

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA**



**“PROTECCION ANTICORROSIVA DE PINTURAS  
EPOXICAS MEDIANTE EL EFECTO BARRERA”**

**INFORME TECNICO**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTADO POR:**

**FRIDA SONIA REMUZGO LOPEZ**

**Promoción: 90-II**

**Lima – Perú  
1999**

**DEDICATORIA:**

A mis queridos padres por el gran esfuerzo que realizaron para que yo alcance mis objetivos y a mi esposo por su apoyo y colaboración.

**AGRADECIMIENTO:**

Al Ing. José Dávila por su asesoría en la realización de este trabajo.

## INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
II. ORGANO EMPRESARIAL.....	2
2.1 La empresa.....	2
2.1.1 Nombre.....	2
2.1.2 Dirección.....	2
2.1.3 Sector.....	2
2.1.4 Reseña Histórica.....	2
2.1.5 Propietarios.....	3
2.2 Estructura Orgánica.....	3
2.3 Línea de Producción.....	3
2.4 Layout de las Unidades de Producción.....	5
III. TRABAJO PROFESIONAL.....	9
3.1 Cargo desempeñado.....	9
3.2 Funciones.....	9
3.3 Tiempo de Prestación de Servicios.....	10
IV. PINTURAS DE MANTENIMIENTO	
INDUSTRIAL.....	11
4.1 Definición.....	11
4.2 Sistema de Pinturas.....	11
4.2.1 Base Anticorrosiva.....	12
4.2.2 Acabado.....	12
4.3 Mecanismos de Protección.....	13
4.3.1 Protección por Inhibición.....	13
4.3.2 Protección Catódica.....	17
4.3.2.1 Recubrimiento y Protección	
Catódica.....	17

4.3.3	Protección por Barrera.....	20
4.4	Pinturas Epóxicas como Alternativa	
	Contra la Corrosión.....	25
4.4.1	Reseña Histórica.....	25
4.4.2	Propiedades.....	26
4.4.3	Formación de Película.....	26
4.4.4	Tipos.....	28
V.	MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION	
	DE PINTURAS EPOXICAS.....	30
5.1	Resina.....	30
5.1.1	Resina Epóxica del Bisfenol A.....	31
5.1.2	Resina Epóxica del Bisfenol F.....	36
5.1.3	Resina Epoxi Novolac.....	36
5.1.4	Diluyentes Reactivos.....	37
5.2	Endurecedores.....	37
5.3	Pigmentos.....	42
5.3.1	De Color.....	42
5.3.2	Metálico.....	45
5.3.3	Inhibidores.....	45
5.3.4	Inertes.....	45
5.4	Solventes.....	51
5.5	Aditivos.....	52
5.5.1	Dispersantes.....	52
5.5.2	Humectantes.....	52
5.5.3	Antiflotante.....	53
5.5.4	Agentes Reológicos.....	53
5.5.5	Nivelantes.....	55
5.5.6	Desaireantes.....	56
VI.	PROCESO DE FABRICACION DE PINTURAS	
	EPOXICAS.....	57
6.1	Introducción.....	57

	6.2 Equipos.....	57
	6.2.1 Dispersador de Alta Velocidad.....	57
	6.2.2 Molino de Arena.....	58
	6.2.3 Molino Tricilíndrico.....	60
	6.3 Proceso de Manufactura.....	63
VII.	INVESTIGACION Y DESARROLLO.....	65
	7.1 Objetivos.....	65
	7.2 Etapas de Trabajo.....	65
	7.2.1 Diseño de Fórmula.....	65
	7.2.2 Control de Materia Prima.....	66
	7.2.3 Control de Proceso.....	68
	7.2.4 Control Del Producto Terminado.....	69
	7.3 Programa de Evaluación.....	70
	7.4 Evaluación Económica.....	79
	7.5 Aportes.....	80
	7.6 Conocimientos Empleados.....	81
VIII.	SELECCIÓN DE SISTEMAS DE PINTADO.....	83
	8.1 Introducción.....	83
	8.2 Factores que influyen en la Selección del Sistema.....	83
	8.2.1 Condiciones de Operación.....	83
	8.2.2 Sistema de Pintado Anterior.....	87
	8.2.3 Preparación de Superficie.....	89
	8.3 Selección del Sistema de Pintado.....	93
	8.3.1 Características de Pinturas Epóxicas Ventajas y Limitaciones.....	93
	8.3.2 Casos Prácticos.....	97
	8.4 Factor Económico en la Elección del Sistema.....	101
	8.5 Supervisión.....	101
	8.5.1 Equipos.....	105
	8.5.2 Defectos en recubrimientos.....	107

IX.	CONCLUSIONES.....	112
X.	RESUMEN.....	113
XI.	BIBLIOGRAFIA.....	114
XII.	APENDICE.....	115
	12.1 Apéndice A	
	Métodos para Evaluación de Propiedades.....	115
	12.2 Apéndice B	
	Cálculo de la Relación Estequiométrica en Pinturas Epóxicas.....	162

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

Las pinturas han sido usadas por muchos años para proteger los metales contra la corrosión, pues sin duda, su utilización constituye el procedimiento más versátil de protección en el sentido de que pueden ser aplicadas prácticamente sobre cualquier superficie, en el taller o "in situ" una vez instalada.

Los avances tecnológicos en la industria química imponen condiciones cada vez más severas y las emanaciones corrosivas en plantas industriales cada vez son mayores, causando el deterioro acelerado de todo tipo de superficies, lo cual se traduce en mayores exigencias en el comportamiento de los materiales empleados. Esto ha llevado a la búsqueda de técnicas de protección anticorrosiva cada vez más eficaces, y es por ello que la tecnología de los recubrimientos orgánicos ha ido alcanzando un importante desarrollo en los últimos años. Hoy en día se cuenta con una amplia gama de pinturas de eficaz protección a largo plazo como los constituidos a partir de resinas caucho clorado, epóxicas, poliuretanos, etc. a diferencia de las convencionales a partir de aceites y resinas alquídicas de limitada resistencia.

Nuestro país en vista de que cuenta con condiciones que favorecen la corrosión no está ajeno a estos hechos y es así que numerosas fábricas de pintura han ampliado sus líneas de producción a éstas del tipo industrial. La actividad profesional que he desarrollado la he llevado a cabo principalmente en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Compañía Peruana de Pinturas en el rubro de Pinturas Industriales (epóxicas) y es la experiencia obtenida a lo largo de seis años la que presento en el siguiente trabajo esperando que sea de gran utilidad a toda persona que la consulte.

## **CAPITULO II EL ORGANO EMPRESARIAL**

### **2.1 La Empresa**

#### **2.1.1 Nombre**

Corporación Peruana de Productos Químicos S.A.  
(anteriormente Compañía Peruana de Pinturas)

#### **2.1.2 Dirección**

Jr. Chamaya 276 – 278 – Breña

#### **2.1.3 Sector Industrial**

Industria Química

#### **2.1.4 Reseña Histórica**

**COMPAÑIA PERUANA DE PINTURAS**, la primera fábrica de pinturas del Perú se constituyó el 27 de diciembre de 1932 en la ciudad de Lima-Perú como Sociedad Anónima cambiando su denominación social al de **CORPORACION PERUANA DE PRODUCTOS QUIMICOS S.A.** como consecuencia del proceso de fusión de C.P.P. con Negocios e Inversiones Tarapoto S.A., Uniquimica S.A. y Comercializadora UNEX S.A. según acuerdo de la Junta General Extraordinaria de Accionistas de fecha 18 de marzo de 1996. Dicha fusión se hizo efectiva el 31 de mayo de 1996 mediante la absorción por parte de C.P.P. de los activos, pasivos y patrimonio de las restantes compañías que se disolvieron sin liquidarse.

Su actividad principal es la fabricación y comercialización de pinturas, esmaltes, barnices, resinas, pegamentos, productos químicos y artículos moldeables de resina, plásticos y otros productos para uso industrial y doméstico. Asimismo, la compañía se encuentra autorizada para dedicarse al comercio, importación, compra y venta, y representación de toda clase de productos químicos, formar sociedades para explotación comercial e industrial de negocios relacionados con los giros de

la sociedad y dedicarse a la compra y venta de valores, acciones y bonos, y otros títulos emitidos por entidades nacionales y extranjeras.

El 28 de febrero de 1997, la corporación adquirió aproximadamente el 94% de las acciones de Compañía Industrial Polux S.A., empresa dedicada a la fabricación y comercialización de pinturas navales e industriales. La Junta General Extraordinaria de Accionistas del 15 de setiembre de 1997 acordó fusionar a la corporación con Compañía Industrial Polux S.A. la fusión fue registrada bajo el método de compra.

C.P.P.Q. es hoy en día una empresa de gran solidez económica perteneciente a un importante grupo empresarial que le ha permitido mejorar la productividad y desarrollar novedosos y variados productos con el mantenimiento de una buena calidad, debido a la permanente introducción de tecnología avanzada.

