas Epóxido/Amina.** En forma general, la reacción de curado entre un epóxido y una amina primaria, puede describirse en dos etapas, como se muestra en la Figura N° 12. En la primera etapa, se produce un ataque nucleófilo de la amina primaria al carbono menos sustituido del grupo oxirano produciéndose la apertura del anillo con la consiguiente formación de un grupo hidroxilo y la conversión de la amina primaria en secundaria.



**Figura N° 12:** Reacciones que tienen lugar durante el curado (con aminas) de una resina epoxi.

En la segunda etapa, la amina secundaria formada se consume reaccionando con el exceso de epóxido. Se produce un segundo ataque nucleófilo del grupo amino de la amina secundaria sobre el grupo oxirano, con la formación de un nuevo grupo hidroxilo debido a la apertura del anillo. La amina secundaria se transforma así en una amina terciaria. Las etapas representadas en la Figura N° 12, tienen lugar de forma mayoritaria pero, dependiendo de las condiciones de reacción (temperatura, concentración de los grupos reactivos, presencia o ausencia de catalizadores), se pueden producir otras reacciones colaterales como la eterificación, la homopolimerización, reacciones de ciclación y degradación.



La reacción entre un epóxido y una amina presenta un mecanismo autocatalítico. Es decir, los grupos hidroxilo formados durante la reacción actúan catalizando la reacción entre el grupo oxirano y el grupo amino. Si bien las reacciones descritas en la Figura N° 12, tienen lugar durante el curado de una resina epoxi, el mecanismo por el cual ocurren no está completamente establecido y existen diversas hipótesis planteadas al respecto.

Modificaciones físicas durante el proceso de curado. A lo largo del proceso de curado, el sistema sufre distintas transformaciones que están relacionadas con las propiedades físicas del polímero en formación. Estas transformaciones están marcadas por dos fenómenos característicos de los polímeros amorfos: la gelificación y la vitrificación.

La gelificación es el cambio irreversible que experimenta el polímero desde un estado líquido-viscoso (sol) a un gel elástico que representa la aparición de una red tridimensional entrecruzada. El paso de sol a gel está identificado por el llamado punto gel. Antes de la gelificación el sistema es soluble pero, una vez atravesado el punto gel, parte del polímero se vuelve insoluble debido al extenso entrecruzamiento entre las cadenas formadas. A medida que el polímero se acerca a la gelificación, la viscosidad se incrementa abruptamente y el peso molecular del polímero crece de forma drástica.

La vitrificación es un proceso termo-reversible, que implica el cambio desde un estado líquido o gel a un estado vítreo, en el que el material se vuelve rígido. La temperatura a la cual se produce este fenómeno se denomina temperatura de transición vítrea (Tg). La vitrificación ocurre cuando la temperatura de curado es inferior a la Tg del material que está curando. A medida que el polímero avanza en su grado de curado, también se modifica la Tg produciéndose un aumento de la misma. Siempre que la temperatura de curado se encuentre por encima de la Tg del polímero (en cualquier estado del curado) la reacción evolucionará normalmente. En el momento en el cual el polímero alcance un grado de curado tal que su Tg supere la temperatura de curado, la reacción se detendrá debido al impedimento en la movilidad de las cadenas, necesaria para que la reacción se produzca.

**Capítulo II: Proceso de Fabricación y Acabados sobre piezas de Zamac**

En lugar de punto de vitrificación, es común hablar de una región de vitrificación en la cual la reacción comienza a hacerse más lenta para, finalmente, detenerse por completo.

La tabla N° 8, muestra clases de resinas con las que pueden reaccionar las resinas epoxi, grupo a reaccionar y condiciones de temperatura de reacción.

**Tabla N° 8:** *Reacciones de Resina Epoxi con otras resinas.*

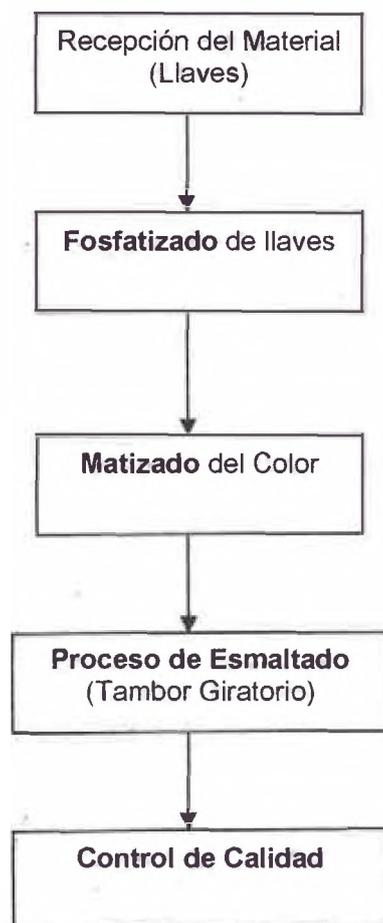
Clase de Resina	Sub clasificación	Grupo reactivo de la resina epoxi	Grupo reactivo en formar enlace	Temperatura de reacción
Aminas	Alifáticas	Oxirano	Amina	Ambiente
	Aromáticas	Oxirano	Amina	Alta (solo modificadas)
	Poliamidas	Oxirano	Amina / Amida	Ambiente
Ácidos Grasos	Aceites	Oxirano / Hidroxilo	Carbonilo	Alta
Acrílicos	Hidrolilados	Oxirano / Hidroxilo	Hidroxilo	Alta
	Carboxilados	Oxirano / Hidroxilo	Carbonilo	Alta
Poliéster	Hidroxilados	Oxirano / Hidroxilo	Hidroxilo	Alta
	Carboxilados	Oxirano / Hidroxilo	Carbonilo	Alta
Poliisocianatos	-	Oxirano / Hidroxilo	Isocianato	Ambiente
Resinas amino	-	Oxirano / Hidroxilo	Metilo / alquilo / amino	Alta

### 2.3.2 Diagrama de Flujo del Proceso Industrial de Acabado Esmaltado

El Proceso de Esmaltado consta de varias etapas:

- Fosfatizado de llaves
- Matizado de color
- Esmaltado en Tambor Giratorio
- Control de Calidad.

El Diagrama de Flujo del Proceso se muestra en la figura N° 15.



*Figura N° 15: Secuencias del Proceso de Esmaltado de llaves.*

### **2.3.3 Proceso de Fosfatizado [6]**

Para poder esmaltar una pieza de metal (zamac), primero se debe tratar la superficie, para que esta quede libre de grasa, oxido, y formar una capa que incremente de manera significativa la adherencia del esmalte (pintura), usamos para esto un proceso de conversión química de fosfato, “**fosfatizado**”. Sin emplear el fosfatizado, las superficies metálicas son susceptibles de ser corroídas y el anclaje de la pintura se ve disminuido.

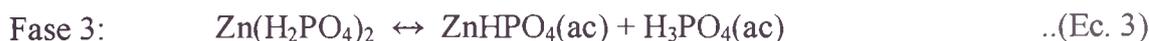
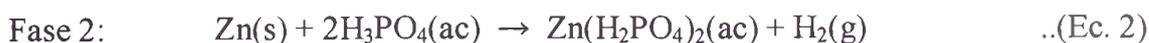
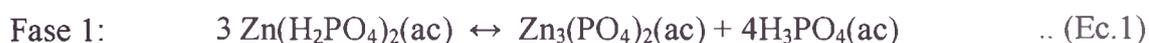
**El fosfatizado** es un proceso mediante el cual se forma una capa insoluble de fosfato sobre un sustrato de hierro, **zinc** o aluminio. Esta película de fosfato tiene como objetivo principal: Ser base para mejorar del anclaje de la pintura en sustratos que requieren ser pintados y para prevención de la corrosión bajo la pintura. Los recubrimientos de fosfato consisten en soluciones acuosas de fosfato diácidos de zinc o manganeso, ácido fosfórico libre, agentes oxidantes y ciertos iones de metales pesados como, el cobre.

Cuando las piezas del metal se colocan en estas soluciones, diminutas pilas eléctricas producen iones en las zonas anódicas y cargas negativas que reaccionan con iones de hidrógeno para formar hidrógeno libre en las zonas catódicas. Esto reduce la concentración del ión hidrógeno en las capas de la solución próximas a las zonas catódicas de la superficie metálica y cambia en estas zonas los fosfatos diácidos solubles en fosfatos secundarios y terciarios insolubles. Los fosfatos insolubles forman un recubrimiento cristalino adherente e inherente al metal base. Los agentes oxidantes y los iones metálicos pesados aceleran la formación de la capa. Los agentes oxidantes despolarizan los cátodos por separación de hidrógeno, lo cual reduce el desprendimiento de hidrógeno e incrementa la reacción anódica, produciendo ambas acciones una rápida formación del recubrimiento.