#### 2.1.5 Propietarios Grupo Brescia

## 2.2 Estructura Orgánica

Se presenta el organigrama de la empresa mostrando en detalle el área correspondiente a la Gerencia de Producción (Diagrama N°1).

## 2.3 Líneas de Producción

Entre las líneas de producción de la CORPORACION PERUANA DE PRODUCTOS QUIMICOS S.A. se encuentran, en el rubro de pinturas:

- Pinturas Látex: Para uso doméstico y arquitectónico.
- Pinturas Alquídicas: Para uso doméstico e industrial.
- Pinturas de Caucho Clorado: Para uso industrial y mantenimiento industrial.
- Pinturas Vinílicas : Para uso industrial, marino y mantenimiento.
- Pinturas Epóxicas: Para uso industrial, marino y mantenimiento

# ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

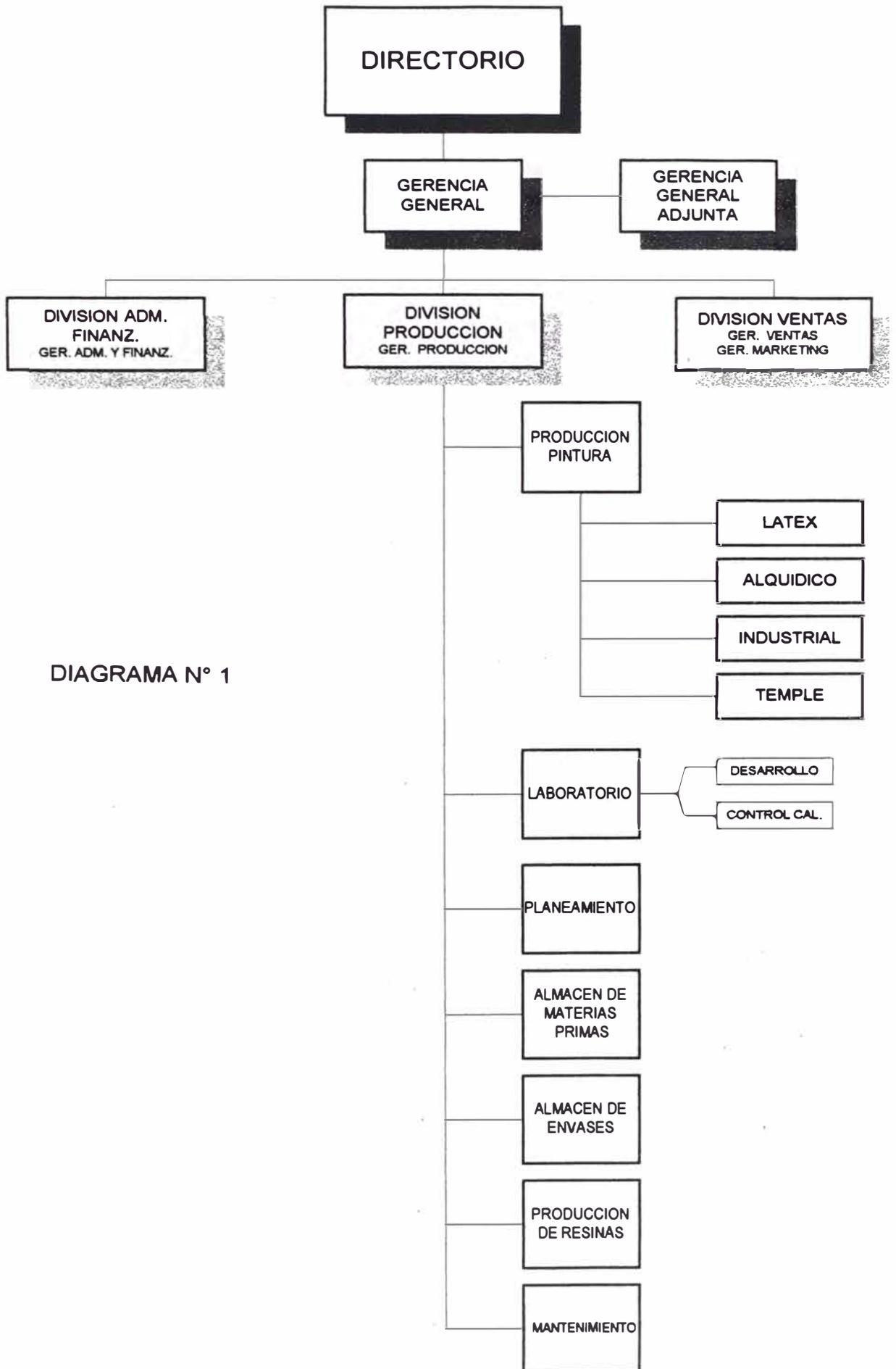


DIAGRAMA N° 1

- Pinturas Bituminosas: Para uso industrial, marino y mantenimiento
- Pinturas a base de Zinc: Para uso industrial y marino
- Pinturas Antiincrustantes : Para uso marino
- Pinturas de Poliuretano: Para uso automotriz, aeronaval, industrial y mantenimiento.
- Pinturas de Silicona : Para uso industrial y mantenimiento
- Pinturas Acrílicas: Para uso automotor e industrial
- Pinturas Poliéster : Para uso en línea madera.
- Productos Varios: Fluorescentes, Martillados, Texturizados, Colapsibles, Horneables, Adhesivos, etc.

En el rubro de productos químicos, contamos con:

- Resinas Alquídicas
- Resinas Emulsionadas (Látex)
- Resinas Poliamidas
- Resinas Poliéster
- Resinas Melamínicas, entre otras
- Aditivos para la Industria textil y de cuero
- Aditivos para la Industria de pinturas y afines

#### **2.4 Layout de las Unidades de Producción**

A continuación se presenta los procesos de fabricación correspondiente al rubro de Pinturas, y que están agrupados en tres grandes rubros: Línea Látex, Línea Sintética y Línea Industrial (Diagramas N°2,3 y 4).

# PROCESO DE FABRICACION DE PINTURAS LATEX

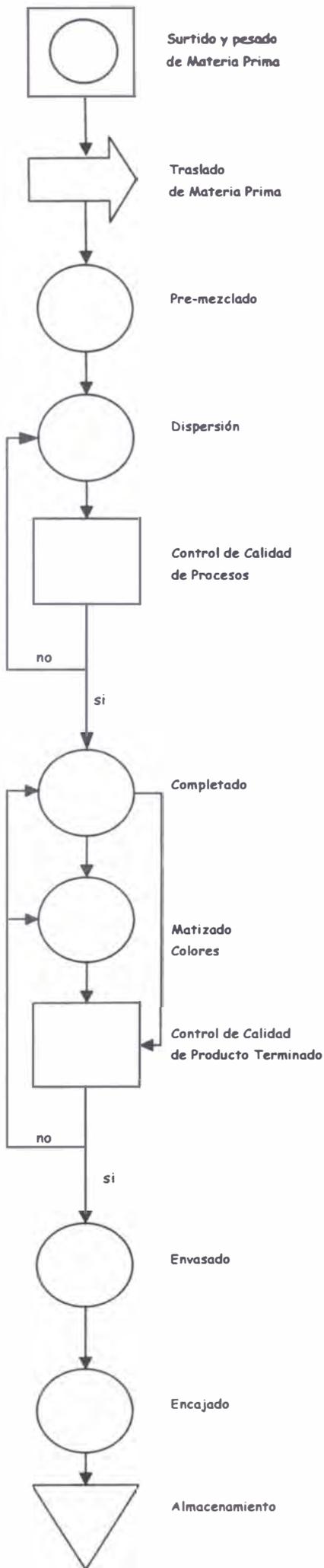


DIAGRAMA N° 2

# PROCESO DE FABRICACION DE ESMALTES SINTETICOS

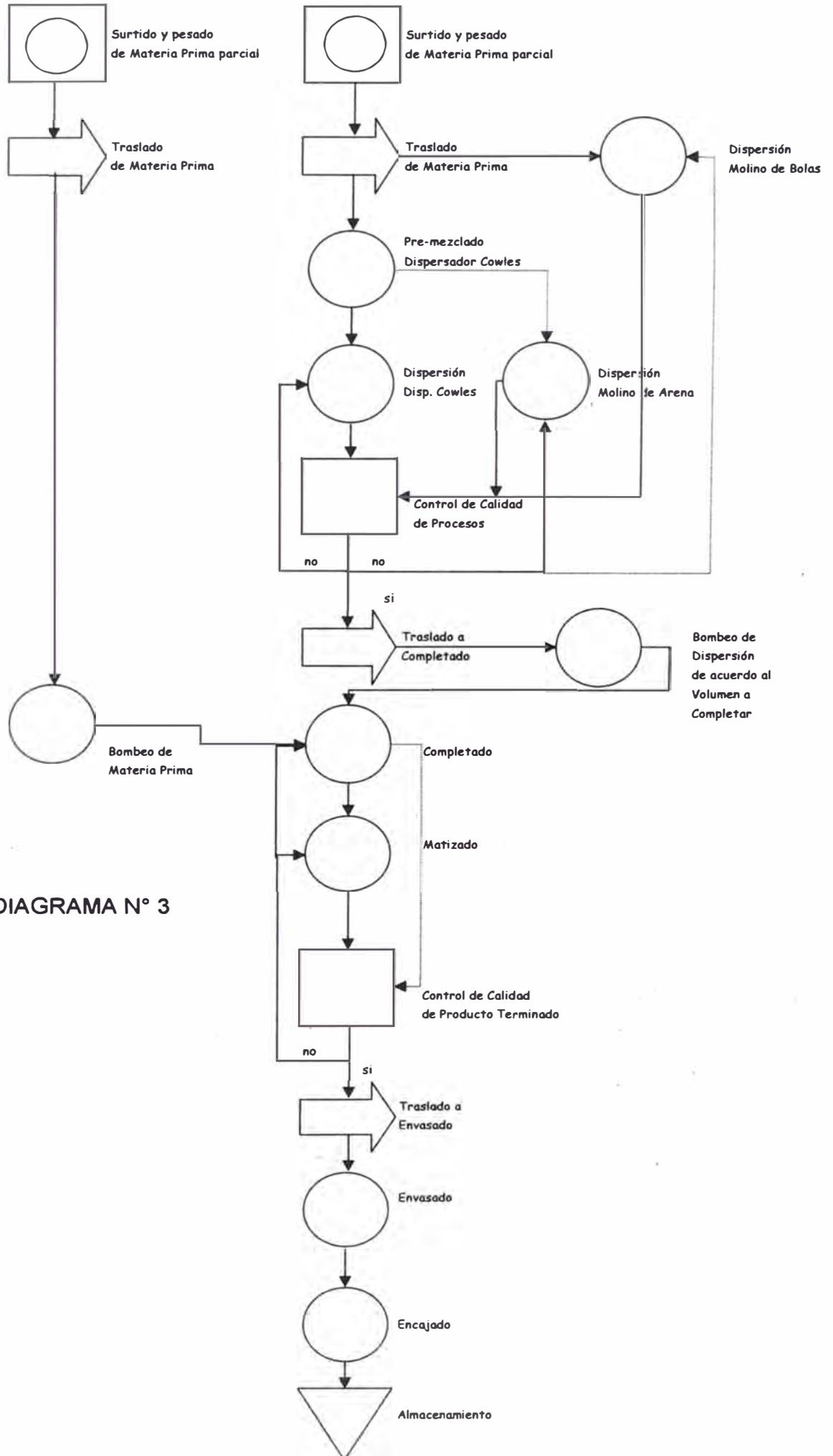


DIAGRAMA N° 3

# PROCESO DE FABRICACION DE PINTURAS INDUSTRIALES

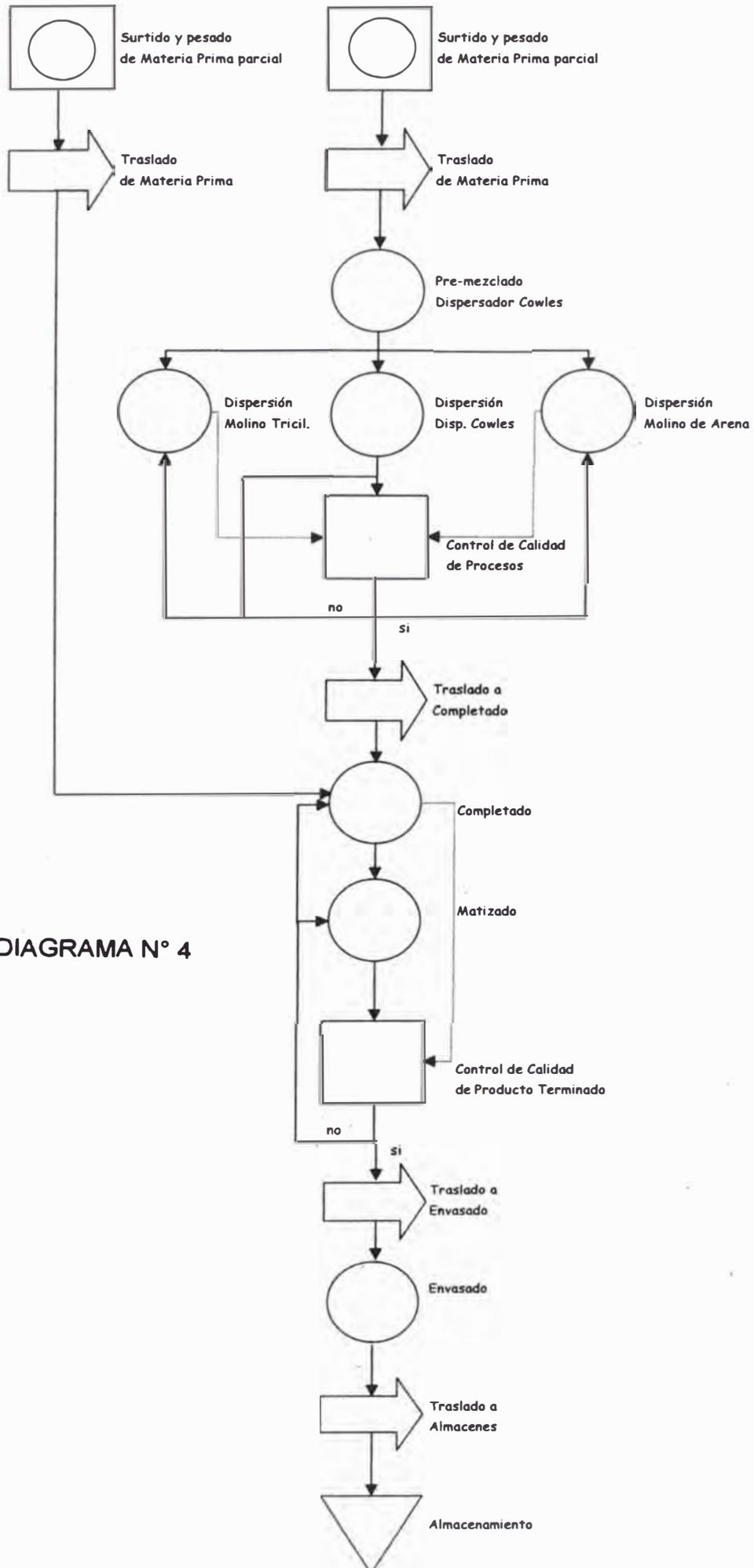


DIAGRAMA N° 4

## **CAPITULO III TRABAJO PROFESIONAL**

### **3.1 Cargo Desempeñado**

La actividad profesional fue realizada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo desempeñando el cargo de Supervisora de Desarrollo de la Línea Industrial y Marina.

### **3.2 Funciones**

El Laboratorio de Inv. y Desarrollo (ex C.P.P.) tiene como funciones:

- Desarrollar nuevos productos.
- Evaluar nuevas materias primas con el propósito de mejorar la calidad y costos de los productos ya existentes.
- Optimizar los procesos de fabricación existentes.
- Supervisar en planta los lotes de prueba de nuevos productos o la implementación de los nuevos procesos de fabricación para los ya existentes.
- Investigar las causas y corregir los problemas suscitados en lotes rechazados por Control de Calidad de Productos Terminados.
- Dar respuesta técnica a los reclamos de los clientes.
- Realizar recomendaciones técnicas de sistemas de pintado, para condiciones específicas de los clientes.
- Realizar supervisión técnica generada por alguna recomendación técnica, para hacer el seguimiento de la performance de productos desarrollados, o por algún reclamo.
- Evaluar periódicamente la calidad de nuestros productos frente a la competencia.
- Capacitar periódicamente al personal de Laboratorio, Planta y Ventas (exponiendo las características técnicas de los nuevos desarrollos y algunos temas específicos).

### **3.3 Tiempo de Prestación de Servicios**

- Control de Calidad de Materias Primas  
y Productos Terminados 1 año
  
- Investigación y Desarrollo 5 años

## **CAPITULO IV**

### **PINTURAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

#### **4.1 Definición**

Se denomina así al tipo de pintura que aplicada sobre una estructura nueva o existente (tanques de almacenamiento, ductos, puentes, etc.), busca protegerla y mantenerla en buenas condiciones a través del tiempo.

Los fundamentos de estas pinturas podrían ser varios dependiendo del propósito o el uso. Así una pintura antifouling tendrá como propiedad fundamental la inhibición del crecimiento de organismos vegetales o animales sobre el substrato, una pintura retardante a la flama deberá resistir o retardar la combustión del substrato, una pintura aplicada sobre concreto deberá ser resistente a los álcalis; asimismo, todas las pinturas resistentes a la corrosión, deberán resistir la extensión de la corrosión a la estructura básica.

De este modo, el uso de este tipo de pinturas constituye uno de los métodos de protección y control de la corrosión ampliamente utilizados, principalmente en la protección del acero ya que es el elemento de mayor presencia en la industria por ser económica, pero que tiene la gran desventaja de ser atacado y deteriorado con más facilidad que otros metales cuando está en contacto con la humedad atmosférica, agua dulce o salada, terreno o subsuelo, gases industriales y otros elementos contaminantes.