Este recubrimiento cristalino de fosfato de cinc formado a partir del cinc disuelto, es extremadamente eficaz, ya que aumenta la adherencia de los recubrimientos de superficies que se aplican después y evitan la expansión de la corrosión desde los arañazos producidos en estos recubrimientos.

El proceso de recubrimiento con fosfato se lleva a cabo por inmersión. El tiempo del tratamiento necesario depende de la temperatura de la solución, de los aceleradores usados, de la cantidad de recubrimiento requerido, y del método de aplicación.

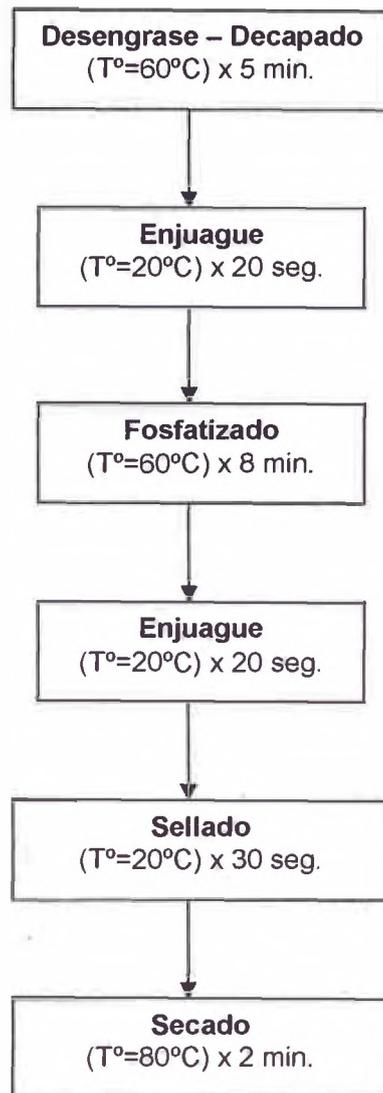
El método de limpieza usado antes de aplicar el recubrimiento de fosfato tiene una estrecha relación con sus características. Se aplica un producto limpiador de emulsión para mejorar la formación de un fino recubrimiento cristalino. La disposición típica para el proceso consta de las cinco etapas siguientes: limpieza, enjuague con agua, tratamiento con fosfato, enjuague con agua y lavado con ácido crómico o ácido fosfórico crómico. El enjuague con agua que sigue a las operaciones de limpieza, separa el agente limpiador y evita la contaminación de la solución de fosfato. El lavado con agua después del fosfato elimina el exceso de agentes químicos y de sedimentos. Un lavado final con ácido amónico muy diluido con una mezcla de ácido fosfórico-crómico “obtura” el recubrimiento y aumenta su resistencia a la corrosión. Una operación de secado completa al ciclo. La reacción típica de un recubrimiento de conversión de fosfato pesado se presenta en las ecuaciones químicas N° 1, 2 y 3.



**La reacción general** del proceso de fosfatizado se presenta en la ecuación N° 4:

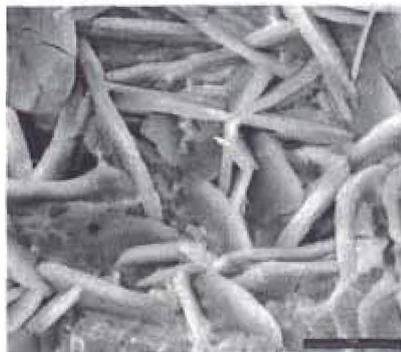


En la figura N° 16, se muestra el diagrama de flujo del proceso de fosfatizado usado para las piezas (llaves) de zamac, que presenta una etapa de limpieza con un desengrasante que también elimina óxidos.



**Figura N° 16:** Diagrama de flujo del proceso de fosfatizado para piezas (llaves) de zamac.

La figura N° 17 muestra una micrografía tomada con un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), donde se aprecian los cristales de fosfato formados en la superficie del metal.



**Figura N° 17:** Micrografía (SEM) de recubrimiento de fosfatizado 5000X.

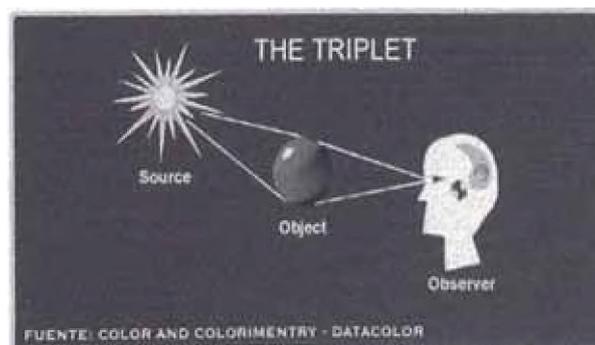
### 2.3.4 Matizado de colores [16]

El matizado es la técnica que consiste en combinar colores y obtener tonalidades con ciertas características, apoyándose del uso de colorímetros debidamente calibrados. A su vez, determina que color es el más apropiada para obtener un tono deseado.

El Color para el químico puede ser el resultado de una reacción química, para el artista, la expresión de un estado de ánimo, para el físico, el resultado de la absorción y reflexión de ondas electromagnéticas y finalmente para el psicólogo, puede expresar rasgos de la personalidad.

El color entonces se puede definir de muchas maneras. Una posible definición fue dada por Judd: "Si dos objetos de igual forma y textura, iluminados con la misma fuente de luz y en iguales condiciones de observación, pueden diferenciarse, el atributo de estos objetos que produce la diferenciación es el color." El color aparece como un fenómeno psicofísico que es producto de la acción conjunta de tres factores fundamentales: fuente de luz, objeto y observador. Además del conocimiento del fenómeno físico real, podremos comprender los esfuerzos que ha realizado la ciencia para estandarizar y reproducir cada uno de esos elementos y así constituir las bases de la teoría del color tal como se concibe hoy en día.

La figura N° 18, muestra los tres componentes (triple) que ayudan a entender el fenómeno del color.



*Figura N° 18: "El triplete": fuente de luz, objeto y observador*

Un iluminante es una luz definida por una distribución de energía, que puede ser o no físicamente realizable. Los iluminantes patrón más comúnmente utilizados son:

- D65: luz solar promedio de observaciones efectuadas a mediodía en diferentes partes del mundo.
- A: lámpara incandescente: corresponde a la luz del cielo del norte al atardecer, prácticamente no posee componente ultravioleta.
- CWF: tubo fluorescente usado comúnmente en tiendas comerciales.

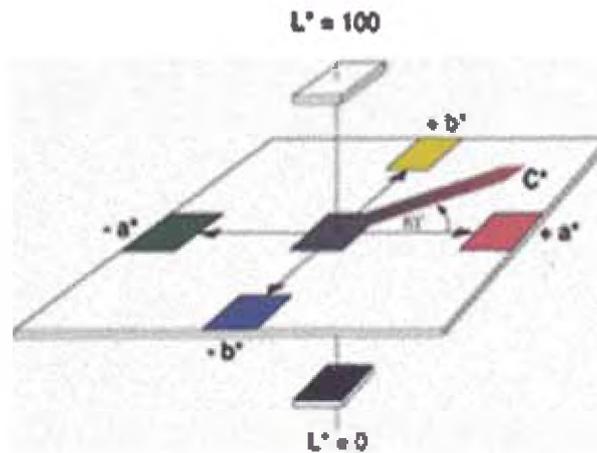
Sabemos que el color es el resultado de una percepción y por lo tanto de interpretación subjetiva. Expresar verbalmente un color es demasiado complicado e inexacto. Para facilitar su descripción analizamos sus tres elementos constitutivos: tono o matiz (color); claridad (luminosidad) y croma (saturación).

- El tono (color) es el atributo de la sensación visual que establece o define el nombre de los colores (violeta, azul, verde, naranja, rojo, etc.).
- Claridad o luminosidad es el atributo de la sensación visual por medio de la cual el objeto transmite o refleja una mayor o menor cantidad de luz.
- La saturación o croma es el atributo, que fijado el tono, describe al color por su similitud con un color espectral puro, cuanto más parecido a éste, se dice más saturado. Dentro de la misma denominación, por ejemplo rojo, existen rojo claro y rojo oscuro, y entre ellos rojo claro vivo y rojo claro apagado.