#### **4.2 Sistema de Pinturas**

La protección anticorrosiva requerida por una pintura de mantenimiento industrial no se consigue eficientemente al emplearse una única capa sino que se necesita una serie de ellas, las cuales constituyen un Sistema de Pinturas. De esta manera, cada

componente cumple una determinada función y sin cualquiera de ellos el sistema total es menos efectivo.

Hoy en día, al sistema de pinturas se le involucra, además, con factores tales como requerimientos de preparación de superficie, la aplicación de un determinado número de capas, en una secuencia y espesor específico, con adecuados tiempos que permitan el secado y repintado, condiciones y métodos de aplicación, etc. Al conjunto de estas especificaciones suele llamársele Sistema de Pintado.

El diseño común de un Sistema de Pinturas está constituido normalmente por la Base Anticorrosiva y el Acabado.

#### 4.2.1 Base Anticorrosiva

Uno de los componentes más importantes de un sistema de pintado industrial es sin lugar a dudas la base anticorrosiva. Es la primera capa aplicada a la superficie y cuya principal función es asegurar una buena adherencia entre la pintura de acabado y el sustrato que se desea proteger; además, tiene la responsabilidad del control de la corrosión.

Su acción de protección se basa en el efecto inhibitor, protección catódica y barrera.

Se debe mencionar, que adicionalmente a las bases anticorrosivas existe un producto bastante particular denominado "Wash Primer", que no es propiamente un anticorrosivo, sino una base que tiene como función convertir un sustrato de difícil adherencia tal como el acero galvanizado, superficies de aluminio o cromadas a un sustrato que presente el adecuado anclaje para la aplicación de las capas posteriores de pintura.

#### 4.2.2 Acabado

Es la última capa aplicada del Sistema y tiene como principal característica poseer una excelente resistencia al ambiente y a los agentes externos, además de proveer características tales como color, brillo, resistencia al deterioro y a la abrasión.

Es la barrera inicial del sistema y se basa fundamentalmente en el efecto de capa barrera, el cual se obtiene con el espesor de película, el grado de impermeabilidad y su resistencia química.

Normalmente entre la capa de acabado y la base anticorrosiva suele aplicarse una capa intermedia, la cual tiene como principal función incrementar el espesor de película del sistema; sin embargo, usualmente en nuestro medio suele obviarse dicha capa y es reemplazada por la aplicación de dos manos de la capa de acabado.

### **4.3 Mecanismos de Protección**

#### **4.3.1 Protección por Inhibición**

El principio básico de protección mediante este mecanismo está basado en que compuestos solubles, denominados pigmentos inhibidores, retardan las reacciones de corrosión directa (vía su propia solubilidad) o indirectamente vía la solubilidad de los productos de su reacción con el vehículo o con los productos de la degeneración del vehículo.

Estos inhibidores se encuentran presentes en la fórmula como parte de la pigmentación del producto anticorrosivo, en cantidades adecuadas de tal manera que ante la presencia de humedad se disuelvan lentamente, difundiéndose a través del recubrimiento. Cuando ellos alcanzan la interfase metal/pintura esos iones forman películas que aíslan al metal del electrolito previniendo la corrosión del metal (figura N°1).

La acción inhibidora se realiza mediante dos tipos de mecanismos.

En el primero, el pigmento por sí mismo se disuelve y los iones inhibidores libres pasan directamente a la interfase metálica donde pasivan la superficie. Son denominados pigmentos del tipo soluble y los más representativos son los cromatos.

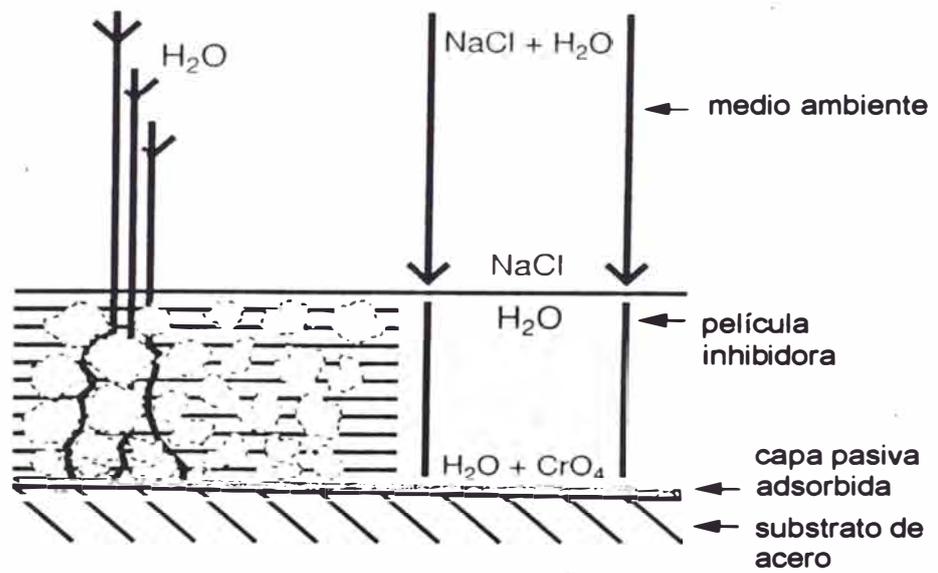


Figura N°1

**Mecanismo de Protección por Inhibición**

La película es ligeramente permeable al agua, pero no a las soluciones iónicas. Los iones disueltos del pigmento por el agua pura son adsorbidos sobre el acero para formar una superficie que está menos dispuesta a corroerse.

El segundo tipo de inhibidores corresponde a la clase de pigmentos básicos y está representado por una diversidad de pigmentos.

Generalmente, el mecanismo de protección ofrecido por los pigmentos básicos es a través de la formación de jabones.

Específicamente, los pigmentos básicos como el rojo de plomo tiene la propiedad de reaccionar en la película con productos ácidos de algunos vehículos poliméricos, formando sales inhibitoras muy eficientes. Estas sales orgánicas solubles en agua son presumiblemente llevadas a la interfase metálica donde pasivan al metal de manera similar a los cromatos.

#### 4.3.1.1 Cromatos

Es el pigmento inhibidor más conocido y probablemente el más efectivo. Estos materiales ionizan en el agua para proporcionar un ion crómico hexavalente (inhibidor activo). Los cromatos están disponibles en un amplio rango de solubilidades desde el más soluble, el cromato de sodio hasta el más insoluble, el cromato de plomo.

De todos los tipos figuran dos mayormente usados en la industria: el amarillo de zinc ( $3\text{ZnCrO}_4 \cdot \text{K}_2\text{CrO}_4 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) el cual tiene una apropiada solubilidad y es ampliamente usado en bases anticorrosivas y el tetraoxocromato de zinc ( $\text{ZnCrO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ ) el cual tiene una solubilidad menor pero que es el pigmento indispensable para los recubrimientos "Wash Primer".

Estos pigmentos son considerados cancerígenos al ser humano y deberían ser manipulados con apropiada precaución; en algunos países se ha prohibido su uso.

#### 4.3.1.2 Pigmentos de Plomo

Estos pigmentos han sido usados por mucho tiempo antes que cualquier pigmento pasivante y en algunos sistemas (particularmente alquídicos o a base de

aceites) ha provisto protección por muchos años bajo condiciones normales.

El pigmento a base de plomo mayormente usado en la industria es el óxido de plomo  $Pb_3O_4$  o Minio el cual debe su poder anticorrosivo al  $PbO$  que contiene. Este último es soluble en agua, eleva el pH y forma jabones con los ácidos grasos generados por hidrólisis o degradación oxidativa del aceite secante de los vehículos. De esta manera, los productos alquídicos fabricados con este pigmento pueden ser aplicados sobre acero en la cual la remoción de partículas de óxido aceitosas no es práctica. En vista de que el uso de plomo no está siendo permitido, en la actualidad el uso de estos pigmentos se restringe a aplicaciones netamente industriales.

#### 4.3.1.3 Otros Pigmentos Inhibidores

El daño en la salud que puedan generar los compuestos a base de cromatos y plomo han estimulado trabajos de 20 a 30 años para desarrollar nuevos pigmentos pasivantes. Entre ellos figuran el molibdato de zinc y de zinc-calcio como reemplazo del amarillo de zinc, el metaborato de bario, el fosfato de zinc. Este último ya ha sido usado en bases anticorrosivas y protege por precipitación sobre áreas catódicas; recientemente existen los fosfo-silicatos de bario, los boro-silicatos los cuales dan soluciones básicas en el agua.

Es probable que todos estos pigmentos ofrezcan una significativa protección de la corrosión en bases anticorrosivas, sin embargo, se necesitarán muchos años de experiencia en el campo para asegurar su efectividad y poder ser comparados con el amarillo de zinc y el minio.