Así el tono, claridad y saturación son los atributos necesarios para identificar los distintos colores. Estos elementos pueden representarse matemáticamente por tres coordenadas en un espacio tridimensional. De esa forma somos capaces de compensar la subjetividad asociada a esa percepción y por ende lograr un método estándar mediante el cual los colores se pueden especificar de manera objetiva.

**Expresión matemática del color.** Un color se puede representar matemáticamente en el espacio tridimensional por sus tres coordenadas. Existen numerosas expresiones algebraicas para definir un color, pero la nomenclatura CIELab es la más utilizada comercialmente. Un color en el sistema CIELab se expresa en la figura N° 19, donde cada eje representa lo siguiente:

- L : indica la claridad, es decir la posición sobre la escala: claro – oscuro, blanco - negro
- a : indica la posición sobre la escala rojo-verde
- b : indica la posición sobre la escala amarillo-azul
- C : indica croma o saturación
- h : indica el tono o matiz



**Figura N° 19:** Diagrama del Sistema CIE L\*a\*b\*

Normalmente se recurre a la diferencia de color total  $\Delta E^*$  para la representación de las divergencias de color, la ecuación de  $\Delta E^*$  se presenta en la ecuación N° 5:

$$\Delta E^* = [ (\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b^*)^2 ]^{1/2} \quad \dots \text{(Ec. 5)}$$

De esta forma se elimina el problema ocasionado por la subjetividad en la evaluación del color, pues la representación matemática del color como un punto en el espacio, es un dato objetivo.

La diferencia de color entre dos objetos será la distancia que separa sus puntos de color en el espacio, expresada como coordenadas CIELab. En forma objetiva, el sistema simplemente aceptará o rechazará el color en concordancia con las tolerancias numéricas previamente establecidas ente el fabricante y los usuarios de la pintura. Asimismo este procedimiento es válido para la relación del fabricante de pinturas con su proveedor de pigmentos, pues también pueden controlarse en forma objetiva las diferencias entre la partida que se recibe y el patrón de color.

**El metamerismo** es un fenómeno psicofísico definido generalmente como la situación en la cual dos muestras de color coinciden bajo unas condiciones determinadas (fuente de luz, observador, geometría...) pero no bajo otras diferentes. El fenómeno en el cual se basa el metamerismo es que la coincidencia de color es posible incluso aunque la reflectancia espectral de las dos muestras sea diferente, por esto algunas coincidencias de color pueden ser consideradas condicionales. Por otra parte, si dos muestras tienen el mismo espectro de reflexión, coincidirán cuando sean vistas en las mismas condiciones.

### **2.3.5 Proceso de Esmaltado en Tambor Giratorio [2], [17]**

Este proceso consiste en esmaltar pequeñas piezas rodándolas en recipiente giratorio denominado tambor de frotación. Evidentemente es un proceso discontinuo y no se adapta a una aplicación en cadena.

Los tambores están fabricados de acero inoxidable. Pueden ser de sección transversal circular o hexagonales, etc. Los que tienen una sección transversal circular pueden tener barras en la superficie interior para impedir el deslizamiento y provocar el movimiento de la carga en cascada. Van montados sobre armaduras y giran mecánicamente de 12 a 20 r.p.m., dependiendo de las dimensiones de las piezas a esmaltar.

Estos tambores tienen una puerta lateral de cierre hermético, además de un sistema de extracción que elimina los vapores del disolvente.

El proceso no se adapta a las piezas con ángulos agudos o puntiagudos y no da resultados satisfactorios en piezas planas, en forma de disco, y ovaladas. La dimensión aproximadamente más larga para esta operación es de 5 cm.

Los parámetros de control para este proceso son los siguientes:

- **La viscosidad** debe ser estrechamente controlada.

Si es demasiado alta, se requiere un intervalo de tiempo excesivamente largo de permanencia en el tambor para recubrir por completo todas las piezas, y la terminación no queda igualada.

Si es demasiado baja, el recubrimiento pierde espesor y poder cubriente.

La viscosidad de trabajo es de 17 a 19 segundos en Copa Ford N° 4.

- **La cantidad de esmalte** usado por carga, también afecta al aspecto del acabado.

Si es poca la cantidad de esmalte, se obtienen recubrimientos muy delgados y un recubrimiento inadecuado.

Un exceso ocasiona que las piezas se peguen unas con otras.

La cantidad exacta se determina cuidadosamente por medio de ensayos hasta obtener la mayor cantidad de recubrimiento posible con el mínimo de pegajosidad.

Es muy difícil obtener películas por este método tan gruesas como las obtenidas por otros métodos de aplicación a causa de esta tendencia a pegarse. Las cantidades óptimas de esmalte se dan con la experiencia de trabajo.

- **La temperatura del proceso**, es un parámetro muy importante ya que de esta depende el secado de la superficie y la apariencia de las piezas (llaves).

A temperaturas bajas la superficie no seca y se obtendrá un acabado rayado–martillado. A temperaturas altas la película de esmalte se seca, y la fricción con el tambor aumenta quebrándose la capa de esmalte, perdiendo adherencia (quiñaduras).

Se requiere que la temperatura se mantenga siempre en el rango de 60 a 70 grados centígrados.

- **La regulación del flujo** de pintura, es un parámetro muy importante ya que de este depende el acabado de las piezas (llaves).

Un flujo alto produce una superficie demasiado recargada y a la temperatura de trabajo no seca, resultando un acabado martillado.

Un flujo bajo reseca la superficie de las piezas quebrando la capa de esmalte y perdiendo totalmente la capacidad de adherencia del esmalte.

- **La velocidad de rotación**, es un parámetro muy importante, para piezas grandes (180 por kilo) la velocidad de rotación debe ser menor (12 r.p.m.), pues se tendrá problemas con el cubrimiento total de la superficie (no cubre), produciendo además quiñaduras por el contacto entre piezas. Para piezas pequeñas (800 por kilo) la velocidad de rotación debe ser mayor (20 r.p.m.), ya que si es demasiado baja estas tienden a pegarse entre ellas.

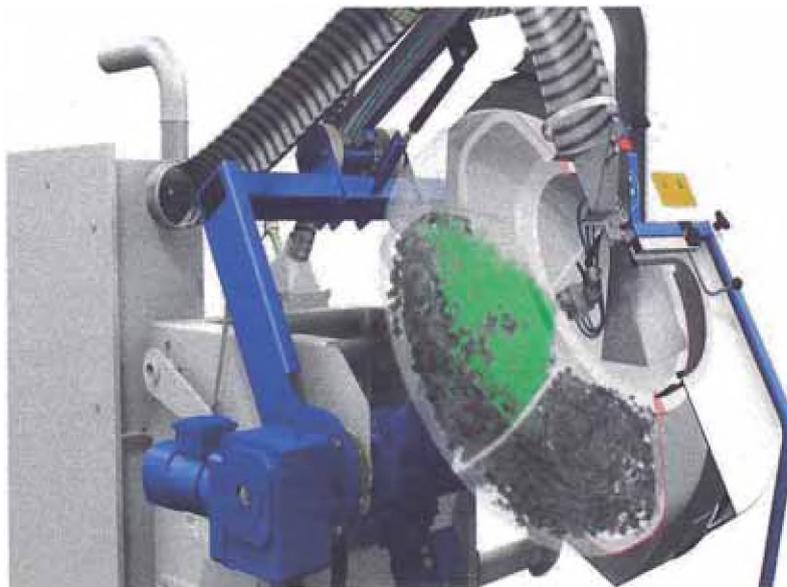
La velocidad de rotación tiene como finalidad principal formar una cascada (regulación de velocidad), ya que esta técnica de esmaltado se basa en la probabilidad de que el esmalte caiga sobre las piezas durante la rotación.

Los parámetros de control para este proceso de esmaltado de llaves de zamac en tambor giratorio se muestran en la tabla N° 9.

**Tabla N° 9:** *Parámetros de Control: Proceso de Esmaltado en Tambor Giratorio*

Parámetro	Rango
Presión de aire	4-5 Barr
Temperatura (°C)	60 –70 °C
Velocidad de rotación	<ul style="list-style-type: none"><li>● 12 rpm Piezas grandes</li><li>● 20 rpm piezas pequeñas</li></ul>
Viscosidad en Copa Ford N° 4 (segundos)	17 – 19
Flujo de pintado	7 – 8 mL/min
Duración del Proceso (minutos)	70 – 90

La figura N° 18 muestra una máquina de esmaltado tipo “ROTOVER”.



**Figura N° 18:** *Maquina de Esmaltado “ROTOVER”*

### 2.3.6 Control de Calidad del Producto [7]

Las piezas esmaltadas, son evaluadas por una serie de controles antes de ser aprobadas y enviadas al área de ensamble de cierres. Para la evaluación se usa tablas de muestreo reguladas por normas internacionales ASTM. Los principales controles son:

- Control del Color: Comparando patrones, con ayuda de Equipo DATACOLOR
- Control de Acabado: Comparando patrones aprobados por los Clientes.
- Control de Adherencia: Evaluación de las llaves según norma ASTM D2051-03.

**La prueba de lavado** se realiza en un equipo llamado “Landerómetro”, este equipo se utiliza para evaluar resistencias de color al lavado de los textiles teñidos, impresos y esmaltados. Según el método ASTM; D2051-03, “Test Method for Durability of Finish of Zippers to Laundering”, se mide la durabilidad de los esmaltes y otros recubrimientos decorativos en cierres, que simula lavados acelerados a distintas condiciones.

Los estándares muestran tres tipos de condiciones para esta evaluación, las cuales se muestran en la tabla N° 10.

**Tabla N° 10:** *Tipos de Variantes de la Evaluación “Test Method for Durability of Finish of Zippers to Laundering”*

Tipo de Prueba	T ( °C )	Cantidad de billas	Velocidad de Rotación ( rpm )	Tiempo duración ( Min )	Volumen total de líquido ( mL )	% Detergente de volumen total	Interpretación de los Resultados
1 A	40 ± 2	10	40 ± 2	45	200	40 ± 2	Simula 5 lavados manuales a baja Temperatura.
2 A	49 ± 2	50	40 ± 2	45	100	40 ± 2	Simula 5 lavados en lavadora de casa (38 °C).
3 A	71 ± 2	100	40 ± 2	45	50	40 ± 2	Simula 5 lavados en lavadora Industrial (49 °C).

## **2.4 Proceso Industrial de Acabados Galvanizados**

### **2.4.1 Fundamento de los Procesos de Galvanizado [8], [9], [10], [15]**

**La Electroquímica** es una rama de la química que estudia las reacciones que toman lugar en la interfase de un conductor eléctrico, donde el electrodo está compuesto de un metal o un semiconductor, (incluyendo el grafito) y un conductor iónico (el electrolito).

**La Galvanotécnia** es una técnica que consiste en la electrodeposición de un recubrimiento metálico sobre una superficie que puede ser o no metálica.

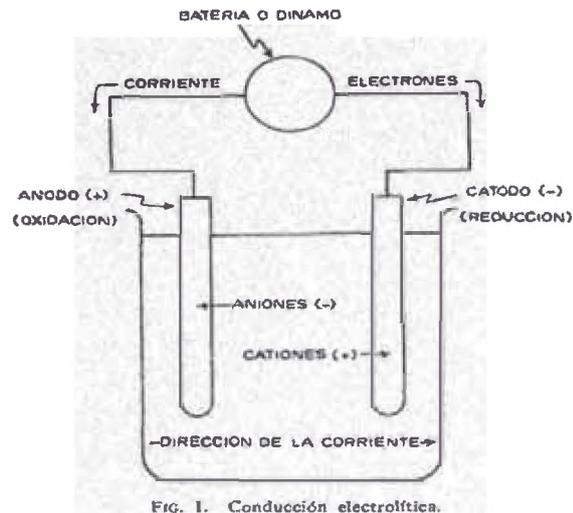
**La Galvanostegia** se refiere a los recubrimientos hechos electrolíticamente sobre superficies metálicas; puede realizarse de dos maneras diferentes, en forma catódica o anódica (anodizado).

**La Celda Electrolítica** es un conjunto de elementos conformado por: el recipiente, la solución (baño electrolítico) y los electrodos (ánodos y cátodos), donde por acción de cierta cantidad de energía eléctrica externa, se producen una serie de reacciones químicas que dan lugar a la formación de un recubrimiento metálico sobre el cátodo, o la formación de una capa de oxido metálico sobre el ánodo. Un esquema se muestra en la figura N° 21.

**Principios de la Electrodeposición.** El peso (W) de un metal depositado es proporcional a la cantidad de electricidad consumida en un tiempo determinado, como se presenta en la ecuación N° 6:

$$W \text{ (g)} = [1/(96500)] \times [(1\text{eq-g)} \times I \times t] \quad \text{..(Ec. 6)}$$

La intensidad I se expresa en amperios y el tiempo t se expresa en segundos.



*Figura N° 21: Esquema de una celda electrolítica*

**Densidad de Corriente**, es la corriente eléctrica aplicada en un proceso electrolítico referida a un área específica, se expresa en amperios por el área seleccionada ( $A/dm^2$ ). Los valores de la densidad de corriente durante el proceso están en función de la composición del baño, la temperatura, la cantidad de piezas, etc.

**La Soluciones Tampón**, conocidas también como buffers, son compuestos químicos que se disocian parcialmente en la solución y se utilizan en galvanotécnica para reducir los cambios bruscos que se pueden presentar cuando se agregan ácidos o álcalis fuertes a las soluciones con la finalidad de controlar el pH, produciéndose un efecto de autorregulación de la solución, y actuando fundamentalmente en las zonas donde se producen los cambios con mayor rapidez, como son las proximidades del cátodo donde se produce el hidrógeno como gas y por consecuencia se desprende de la solución enrareciéndola de iones hidrógeno. Ejemplos: Acetato de sodio, carbonato de sodio, soluciones de hierro II y III, tetracloruro de hierro, etc.

**Eficiencia de la Corriente Eléctrica** es la proporción del total de corriente aplicada, que realmente se consumen en el proceso galvánico. Esta puede ser catódica y anódica. Matemáticamente se puede expresar por la ecuación N° 7.

$$\text{Eficiencia de Corriente} = [\text{Corriente experimental} / \text{Corriente teórica}] \times 100\% \dots (\text{Ec.7})$$

**La Eficiencia Catódica**, es la proporción de corriente que es empleada para la deposición del metal sobre el cátodo. Su cálculo se basa en la medición de la corriente que fluye a través del baño durante el proceso, permite calcular el peso teórico que corresponde a dicha lectura; que luego es comparada con el peso real del depósito obtenido en el proceso señalado.

**La Eficiencia Anódica**, de igual forma, puede ser expresada como la relación entre el peso real del ánodo que se disuelve durante el proceso y el peso teórico del mismo que se obtiene como consecuencia de la medición de la corriente eléctrica que fluye por el baño, expresado en porcentaje.

**Un Deposito Electrolítico**, es la capa que se deposita mediante un proceso galvánico, esta constituida por cristales cuya formación y textura determinarían finalmente las características y comportamiento de la misma.

En todo proceso de cristalización se observan dos etapas fundamentales:

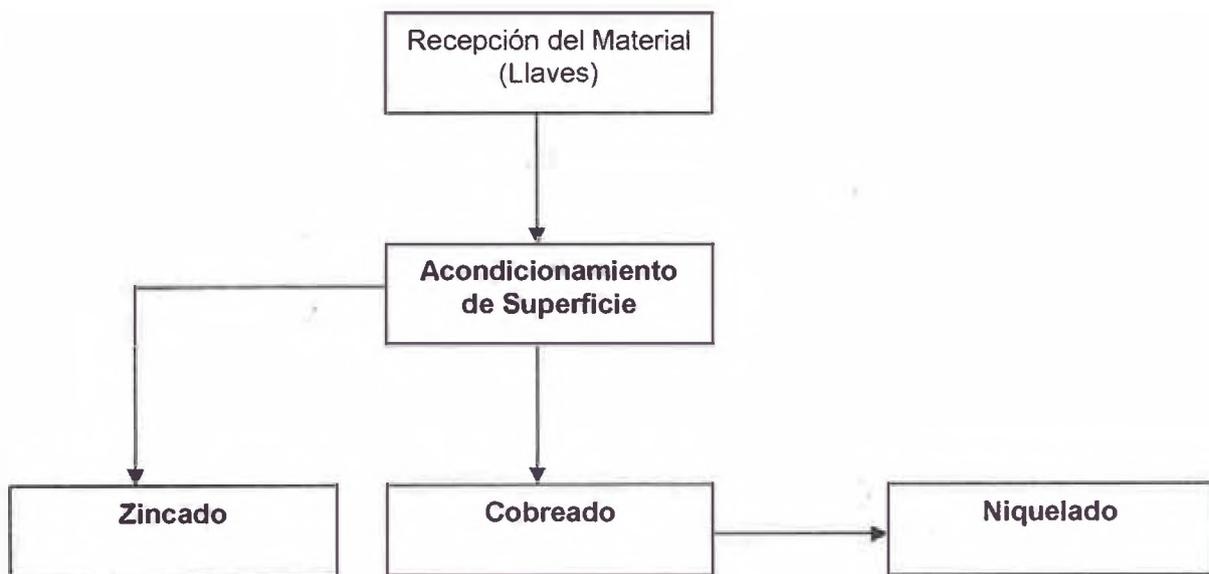
- La formación de los gérmenes cristalinos
- El desarrollo de los mismos hasta lograr la estructura final.