#### 4.3.2 Protección Catódica

Otro mecanismo frecuentemente utilizado en la protección por recubrimientos corresponde al de las pinturas denominadas ZINC RICH. Este tipo de pintura posee una alta concentración de polvo de zinc, lo suficiente para establecer el contacto eléctrico entre las partículas de zinc y entre el zinc y el acero (aproximadamente concentraciones por encima del 85% en peso) para proteger al metal por protección catódica.

El polvo de zinc se "sacrifica" ya que por naturaleza posee menor potencial o mayor tendencia a la oxidación que el hierro, por lo tanto se corroerá antes que él, protegiéndolo por mecanismo electroquímico (figura N°2).

Este tipo de pinturas formuladas y aplicadas apropiadamente, son muy efectivas en la protección del acero contra la corrosión.

El tiempo de vida de estas pinturas no está limitada por la cantidad de zinc presente como se puede asumir, lo que ocurre es que existen dos efectos de protección, el primero donde existe una rápida disminución del zinc libre en un tiempo muy corto, debido a la reacción electroquímica (PROTECCION CATODICA) y; el segundo, donde el óxido de zinc hidratado formado en la etapa inicial de la corrosión del zinc llena los poros, y, junto con el zinc remanente, actúan como un recubrimiento barrera para mantener al agua y oxígeno lejos del substrato metálico (PROTECCION BARRERA).

Las pinturas ZINC RICH son clasificadas dentro de dos tipos de acuerdo al tipo de resina utilizada en la formulación. Las del tipo inorgánico basado en el silicato de etilo y las del tipo orgánico que pueden tener una variedad de vehículos como los epóxicos (los más usados en la industria), vinílicos o caucho clorado.

##### 4.3.2.1 Recubrimiento y Protección Catódica

Muchas estructuras en la industria son protegidas de la corrosión por el método de Protección Catódica, así por

ejemplo tenemos, tanques de agua y de combustibles, tuberías, buques, etc. En la industria frecuentemente se combina dicha protección con el empleo de recubrimientos

El recubrimiento en una estructura tiene el gran efecto de disminuir la demanda de corriente protectora y de favorecer la distribución de ésta en la superficie metálica, además de servir de barrera entre el electrolito y la estructura.

Los recubrimientos para ser usados en asociación con la Protección Catódica deben poseer las siguientes propiedades físicas y químicas a fin de ser efectivos:

- Resistencia Dieléctrica

El recubrimiento debe poseer suficiente resistencia aisladora para prevenir cualquier flujo eléctrico de corriente a través de éste.

- Resistencia Química

Las reacciones electroquímicas que ocurren en el cátodo del sistema de protección, hacen que el pH del medio adyacente se torne alcalino. El recubrimiento, por ende, debe ser resistente a los álcalis para no ser desintegrado.

- Gran Adherencia

Cualquier recubrimiento, en especial los destinados a inmersión, debe poseer un fuerte adherencia a la superficie metálica. La adherencia marginal inherente al recubrimiento, o la adherencia marginal causada por la aplicación del recubrimiento sobre una superficie sin previa preparación, causará el desprendimiento, la delaminación, o el ampollamiento del mismo cuando esté sometido a los potenciales de protección catódica.

- Baja Absorción y Transferencia de Humedad

El potencial eléctrico que se establece a través del recubrimiento cuando funciona el sistema de protección

catódica, produce un fenómeno de electro-endósmosis que es capaz de transportar la humedad de fuera hacia adentro, a través del recubrimiento, hasta la superficie metálica. Este fenómeno puede producir la hinchazón o ampollamiento del recubrimiento, su desprendimiento, o en el peor de los casos, la corrosión de la superficie metálica que no podrá ser detenida por la protección catódica externa.

- **Espesor Optimo**

El espesor óptimo es una característica propia para cada recubrimiento. Un espesor excesivo puede tener efectos negativos sobre las propiedades de adherencia, además del costo de recubrimiento innecesario; y un espesor insuficiente puede reducir la resistencia eléctrica esperada y propiciar una mayor absorción y transferencia de humedad.

- **No Presentar Nódulos de Carbón**

La mayoría de los recubrimientos usados para estructuras son orgánicos, y muchos de estos son aplicados en caliente o probados por técnicas de alto voltaje. Estas técnicas, a menos que sean cuidadosamente controladas, pueden quemar el recubrimiento causando la formación de nódulos de carbón o nódulos de coque. Estos nódulos formarán celdas metal/carbón muy agresivas cuando entren en contacto con un electrolito. Esta condición no puede ser suprimida con éxito por técnicas normales de protección catódica.

En la industria de pinturas, el recubrimiento que más ha trabajado junto con la Protección Catódica es el Coaltar Epoxi. Sin embargo, se vienen utilizando también y con

mucho éxito, recubrimientos epóxicos de altos sólidos, los cuales han mostrado muy buena performance.

#### 4.3.3 Protección por Barrera

Este tipo de recubrimiento no usa pigmentos especiales como los inhibidores o el polvo de zinc para cumplir su función protectora. Sin embargo, mientras que una adecuada pigmentación, incrementa la protección barrera, este tipo de protección está basado principalmente en la impermeabilidad del vehículo orgánico. Por lo tanto, los mayores requerimientos son minimizar el acceso al metal de los elementos necesarios para la reacción catódica y maximizar la resistencia eléctrica de la fase externa de alguna probable celda de corrosión.

##### 4.3.3.1 RESISTENCIA IONICA

Mediante este mecanismo la velocidad de corrosión es minimizada debido a que el recubrimiento impide el acceso de iones solubles al metal.

Ha sido demostrado que la difusión de iones a través de la película hacia el metal es mucho más lento que la difusión del agua y el oxígeno. Esto asegura que el agua presente en la película que podría llegar a la interfase no sería lo suficientemente conductivo, con lo cual la corrosión se mantendría en niveles muy bajos debido a que el electrolito resultante en la interfase metálica es muy alta en resistencia.

De esta manera la clave del control de corrosión por este mecanismo es minimizar la conductividad de la película de pintura, para ello los factores que la determinan son:

- Influencia de la Densidad de Enlace y la Polaridad: La permeabilidad iónica puede ocurrir en las películas donde haya áreas de reducida densidad de enlace. Así, en las películas adherentes la tendencia a la corrosión ocurrirá solamente debajo de las áreas de reducida densidad de enlace, los cuales

consecuentemente han disminuido la resistencia eléctrica. De aquí la importancia de la estructura y la uniformidad de reticulación del polímero en el diseño de los anticorrosivos por barrera.

Otro factor importante es la polaridad, los polímeros ricos en grupos polares causan reducción en la resistividad electrolítica, esto debido a que algunos polímeros que llevan grupos carboxílicos atraen al agua y a cationes dentro de la película y a otros grupos hidrofílicos como el hidróxilo.

- La influencia de los pigmentos: Su efecto es muy significativo en la velocidad de difusión de ciertos iones. Si pigmentamos vehículos orgánicos se observa un incremento en la velocidad de difusión del cloruro de sodio a través de la película, como se observa en el siguiente cuadro:

**CUADRO N°1**  
**VELOCIDAD DE DIFUSION DEL CLORURO DE SODIO A TRAVES**  
**DE PELICULAS DE PINTURA ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{año}$ )**

PIGMENTO	RESINA			
	POLIVINIL BUTIRAL	RESINA FENOLICA	RESINA ALQUIDICA	ACEITE DE LINAZA
Oxido de Hierro	15,240	1,227	1,265	40,553
Sílica	825	136	7,983	2,801
Aluminio	36	247	19	16,978
Oxido de Plomo	4	222	64	281
Ninguno	2	4	40	2,015

FUENTE: H.HAAGEN Y W. FUNKE, JOCCA, 58, 359, 1975

Por otro lado, se puede observar también una disminución en la velocidad de difusión iónica esto originado por la reacción química entre el vehículo y el pigmento

Otro aspecto importante es el grado de pigmentación de la película. La relación de PVC/CPVC adecuada deberá estar entre 0.3-0.7 para evitar la entrada de agua y particularmente la de soluciones iónicas a través de los intersticios entre pigmento y vehículo.

- La influencia de las Sales en la Interfase: La presencia de sales de cloro y sulfato en la interfase cuando el metal es recubierto forma electrolitos altamente corrosivos con el agua que se difunde a través de la película. Estas condiciones disminuyen la resistencia y pueden resultar en ampollamiento osmótico.

#### 4.3.3.2 PERMEABILIDAD DEL AGUA Y OXIGENO

Como se sabe, no es posible eliminar la reacción catódica en un recubrimiento; infortunadamente, la protección por este mecanismo es seriamente afectada por altas transmisiones de oxígeno y humedad a través de la mayoría de pinturas. Obsérvese el siguiente cuadro:

**CUADRO N°2**  
**PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA a 23-25°C DE UNA**  
**PELICULA DE PINTURA (4 MILS)**

PINTURA	mg/cm <sup>2</sup> /día
Caucho Clorado (barniz)	1.0
Nitrocelulosa (barniz)	4.8
Caucho Clorado (pigmentado)	3.5
Poliuretano (barniz)	1.4
Fenólico (barniz)	1.1
Epoxi/Coaltar	1.0
Epoxi/Poliamida (pigmentado)	5.0
Alquídica (pigmentado)	2.1

**CUADRO N°3**  
**PERMEABILIDAD AL OXIGENO a 20°C DE UNA PELICULA**  
**DE PINTURA (4 MILS)**

PINTURA	$10^{-3}$ mg/cm <sup>2</sup> /día
Nitrocelulosa	105.8
Alquídica/Melamina	10.3
Epóxica	7.3
Cloro Acetato de Vinilo	7.5
Caucho Clorado	2.2

El ingreso de estos elementos no ocurre solamente a través de pinholes, poros y otros microdefectos en la película, sino también en películas continuas. En sistemas altamente pigmentados, ocurrirá a través de los intersticios entre las partículas de pigmento y en los límites pigmento/vehículo. En sistemas de baja pigmentación tomará lugar a nivel molecular a través de sitios como los formados por grupos polares hidratables que absorben agua por efectos de solvencia.

Cuando la molécula está fija dentro de la película continua, ésta se hace camino a través de capas sucesivas del polímero debido a la energía cinética de la molécula de agua. Como las capas moleculares de la película vibran y se deslizan en relación unas a otras, las moléculas de agua se mueven a través de las películas desde una capa molecular a otra capa aproximándose al sustrato. Este movimiento es además promovido principalmente por presiones osmóticas y electroendosmóticas.

El acceso a través de la película puede además ser facilitada en lugares de bajo espesor, alrededor de los aglomerados de pigmento, cráteres y otras heterogeneidades de la película incluyendo áreas de reducida densidad de enlace.

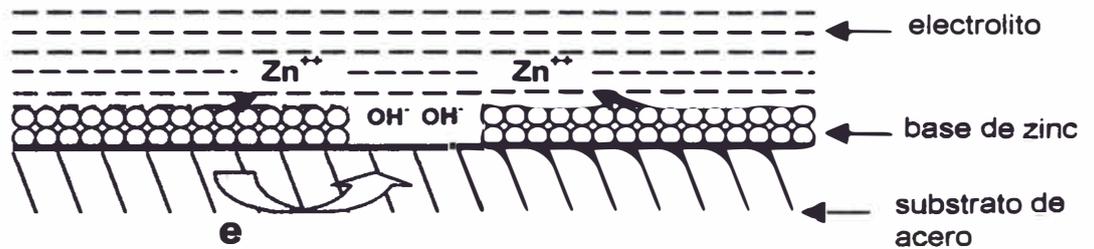


Figura N°2

**Mecanismo de Protección por Recubrimientos Zinc Rich**

La presencia de la fuerte electronegatividad del recubrimiento pigmentado con zinc corta el circuito de toda celda local sobre el acero. El acero se hace totalmente catódico al ánodo de zinc. El zinc se corroe, pero el acero no, aún en zonas descubiertas. Es indispensable que el recubrimiento de zinc esté en contacto eléctrico con la superficie de acero; por lo tanto el acero debe estar despojado de toda contaminación.

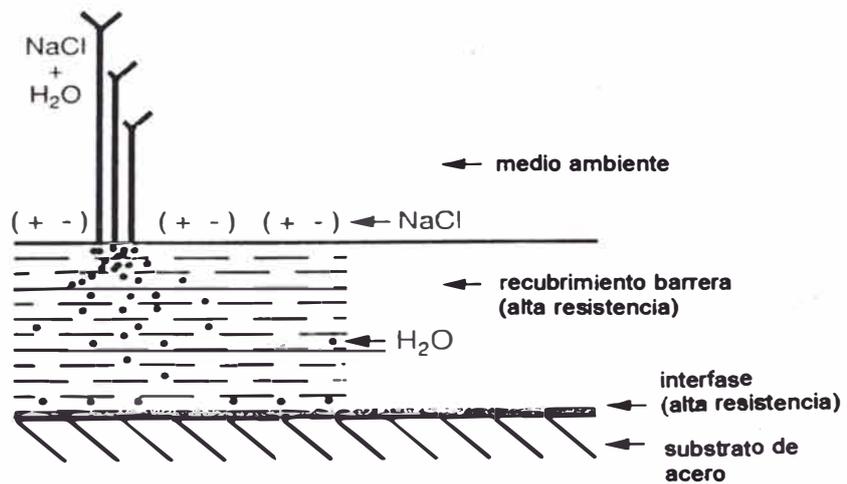


Figura N°3

**Mecanismo de Protección por Recubrimiento Barrera**

Finalmente, se puede indicar que la efectiva protección barrera se obtiene mediante el uso de películas gruesas adecuadamente formuladas, las cuales proporcionan una significativa reducción de la permeabilidad al agua, oxígeno y material iónico hacia el metal, controlando de esta manera la corrosión (figura N°3).

Los recubrimientos barrera están proliferando actualmente debido a que su formulación se ajusta a las regulaciones ambientales exigidas en algunos países, pues no usa pigmentos inhibidores dañinos para la salud y emite al ambiente muy poca cantidad de solvente.

#### **4.4 Pintura Epóxica como Alternativa Contra la Corrosión**

##### **4.4.1 Reseña Histórica**

Las resinas epóxicas fueron sintetizadas en los años 30 por Pierre Castan en Suiza y por Sylvan Greenlee en los USA. Inicialmente en 1946 aparecen comercialmente como adhesivos y en 1947 como materia prima para recubrimientos. A partir de entonces han crecido vertiginosamente hasta convertirse en una de las más importantes familias de recubrimientos.

De los 180 millones de Kg. de resina producida en los USA en 1991, aproximadamente 85 millones de Kg. fue usada para aplicaciones en recubrimientos, la otra mayor aplicación de las resinas epóxicas incluyen la fabricación de tableros de circuitos eléctricos, adhesivos y selladores. La ingeniería civil lo usa en pavimentos y pisos de concreto.

Pocas resinas cumplen la función de un ligante ideal de alta performance como los epóxicos. Estas resinas pueden ser empleadas en dos componentes como recubrimiento de mantenimiento que curan a temperatura ambiente o sistemas

horneables a alta temperatura, así mismo son usadas en las pinturas en polvo ó en ligantes éster-epoxi, parecidos a los alquídicos, para paquetes simples de pinturas zinc rich.

#### 4.4.2 Propiedades

Las propiedades fundamentales de los epóxicos son su alta resistencia a la corrosión y resistencia química. Presenta excelente adhesión en algunos casos inclusive sobre superficies húmedas; además, brinda excelentes propiedades físicas y mecánicas al sistema, tales como resistencia al impacto y resistencia a la abrasión. Los agentes curantes y modificadores son usados para obtener propiedades adicionales como estabilidad a la luz, flexibilidad y aplicación a bajas temperaturas, entre otros.

Entre las desventajas se pueden señalar que la película de pintura epóxica presenta amarillamiento después de algún tiempo de exposición. Asimismo, no tienen estabilidad a la luz y sufren el efecto denominado “chalking” o destizamiento, por el cual con el transcurrir de los meses la película pierde su brillo inicial. La preparación del producto también constituye una desventaja pues hay que mezclar los dos componentes momentos antes de aplicar, en una relación de mezcla indicada por el fabricante y sólo en la cantidad necesaria para no exceder el tiempo de vida de la mezcla (“pot life”).

#### 4.4.3 Formación de Película

Los epóxicos son considerados polímeros termoestables, lo cual significa que curan por conversión química. Los mecanismos de curado pueden ser por reacciones de adición intramolecular o intermolecular o polimerización por condensación (figura N°4).

El término termoestable es relativo pues la reactividad puede proceder a temperatura ambiente o a elevadas temperaturas, dependiendo del grupo funcional involucrado.



Entre los sistemas que curan al ambiente los más comunes son las pinturas epóxicas para mantenimiento industrial mientras que las de alta temperatura se aprecian en pinturas para envases de hojalata.

#### 4.4.4 Tipos

Entre los tipos de pinturas epóxicas tenemos:

##### - Sistema Epoxi - Poliamida Convencional

Son sistemas de dos componentes que curan al ambiente y tienen como característica principal el poseer sólidos por volumen entre 30 a 65 por ciento. Este sistema por lo general trabaja a tres capas una primera de anticorrosivo a base de pigmento cromato de zinc (efecto inhibidor), las dos capas restantes de acabado (efecto barrera) obteniéndose un total de 6 mils (1 mil = 25 micrones) de espesor seco aproximadamente. Es el sistema más usado en Mantenimiento Industrial por su tenacidad, flexibilidad, adherencia, resistencia al impacto y abrasión, entre otras características.

##### - Sistema High - Build o Altos Sólidos

Estos sistemas adicionan a la formulación anterior pigmentos inertes tales como sílice, mica, talcos, etc., con el propósito de adicionar el máximo volumen de pigmento además de obtener espesores elevados mediante la aplicación de una o dos capas ahorrándose costo por mano de obra. Estos productos por lo general son muy inertes y están diseñados sobre los conceptos de recubrimiento impermeable ó barrera, son mates o semibrillantes y generalmente son usados en ambientes bajo severa corrosión.