**Polarización electroquímica** se le llama a la reducción de la fuerza electromotriz de un elemento voltaico como consecuencia de las alteraciones que su propio funcionamiento provoca en sus partes constituyentes, los electrodos y el electrolito. La reducción del voltaje que aparece en los bornes equivale a un aumento de la resistencia interna del elemento. Esta modificación es en parte transitoria, pues, tras interrumpirse la circulación de la corriente, es normal que se recupere, en parte y espontáneamente, la situación anterior al cabo de cierto tiempo, pero a la larga es acumulativa y termina por hacer inservible la celda. Naturalmente es un inconveniente serio, que priva de utilidad a los elementos voltaicos de estructura sencilla, ya que la corriente que pasa por el circuito externo disminuye continuamente, a veces con gran rapidez.

### 2.4.2 Diagrama de Flujo del Proceso Industrial de Acabado Galvánizado [8], [9], [11]

El Proceso de Galvanizado es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro. Los procesos de galvanizado que se usan para piezas de zamac son: zincado, cobreado y niquelado. Se considera la etapa previa para estos procesos, el tratamiento de superficie.

La figura N° 22 muestra el Diagrama de Flujo de los Proceso Industrial de Acabado Galvanizado.



*Figura N° 22: Diagrama de Flujo del Proceso Industrial de Acabado Galvanizado.*

### 2.4.3 Tratamiento de Superficie [8], [9]

El tratamiento de la superficie de las piezas de zamac (llaves), consta de distintos procesos, podemos mencionar los siguientes:

### Proceso de Pulido.

Por el tamaño y diseño de las piezas, resulta difícil pulir las piezas de zamac, utilizamos dos maquinas para realizar este proceso:

- Pulido en máquinas con tambores giratorios.
- Pulido en máquinas vibradoras

### Proceso de Decapado.

Comúnmente las piezas que van a ser sometidas a procesos electrolíticos se encuentran oxidadas o con escorias, las cuales son removidas con un tratamiento conocido como decapado, el cual puede ser de distintas maneras:

- **Decapado mecánico o arenado.** Elimina los óxidos mediante la proyección de partículas abrasivas a gran velocidad sobre la superficie metálica.
- **Decapado Químico.** Elimina los óxidos por medio del ataque de productos químicos corrosivos sin aplicación de corriente eléctrica. Este proceso se basa en la solubilidad que presenta el metal base ante la solución corrosiva. La Tabla N° 11 muestra la composición de soluciones de decapado químico comúnmente usadas.

*Tabla N° 11: Composición de las soluciones de decapado químico (mg/l)*

Metal base	Ácidos					Aditivos
	Clorhídrico	Sulfúrico	Nítrico	Crómico	Fluorhídrico	
Hierro y aceros no aleados	150 – 600	50 – 100				Glicerina
Aceros inoxidables			40 – 70		10 - 50	
Cobre y sus aleaciones	3	250	360			
Aluminio y sus aleaciones		75 - 100		50		Ácido fosfórico
Zinc y sus aleaciones				250		Sulfuro sódico

- **Decapado Electrolítico.** En este proceso además de actuar la solución decapadora, se aplica también corriente eléctrica para acelerar el proceso.

**Proceso de Desengrase.**

Es el proceso en el cual se elimina toda la grasa remanente sobre la superficie de las piezas. Este se realiza de diversas maneras y se le puede clasificar en:

- **Desengrase Fisicoquímico.** Pueden dividirse en dos grupos, en función a los agentes de limpieza: Solventes y soluciones alcalinas.

Las tablas N° 12 muestran solventes desengrasantes de mayor uso.

Las tablas N° 13 muestran soluciones alcalinas desengrasantes usadas sobre metal base “zamac”.

**Tabla N° 12:** *Solventes usados como desengrasantes.*

Disolvente	Composición	Punto de ebullición
Dicloruro de metilo	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	42.0
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	61.2
Tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	76.8
Dicloroetano	CH <sub>2</sub> Cl-CH <sub>2</sub> Cl	83.7
Tetracloroetano	CHCl <sub>2</sub> -CHCl <sub>2</sub>	145.0
Pentacloroetano	CHCl <sub>2</sub> -CCl <sub>3</sub>	159.0
Tricloroetileno	CHCl=CCl <sub>2</sub>	86.7
Percloroetileno	CCl <sub>2</sub> =CCl <sub>2</sub>	120

**Tabla N° 13.** *Formulaciones de desengrase alcalinos*

Baño Metal a tratar	Composición del baño en gr / L			
	Fosfato trisódico	Silicato sódico	Agente. tensoactivo	Temp. (°C)
Aleaciones de cobre y aleaciones de zinc	20-28	20-28	0.5-1.0	70-90

- **Desengrase Electrolítico.** Es aquel en el cual, además de los productos químicos desengrasantes, se aplica corriente eléctrica, para ayudar a mejorar el resultado y disminuir el tiempo del proceso. La tabla N° 14 muestra soluciones desengrasantes y sus condiciones de uso.

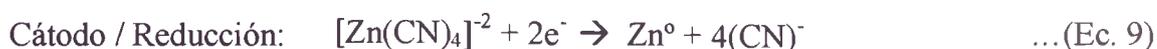
**Tabla N° 14:** *Soluciones alcalinas usadas como desengrasantes.*

<b>Metal base Composición</b>	<b>Aleaciones Ferrosas</b>	<b>Zinc y sus aleaciones</b>	<b>Aluminio y sus aleaciones</b>
Cianuro de sodio	40	40	
Hidróxido de sodio	40	20	
Fosfato trisódico	40		
Carbonato de sodio		40	50
Fosfato de sodio			20
Agente humectante	0.75	0.75	0.75
Voltaje (V)	6	6	6
Temperatura (°C)	50	50	50
Densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> )	12	12	10

- **Desengrase por medio de ultrasonido.** Consiste en someter a las piezas a vibraciones de alta frecuencia, transportadas por la solución hasta las piezas, actuando sobre ellas y provocando el desprendimiento de las partículas de grasa, las cuales son disueltas luego por la solución.

#### 2.4.4 Depósitos de Zinc “Baño de Zincado” [8], [9]

La deposición de zinc sobre piezas de zamac se lleva a cabo en baño llamado “zincado”, para lo cual estas piezas han sido previamente tratadas. Para el proceso de deposición de zinc sobre zamac, utilizamos un baño en condiciones alcalinas, obteniendo depósitos brillantes, que compiten con los de cadmio, puesto que éste es menos tóxico y mucho más económico. Las ecuaciones químicas N° 8 y 9, son las involucradas en el proceso.



La tabla N° 15, muestra la composición, análisis y condiciones de trabajo para un baño de zincado.

*Tabla N° 15: Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Zincado.*

<b>Composición</b>	<b>(g / L)</b>
Cianuro de zinc	80
Cianuro de sodio	38
Hidróxido de sodio	116
Abrillantador	+
<b>Análisis del Trabajo</b>	<b>(g / L)</b>
Zinc como metal	40 - 46
Cianuro de sodio total	90- 110
Relación NaCN/Zn	2.2 – 2.5
Soda total	100 - 120
<b>Condiciones de Trabajo.</b>	
Temperatura (°C)	15 - 35
Densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> )	7 - 9
PH	13
Tiempo (min.) para 20 kg. de llaves	60
Voltaje (voltios)	9 - 12

La tabla N° 16 muestra el análisis de posibles defectos en el baño de zincado, analiza posible origen del problema y plantea alternativa de solución.