##### - Coaltar Epoxi

Se trata de una combinación de resina epoxi básica con coal tar (alquitrán de hulla). Esta mezcla combina las buenas

propiedades de ambos obteniéndose un producto de superior resistencia al agua dulce y salada.

Generalmente se obtienen recubrimientos resistentes a la inmersión en agua, en aceite crudo, etc., además, posee gran adherencia sobre el substrato ya sea de concreto o metal. En la industria marina, se la utiliza mayormente en el pintado de la obra viva de las embarcaciones. Posee excelente resistencia a las corrientes de protección catódica.

- Zinc Rich Epoxi

Este producto combina la dureza, elasticidad y adherencia de los epóxicos con la protección catódica ofrecida por la alta carga de pigmento metálico (polvo de zinc) unido al substrato.

Entre los vehículos orgánicos de las pinturas Zinc Rich, son los vehículos epóxicos los más comerciales debido a sus propiedades físicas y de resistencia química. Con respecto a la formación de película, ésta se realiza por un proceso análogo al caso en que se utilice cualquier otro pigmento, es decir, que el zinc no tiene participación fundamental en la formación de la película seca de la pintura.

## CAPITULO V

### MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE PINTURAS EPOXICAS

#### 5.1 Resina

A diferencia de otros tipos de pinturas, la pintura epóxica necesita, por el tipo de formación de película que posee, dos resinas la epóxica y el endurecedor para reaccionar y alcanzar sus propiedades.

Para obtener las óptimas propiedades, es necesario que ambas resinas (epóxica y endurecedor) reaccionen en aproximadamente cantidades estequiométricas. Las variaciones que se realicen de esta mezcla ideal afectará inevitablemente las propiedades finales del recubrimiento, así por ejemplo en el caso de una poliamida, tales variaciones pueden usarse para modificar alguna propiedad como la flexibilidad, sin embargo, esta modificación afectará o disminuirá otra propiedad en este caso la resistencia a los solventes.

La relación estequiométrica de la resina epóxica al amino es la siguiente:

$$EEW = AHEW$$

Donde se introducen los términos:

EEW, es el peso equivalente epoxi y se refiere al peso de la resina epóxica que contiene un grupo epoxi, y

AHEW, es el peso equivalente de hidrógeno amino y se refiere al peso del agente curante que contiene un hidrógeno amino activo; siendo éste último aquel directamente unido a los nitrógenos de la molécula.

Cuando se formulan recubrimientos epóxicos, por lo general, se cuenta con información técnica que los mismos fabricantes suministran sobre sus productos, proporcionándonos datos como los

pesos equivalentes y la proporción de endurecedor necesaria para componer adecuadamente el recubrimiento. En el Apéndice se detallan los cálculos estequiométricos y un nomograma para el cálculo de la cantidad adecuada de endurecedor.

A continuación se explicará detalladamente cada una de las resinas que componen una pintura epóxica.

#### 5.1.1 Resina Epóxica

Se denomina así a cualquier sistema polímero en la cual el anillo oxirano o epóxido toman parte en la síntesis del ligante. En la práctica, la mayoría de los epóxicos están basados en los productos de condensación del Bisfenol A (difenol propano) y la epiclorhidrina, y son conocidas como resinas epóxicas del Bisfenol A. Estos productos de condensación reaccionan mutuamente en presencia de un agente dehidrohalogenante como el NaOH y producen epóxicos de bajo peso molecular, reacción conocida como proceso "Taffy" (figura N°5).

La alta performance de estas resinas se debe a la estructura y la presencia de grupos reactivos en la molécula. Así el Bisfenol A provee tenacidad y resistencia a los químicos y al calor; al no existir grupos éster en la molécula y solamente contar con enlaces carbón-carbón, le permite tener excelente resistencia química. Los hidróxilos y las terminales epóxidas proveen buena humectación y adhesión así como compatibilidad y reactividad con otras resinas.

El grupo oxirano ó epóxido reacciona con otras moléculas como hidrógenos amino, tioles, grupo metilo, ácidos carboxílicos, ésteres e isocianatos, aminas aromáticas y alifáticas, amidas, polisulfidos, fenólicos, resinas amino, acrílicos y poliésteres carboxilados, anhídridos, etc. Asimismo, puede homopolimerizarse en presencia de fuertes catalizadores como las aminas terciarias alifáticas y aromáticas.

En la industria, se utiliza mayormente los siguientes tipos de resinas del Bisfenol A:

## RESINA EPOXICA DE BAJO PESO MOLECULAR

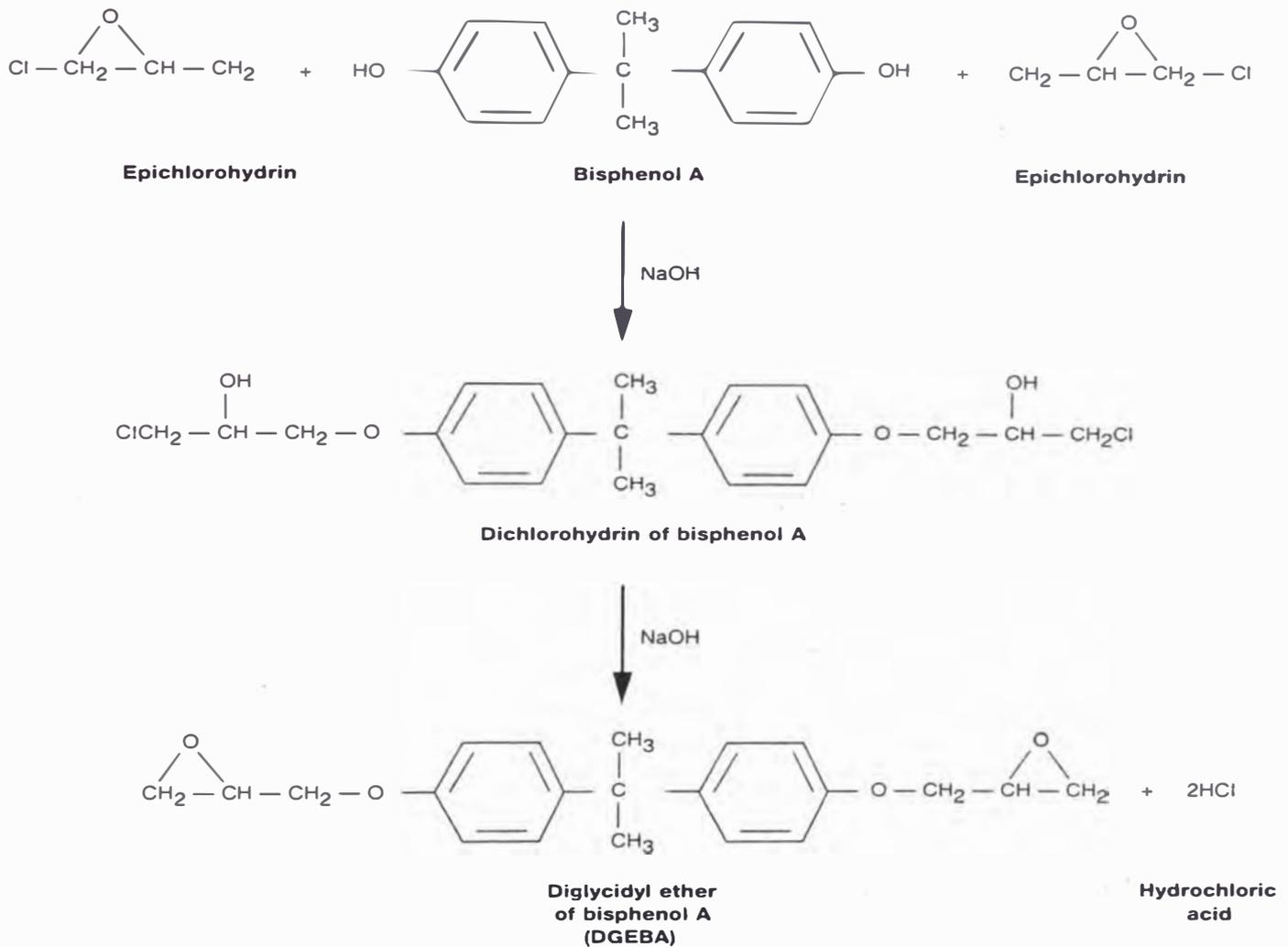


FIGURA N° 5 Síntesis Resina Epóxica de Bajo Peso Molecular mediante Proceso "Taffy"

#### 5.1.1.1 Epóxicas de Bajo Peso Molecular

El peso molecular de la resina depende de la relación epiclorhidrina a Bisfenol A usada en la síntesis, de tal manera que una relación molar de 2:1 producirá especies de bajo peso molecular esencialmente compuesta de una unidad de Bisfenol A terminada con dos grupos epoxi (el diglicidil éter de Bisfenol A). En la práctica, se emplean grandes relaciones de epiclorhidrina para conseguir resinas epóxicas de bajo peso molecular. La más usada posee un peso equivalente epoxi (EEW) de 180 –190 (figura N°5).