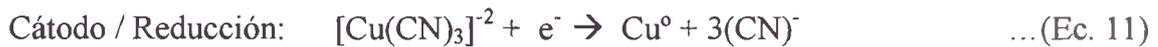
**Tabla N° 16: Identificación y Corrección de Defectos en baño de Zincado**

Defecto visible	Origen posible	Corrección
Pobre adherencia la material base, presencia de ampollas o tendencia del deposito a "pelarse".	Presencia de grasa, óxidos o manchas sobre las piezas	Revisar el procedimiento de desengrase y corregir.
		Chequear que las aguas de enjuague estén limpias.
		Chequear que las soluciones de decapado no tengan grasa.
		Decapar en ácido o remover el oxido por pulido.
	Material oxidante en el baño.	Si los parámetros del baño están bien y la anomalía persiste, agregar 6 gr./L de polvo de zinc, agitar y dejar sedimentar antes de zincar.
	Solución fuera de balance.	Analizar el contenido de zinc, cianuro y soda en el baño y corregir las deficiencias para mantener la relación cianuro/zinc establecida.
Deposito brillante pero manchado y falta de nivelación.	Baño fuera de balance.	Analizar el baño y corregir las deficiencias.
	Enjuagues insuficientes.	Enjuagar bien con agua limpia, después del decapado o desengrase.
	Falta de abrillantador.	Agregar el abrillantador en la cantidad que indica el fabricante.
	Contaminación del baño con metales extraños.	Agregar 0.2 a 0.5 gr/L de sulfuro de sodio, 0.6 gr/L de polvo de zinc y filtrar. Se puede usar aditivos patentados.
Pobre poder de penetración y excesiva formación de gas en el cátodo.	Gran exceso de cianuro de sodio, o soda o ambos.	Analizar el baño y corregir el exceso dejando los ánodos dentro de la solución durante la noche.
Depósitos muy débiles o inexistentes.	Muy alto contenido de carbonato de sodio.	Corregir como en el caso ya indicado.
	Cianuro de sodio y soda cáustica en exceso.	Analizar el baño y reajustar las cantidades.
	Gran déficit del contenido de cianuro de sodio y soda cáustica.	Analizar el baño y reajustar las cantidades.

**2.4.5 Depósitos de Cobre “Baño de Cobreado” [8], [9]**

La deposición de cobre sobre piezas de zamac se lleva a cabo en un baño llamado “cobreado”, en el cual se deposita cobre sobre piezas de zamac, tratadas previamente. Los baños principales y más usados en la práctica son de dos tipos:

**Baño de Cobre Alcalino.** Los baños de cobre alcalino, brindan el sustrato requerido, mejorando las propiedades mecánicas del material base (ejemplo; mayor dureza). Compuesto por una solución alcalina de un cianuro doble de cobre y potasio o sodio. Las ecuaciones N° 10 y 11, son las involucradas en el proceso.



La tabla N° 17, muestra la composición, análisis y condiciones de trabajo para un baño de cobre alcalino.

*Tabla N° 17: Composición, Análisis y Condiciones de trabajo del baño de Cobre Alcalino*

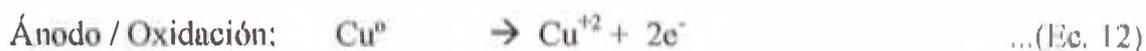
<b>Composición</b>	<b>Con Sodio (g / L)</b>	<b>Con Potasio (g / L)</b>
Cianuro de cobre	45	45
Cianuro de sodio	68	-
Cianuro de potasio	-	90
Sal de Rochelle	45 – 60	45 – 60
Hidróxido de sodio	8 – 15	-
Hidróxido de potasio	-	8 - 16
<b>Análisis del Trabajo</b>	<b>gr. / L</b>	<b>(g / L)</b>
Contenido de cobre	26 – 35	26 – 35
Cianuro libre	15 - 20	15 - 20
<b>Condiciones de Trabajo.</b>		
Temperatura (°C)	50 - 60	50 - 60
Densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> )	5 - 6	5 - 6
PH	13	13
Tiempo (min.) para 20 kg. de llaves	90	90
Voltaje (voltios)	8 - 12	8 - 12

La tabla N° 18 muestra el análisis de defectos posible en el baño de cobre alcalino, analiza posible origen del problema y plantea alternativa de solución.

**Tabla N° 18: Identificación y Corrección de Defectos en baño de Cobre Alcalino**

<b>Defecto visible</b>	<b>Origen posible</b>	<b>Corrección</b>
Depósitos de escasa adherencia, que se levantan inmediatamente o después de ser sometidos a la acción de agua caliente o esfuerzo físico.	Desengrase defectuoso.	Verificar un buen desengrase
	Exceso de cianuro libre y mucha gasificación en el cátodo.	Analizar el baño y reducir cianuro libre agregando cianuro de cobre.
	Deficiencia de cianuro libre.	Reajustar el cianuro libre por adición de cianuro de sodio.
Baño azulado.	Falta de cianuro de sodio libre o exceso de cianuro de cobre.	Análisis y corrección del baño con cianuro de sodio.
Formación de cristales en las paredes del tanque cuando está frío.	Exceso de carbonatos que se forman por la descomposición de los cianuros acumula por largo período de uso.	Remover los cristales del tanque con una espátula de fierro y reemplazar parte del baño por agua y agregar las sales requeridas.
Depósito picado.	Superficie con poros de la piezas a tratar	Recubrir grueso espesor y pulir.
Ausencia de depósito.	Contaminación con ácido crómico.	Baño irrecuperable. Reemplazo total o parte del baño.
	Exceso de cianuro libre	Agregar cianuro de cobre.
	Pasivación del cátodo.	Remover la superficie pasivada por pulido o decapado químico.
Escaso depósito y excesiva formación de gas en el cátodo.	Gran exceso de cianuro libre.	Análisis y reducción de cianuro libre por agregado de cianuro de cobre.
Anodos brillantes con apariencia cristalina.	Exceso de cianuro libre.	Análisis y reducción de cianuro libre por agregado de cianuro de cobre.
Los ánodos se cubren de película verde.	Falta de cianuro libre.	Agregar cianuro de sodio, previo análisis.

**Baño de Cobre Ácido.** Los baños ácidos de cobre no pueden emplearse directamente para recubrir zamac, puesto que el zinc reaccionaría debido a su menor potencial de oxidación. Compuesto de sulfato de cobre y ácido sulfúrico. Los baños de cobre ácido, brindan el sustrato brillante, mejorando la apariencia del depósito de cobre alcalino. Las ecuaciones N° 12 y 13, son las involucradas en el proceso.



La tabla N° 19, muestra la composición, análisis y condiciones de trabajo para un baño de cobre ácido.

*Tabla N° 19: Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Cobre Ácido.*

Composición	(g / L)
Sulfato de cobre	200 - 300
Ácido sulfúrico	30 - 60
Abrillantador	+
Humectante	+
Nivelante	+
Análisis del Trabajo	(g / L)
Contenido de cobre	45 - 75
Ácido sulfúrico	40 - 70
Condiciones de Trabajo.	
Temperatura (°C)	15 - 25
Densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> )	8 - 10
PH	-
Tiempo (min.) para 20 kg. de llaves	30
Voltaje (voltios)	2 - 6

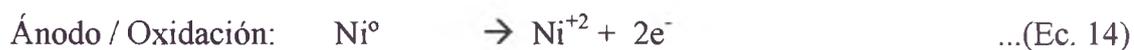
La tabla N° 20 muestra el análisis de defectos posible en el baño de cobre ácido, analiza posible origen del problema y plantea alternativa de solución.

**Tabla N° 20: Identificación y Corrección de Defectos en baño de Cobre Ácido**

<b>Defecto visible</b>	<b>Origen posible</b>	<b>Corrección</b>
Depósito muy blando.	Bajo contenido de ácido.	Analizar el ácido sulfúrico y corregir el déficit.
	Velocidad de deposición muy lenta.	Incrementar la densidad de corriente.
	Demasiada temperatura del baño.	Refrigerar el baño.
Depósito muy duro.	Exceso de acidez.	Analizar el contenido de acidez y neutralizar el exceso con carbonato de sodio.
	Solución muy fría.	Elevar la temperatura 16°C por lo menos.
	Presencia de materia orgánica.	Agregar 3 gr./L de carbón activado y filtrar.
	Fuerte contaminación de hierro.	Piezas ferrosas deben ser previamente cobreadas en baño alcalino.
Ánodos brillantes y apariencia cristalina.	Exceso de ácido.	Analizar el contenido de acidez y neutralizar el exceso con carbonato de sodio.
Cristalización del baño sobre los ánodos y paredes del tanque.	Solución muy concentrada.	Diluir el baño previo análisis para determinar el reajuste de la concentración.
Deposito falto de brillo	Deficiencia de abrillantadores.	Agregar los aditivos de brillo según indicaciones del fabricante.

### 2.4.6 Depósitos de Níquel “Baño de Niquelado” [8], [9]

La deposición de níquel sobre piezas de zamac se lleva a cabo en un baño llamado “niquelado”, en el cual se deposita níquel sobre piezas de zamac, tratadas previamente. Para este proceso usamos baños de níquel al sulfato en caliente. Las ecuaciones N° 14 y 15, son las involucradas en el proceso.



La tabla N° 21, muestra la composición, análisis y condiciones de trabajo para un baño de níquel.

*Tabla N° 21: Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Niquelado.*

<b>Composición</b>	<b>(g / L)</b>
Sulfato de níquel	300 – 370
Cloruro de níquel	72 – 90
Ácido bórico	38 – 48
<b>Análisis del Trabajo</b>	<b>(g / L)</b>
Níquel como metal	68 – 90
Iones cloruro	2 - 5
<b>Condiciones de Trabajo.</b>	
Temperatura (°C)	40 - 60
Densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> )	2 - 5
PH	4 – 4.8
Tiempo (min.) para 20 kg. de llaves	45
Voltaje (voltios)	12 - 18

**Capítulo II: Proceso de Fabricación y Acabados sobre piezas de Zamac**

La tabla N° 22 muestra el análisis de defectos posible en el baño de niquelado, analiza posible origen del problema y plantea alternativa de solución.

**Tabla N° 22: Identificación y Corrección de Defectos en baño de Niquelado**

Defecto visible	Origen posible	Corrección
Desprendimiento del depósito cuando la pieza recubierta es doblada o sometida a esmerilado o pulido.	Presencia de grasa sobre las piezas tratadas por desengrase defectuoso	Chequear las soluciones de limpieza y asegurar que trabajan correctamente
		Examinar superficie de los baños de decapado enjuagues, neutralizados, despasivadores, etc. Si hay grasa, eliminarla por rebose
		No tocar con las manos los artículos después de limpiados.
	PH del baño demasiado alto, que se conoce por turbidez del baño y apariencia oscura del depósito de níquel	Chequear el pH del baño si el valor es muy alto agregar ácido sulfúrico en cantidad promedio de 3 cc para cada 100 ltrs. De baño por cada 0.2 de pH que se desea reducir.
	PH del baño demasiado bajo, que se manifiesta por abundante desprendimiento de gas en el cátodo	Chequear el pH del baño si el valor es muy bajo se corrige agregando carbonato de níquel o soda cáustica
	Niquelado sobre una capa intermedia defectuosa, como por ejemplo cobre ampollado	Asegurarse que la capa intermedia este adecuadamente formada
Superficie porosa de la pieza	Efectuar depósito de cobre y pulir	
Deposito negro en zonas de baja densidad de corriente	Contaminación del baño con Cinc, cobre o plomo	Efectuar electrolisis con planche de hierro o latón niquelado, a 0.6 voltios
Deposito picado	PH muy bajo	ajustar el pH a 4.2-4.6
	Falta de humectante	Agregar humectante en dosis de 0.1 gpl.
Deposito frágil que se quiebra o se levanta con agua caliente o por esfuerzo mecánico	Densidad de corriente demasiado alta	Aplicar bien la cantidad de Amp/dm <sup>2</sup>
	Densidad del baño alta	Diluir el baño
	Falta de cloruros	Ajustar los cloruros
Deposito mate o velados en zonas de alta corriente	Falta de abrillantador primario (abrillantador básico)	Filtrar el carbón y verificar filtros de sacos anódicos
Depósitos con brillo insuficiente	Falta de abrillantador secundario o nivelante según indicaciones del fabricante	Agregar pequeñas dosis de abrillantador primario
	Desbalance del baño, o fuera de parámetros la temperatura, densidad de corriente, etc.	Ajustar el contenido de abrillantador secundario

## **2.5 Factores que influyen en la obtención de un depósito brillante**

### **A. Influencia de Aditivos al Baño**

Con el nombre de aditivos se conoce a aquellas sustancias que se agregan a los baños electrolíticos, generalmente en cantidades muy pequeñas pero que son capaces de modificar la estructura cristalina del depósito, haciendo la más fina y uniforme, lo cual evita la formación esponjosa del depósito y de nódulos sobre la superficie. Por tal razón, a los aditivos se les conoce de manera general como “abrillantadores”. Sin embargo, también existen otros aditivos que modifican la tensión superficial de la solución para evitar picaduras en el depósito final; así como aditivos “acomplejantes” de los iones metálicos que se introducen como impurezas en el baño, además de otras aplicaciones específicas para favorecer al proceso y eliminar diferentes perturbaciones que se pudieran producir. Una clasificación práctica se puede definir en función del trabajo que realizan los aditivos durante el proceso, podemos considerar dos grupos:

- **Aditivos acondicionadores**, que actúan sobre la solución como agentes primarios de brillo o reforzadores del agente abrillantador principal; también actúan como limpiadores de la solución, acomplejando las impurezas y llevándolas al fondo del baño o como agentes para disminuir la sensibilidad a las impurezas que pudieran perturbar el proceso, o como agentes para modificar y disminuir la tensión superficial del baño para impedir el picado del depósito.
- **Aditivos abrillantadores**, propiamente dichos, que actúan directamente sobre el depósito influyendo determinadamente sobre la formación de la textura cristalina para producir acabados muy lisos y uniformes de gran poder de reflexión de la luz.

## **B. Influencia de la Superficie**

Del estado de la superficie antes del recubrimiento, dependen en gran medida las características de brillo final, especialmente si el depósito es muy delgado, y por lo tanto no alcanza a rellenar los poros, obteniéndose la superficie del depósito con la misma rugosidad de la superficie del metal recubierto. Si la superficie de la pieza que se va a recubrir, esta bien pulida y brillante antes del proceso, la capa que se deposite tenderá a ser brillante también. El brillo de un recubrimiento es mayor en una pieza bien pulida que cuando se recubre otra pieza no pulida en el mismo baño.

## **C. Influencia del espesor de capa**

Normalmente un depósito electrolítico, obtenido en un baño galvánico sin aditivos especiales, es brillante cuando esta constituido por una capa muy delgada; luego existe la tendencia a tornarse opaco en la medida que aumenta el espesor de capa. Una manera de alterar este comportamiento natural, y obtener depósitos brillantes aunque tengan mayor espesor es mediante el empleo de aditivos o abrillantadores los cuales provocan el comportamiento inverso de modo que los depósitos serán más brillantes cuanto mayor espesor tengan.

## **D. influencia de la densidad de corriente**

Con el aumento de la cantidad de corriente que se aplica en un proceso electrolítico de recubrimiento, se logra un mayor empobrecimiento de la capa líquida alrededor del cátodo, lo cual favorece a la continua aparición de los gérmenes cristalinos que crecen sobre la estructura de los originalmente formados, aumentando por consecuencia el brillo del depósito; sin embargo, esta tendencia se produce solamente hasta cierto límite de densidad de corriente, puesto que con el exceso, los depósitos tenderán a ser quebradizos debido a la estructura cristalina esponjosa que se forma, ya que los cristales no alcanzan a desarrollarse adecuadamente debido a la alta velocidad de deposición.

Por tal razón, la cantidad de corriente que se aplica por área de superficie que se procesa debe ser dosificada y específica para cada tipo de proceso galvánico, la cual varía en función del baño electrolítico, la temperatura de trabajo, la cantidad de piezas, agitación de la solución, etc.

#### **E. Influencia de la agitación del baño**

La agitación de la solución, durante el proceso, favorece a la homogenización y al rejuvenecimiento en la capa de solución electrolítica adyacente al cátodo, la misma que se empobrece en el contenido de iones durante el proceso, ofreciendo mejores condiciones para la deposición nivelada y brillante. También permite remover parcialmente las burbujas de hidrógeno que se forman en la superficie del cátodo, mejorando las condiciones para trabajar con altas densidades de corriente.

#### **F. Influencia de la temperatura**

Con el incremento de la temperatura, cuando se trata de baños ácidos, la estructura del depósito tiende a formar cristales mas gruesos sobre la superficie catódica y acondiciona también al baño para soportar mayores densidades de corriente sin que se altere el acabado final; pero en algunos casos de electrodepositos en baños cianurados, como por ejemplo el de zincado al cianuro, se producen perturbaciones en la formación del depósito a medida que se incrementa la temperatura. Este incremento de temperatura es espontáneo con el trabajo y será mayor en la medida que se emplee mayor densidad de corriente. Por tal razón es necesario contar con los dispositivos necesarios de calentamiento o de enfriamiento según sea el caso.

### **G. Influencia de la concentración de sales**

La composición ideal de una solución electrolítica, será aquella que tenga pocos iones que depositar y muchas moléculas no disociadas, pero dispuestas a realizarlo rápidamente, de acuerdo a las necesidades durante el proceso, liberando iones metálicos que sustituirán a los que son descargados en el cátodo. La concentración de los iones metálicos en el baño electrolítico durante el proceso se mantiene por la disolución de los ánodos siempre y cuando se mantenga la relación apropiada, generalmente de 2 a 1 entre ánodo y cátodo. En el caso de baños electrolíticos que operan con ánodos insolubles, el mantenimiento de la concentración de los iones metálicos debe realizarse mediante el agregado de los sales correspondientes.

### **H. Influencia de la concentración de iones hidrógenos**

En los baños electrolíticos del tipo ácido, la presencia de los iones hidrógeno ( $H^+$ ) en la solución evita la formación de hidratos y sales básicas poco solubles que pueden dar lugar a la formación de depósitos esponjosos, en especial cuando el metal que se va a depositar es electronegativo. Se regula la concentración de iones hidrógeno mediante el empleo de soluciones “tampón” conforme se explicó anteriormente.

## CONCLUSIONES

De forma general se logró dar a conocer la experiencia profesional adquirida en cinco años de trabajo, en distintas empresas industriales (CPPQ, Teknoquímica, Corporación Rey).

De forma específica se revisó:

- Propiedades y usos de distintas clases de zamac.
- Proceso de fabricación de piezas de zamac a partir de zamac fundido.
- Fundamento de esmaltes.
- Proceso de industrial de esmaltado, descripción, condiciones, etc.
- Procesos galvánicos de zincado, cobreado, niquelado, la composición de sus baños, condiciones de trabajo, identificación y corrección de defectos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Latiza, “*Zinc Die Casting*”, Perú, Latiza, Primera Edición, 2006, 1-7.
2. Dean H. Parker, “*Tecnología de los Recubrimientos de Superficies*”, España, Urmo, Primera Edición, 1970, 62-176, 328-338.
3. Clive H. Hare, “*Protective Coatings*”, U. S. A., Technology Publishing Company, Primera Edición, 1994, 1-37, 187-235, 271-380.
4. Comisión Nacional del Medio Ambiente, “*Industria elaboradora de Pinturas*”, Santiago, 1998, 14-21.
5. Mariano Enrique Garrido, “*Seguimiento Cuantitativo de Reacciones Epoxi por Técnicas Instrumentales*”, España, Universidad Rovira I Virgili, 2006, 13-20.
6. Instituto Politécnico Nacional, “*Guía de Fosfatizado de Metales*”, México, Unidad Politécnica para el desarrollo y la Competitividad Empresarial, 2000, 1-30.
7. “*Standard Test Method for Durability of Finish of Ciprés to Laundering*”, U. S. A., ASTM D2051-03.
8. Lamberto A. Rubio Felipe, “*Electroquímica*”, España, Tecnos S. A. / Primera Edición, 1953, 53-76.
9. Freddy Paredes C., “*Tratamiento Electrolítico de Superficies*”, Perú, Mundoop S. A., Primera Edición, 1996, 21-35, 179-189.
10. William Blum y George B. Hogaboom, “*Galvanotecnia y Galvanoplastia*”, México, Continental, Tercera Edición, 1964, 49-76.
11. Unidad de Asistencia para la Pequeña y Mediana Empresa, “*Galvanotécnica*”, Colombia, Grupo ACERCAR, 2000, 3-20.
12. <http://www.latiza.com>
13. <http://www.dynacast.com>
14. <http://www.cppq.com.pe>
15. <http://www.es.wikipedia.org>
16. <http://www.lusol.com.uy/iboletin6.html>
17. <http://www.imelspa.com/impiantispeciali.html>
18. <http://www.sherwin.com.ar>

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Propiedades Fisicoquímicas, usos primario y secundario del zinc .....	1
Tabla N° 2:	Composición de los distintos clases de Zamac .....	7
Tabla N° 3:	Características de los distintas clases de Zamac .....	8
Tabla N° 4:	Esmaltes en base al agua .....	17
Tabla N° 5:	Esmaltes en base a solventes .....	18
Tabla N° 6:	Características de la polimerización en cadena y en etapas .....	27
Tabla N° 7:	Clasificación de los Disolventes .....	30
Tabla N° 8:	Reacciones de Resina Epoxi con otras resinas .....	41
Tabla N° 9:	Parámetros de Control: Proceso de Esmaltado en Tambor Giratorio.	52
Tabla N° 10:	Tipos de Variantes de la Evaluación “Test Method for Durability of Finish of Zippers to Laundering” .....	53
Tabla N° 11:	Composición de las soluciones de decapado químico (mg/l). .....	58
Tabla N° 12:	Solventes usados como desengrasantes .....	59
Tabla N° 13:	Formulaciones de desengrase alcalinos .....	59
Tabla N° 14:	Soluciones alcalinas usadas como desengrasantes .....	60
Tabla N° 15:	Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Zincado .....	61
Tabla N° 16:	Identificación y Corrección de Defectos en baño de Zincado .....	62
Tabla N° 17:	Composición, Análisis y Condiciones de trabajo del baño de Cobre Alcalino .....	63
Tabla N° 18:	Identificación y Corrección de Defectos en baño de Cobre Alcalino ..	64
Tabla N° 19:	Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Cobre Ácido .....	65
Tabla N° 20:	Identificación y Corrección de Defectos en baño de Cobre Ácido .....	66
Tabla N° 21:	Composición, Análisis y Condiciones de trabajo de un baño de Niquelado .....	67
Tabla N° 22:	Identificación y Corrección de Defectos en baño de Niquelado .....	68

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:	Diagrama de Flujo del Proceso General de Fabricación de Piezas de Zamac.....	10
Figura N° 2:	Componentes básicos de una máquina de fundición a presión .....	12
Figura N° 3:	Etapa 1: Se cierra el molde y se eleva el émbolo, abriendo el orificio y permitiendo que el metal fundido llene el cilindro.....	13
Figura N° 4:	Etapa 2: El émbolo desciende y sella el orificio empujando el metal fundido a través del sifón y la tobera, hacia el interior de la cavidad del molde, donde es mantenido bajo presión hasta que se solidifica.....	13
Figura N° 5:	Etapa 3: El molde se abre y los machos, si hay alguno, se retiran. La pieza fundida se queda sólo en una sección de del molde, en el lado del mecanismo de eyección. El émbolo retorna, permitiendo que el metal fundido residual retorne a través de la tobera y el sifón.....	14
Figura N° 6:	Etapa 4: Los expulsores empujan la pieza fundida y la sacan del molde por el lado del eyector. A medida que el émbolo va destapando el agujero de llenado, el metal fundido fluye a través de la entrada para rellenar el sifón, como en el paso (1). .....	14
Figura N° 7:	Componentes de un Esmalte .....	17
Figura N° 8:	Estructura del Poliestireno; polímero formado a partir de la unidad repetitiva estireno .....	21
Figura N° 9:	Formación del Nylon 66 .....	22
Figura N° 10:	Estructura del Polietileno .....	23
Figura N° 11:	Poliadición y Policondensación .....	26
Figura N° 12:	Reacciones de Resina Epoxi con otras resinas .....	38
Figura N° 13:	Reacciones que tienen lugar durante el curado (con aminas) de una resina epoxi .....	39
Figura N° 14:	Esquema de la reacción de eterificación .....	39
Figura N° 15:	Secuencias del Proceso de Esmaltado de llaves .....	42

Figura N° 16: Diagrama de flujo del proceso de fosfatizado para piezas (llaves) de zamac.....	45
Figura N° 17: Micrografia (SEM) de recubrimiento de fosfatizado 5000X .....	45
Figura N° 18: "El triplete": fuente de luz, objeto y observador .....	46
Figura N° 19: Diagrama del Sistema CIE L*a*b*.....	48
Figura N° 20: Maquina de Esmaltado "ROTOVER".....	52
Figura N° 21: Esquema de una celda electrolítica.....	55
Figura N° 22: Diagrama de Flujo del Proceso Industrial de Acabado Galvanizado. .	57