Inicialmente, estas resinas no fueron usadas en recubrimientos, sino en aplicaciones tales como adhesivos, selladores, y en la ingeniería civil. El problema es que la distancia bastante corta entre los grupos reactivos origina tiempos de vida de mezcla muy cortos, rápido curado y alta exotermia, dificultando su aplicación con equipos convencionales, hasta entonces utilizados. Por esta razón aparecen otro grupo de resinas de mayor peso molecular las cuales adquieren un rápido dominio del mercado como resinas tradicionales para recubrimientos.

Sin embargo, en estos últimos años, debido a la alta presión por reducir los niveles de los componentes volátiles (VOC), se crea la necesidad de producir sistemas de alto espesor y baja viscosidad. Para ello, las resinas de bajo peso molecular resultan ser las ideales pues mediante una adecuada formulación y la selección adecuada del endurecedor se consiguen recubrimientos de muy alta performance que cumplen con los requerimientos exigidos.

### 5.1.1.2 Epóxicos de Peso Molecular Medio

En este tipo de resinas la relación epiclorhidrina a Bisfenol A es gradualmente reducida, obteniéndose grandes moléculas con el incremento de “n” segmentos entre los grupos epoxi (figura N°6).

La síntesis de esta resina se realiza mediante el proceso denominado “Fusión”, donde adicional Bisfenol A es usado para adelantarse a la formación de una resina líquida en presencia de un catalizador básico (hidróxido de amonio benzil trimetil), obteniéndose resinas de elevado peso molecular.

Tradicionalmente, los epóxicos de peso molecular medio (peso equivalente 450 a 525) han sido ampliamente usados en recubrimientos de 45-65% de sólidos por volumen curados con poliamidas; y son usados en la protección del acero estructural, concreto y otras superficies. Ellos proveen buena resistencia química y al agua, dureza, flexibilidad y excelente adhesión. La película es bastante fuerte y tienen resistencia a la abrasión, choques térmicos y mecánicos.

Los espesores obtenidos con este tipo de resinas son bajos 1-4 mils por capa comparados con aquellos de bajo peso molecular (3-8 mils). Asimismo, el pot life del producto es bastante mayor (depende del agente curante) que los basados en resinas de bajo peso molecular (2-4 horas). Su secado con poliamida se encuentra entre 6 a 8 horas (secado tacto duro) siendo su curado total de aproximadamente 10 a 15 días. Su aplicación puede realizarse con varios métodos, se usa como acabado marino, en puentes y plantas industriales, también como base en aviones, pisos, etc. Es usado en recubrimientos en polvo como resina auxiliar para mejorar el flujo y nivelación.

## RESINA EPOXICA DE PESO MOLECULAR MEDIO

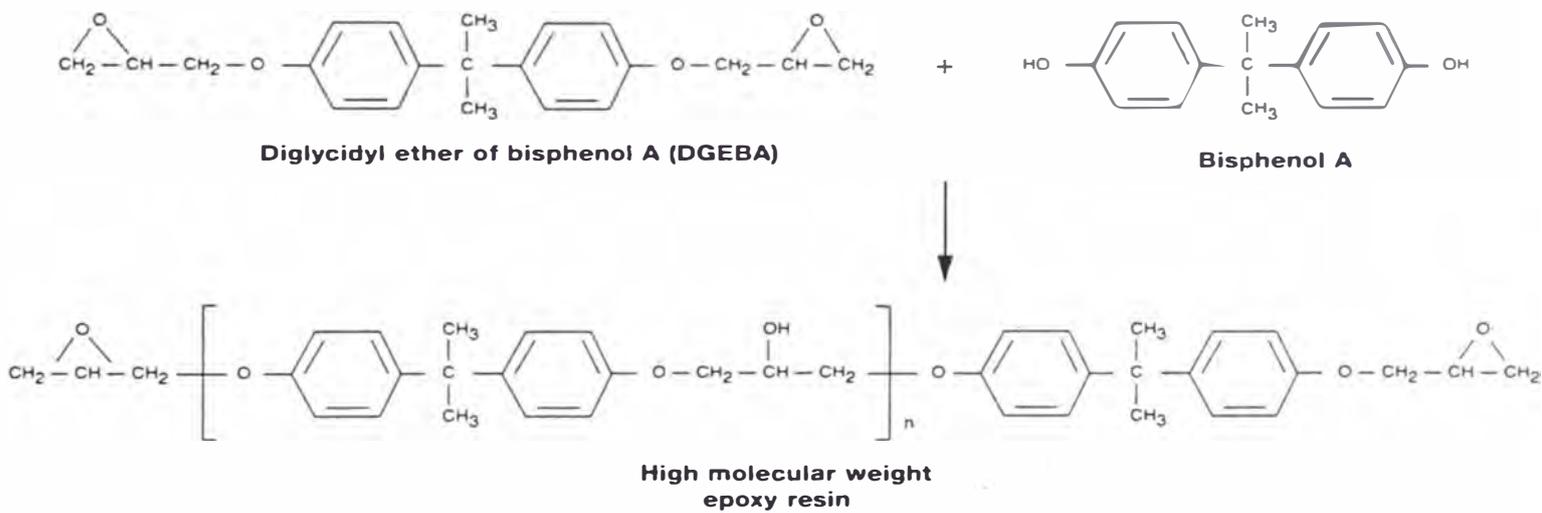


FIGURA N°6 Síntesis Resina Epóxica de Medio y Alto Peso Molecular mediante proceso "Fusión"

### 5.1.1.3 Epóxicos de Alto Peso Molecular

A este grupo corresponden aquellas resinas de peso equivalente 900 a 985, son conocidos como tipo "4" (n=3.7) y usados mayormente en la fabricación de resinas éster epoxi para bases metálicas de secado al aire, pinturas en polvo, etc. Los tipos "7" (n=8.8) y "9" (n=12) se usan en esmaltes para alambres, esmaltes para interiores de envases de hojalata, entre otros.

### 5.1.2 Resina Epóxica del Bisfenol F

Con el propósito de obtener resinas de bajas viscosidades y cumplir con las restricciones legislativas sobre el uso de solventes es que nace este tipo de resina denominada diglicidil éter del bisfenol F.

Este tipo de resina posee viscosidades de 3,000 a 8,000 cps, mientras que las resinas del Bisfenol A de más bajo peso molecular tienen viscosidades alrededor de 11,000 a 16,000 cps. Estas resinas presentan mejor resistencia a la alta temperatura, al solvente y a los químicos; combinado con aminas alifáticas y cicloalifáticas de baja viscosidad pueden formularse sistemas de 2 componentes de 90 a 100% de sólidos dando muy buena resistencia química. Son usados en aplicaciones marinas, puentes, tanques, contenedores de almacenamiento, etc.

### 5.1.3 Resina Epoxi Novolac

Debido a la demanda de extrema resistencia química en recubrimientos, los epóxicos difuncionales son reemplazados por otras multifuncionales que proveen mejor densidad de polimerización. De esta manera, son preparadas las resinas epoxi novolac, por la epoxidación de la resina novolac fenólica con la epiclorhidrina.

Estas resinas poseen viscosidades muy elevadas de alrededor de 30,000 a 50,000 cps, sin embargo, curadas dan polímeros

muy rígidos con extrema densidad de enlace y por consiguiente elevada resistencia al calor, químicos y solventes.

Su aplicación principal está en la industria de los semiconductores electrónicos, especialmente para servicios a alta temperatura.

#### 5.1.4 Diluyentes Reactivos

Estos productos son moléculas de bajo peso molecular con terminación epoxi mono y difuncional. Son utilizados con el propósito de disminuir la viscosidad de algunas formulaciones de altos sólidos. Las viscosidades de estos productos se encuentran entre 1 a 70 cps. y cuando son añadidos en niveles del 7 a 20 % sobre el peso de la resina epóxica (dependiendo del diluyente), reducen la viscosidad del sistema a aproximadamente 1,000 cps.

Su mecanismo es bastante sencillo, reduce la densidad de reticulación del polímero.

Su incorporación permite mejorar la flexibilidad y resistencia al impacto, incrementar el tiempo de vida de la mezcla. Sin embargo, reducen la resistencia química y al calor, la dureza de película y retarda el secado. Es por ello que su uso se debe restringir al 5% de la resina epoxi para minimizar los efectos negativos en la performance de la película.

## 5.2 Endurecedores

Las resinas epóxicas pueden ser polimerizadas con una variedad de agentes curantes o endurecedores. De la selección apropiada del agente curante dependerá: las condiciones de curado, el tiempo de vida de mezcla, la técnica de aplicación y las propiedades físicas requeridas. Ambos reactantes afectarán la viscosidad y reactividad de la formulación, los agentes curantes determinan los enlaces químicos formados y el grado de densidad de enlace. Las epóxicas en cambio,

afectarán en la resistencia química, propiedades eléctricas, propiedades físicas, resistencia al calor, entre otras.

A continuación se describen algunos endurecedores mayormente utilizados en la industria de recubrimientos:

#### 5.2.1 Aminas

Son las más usadas en pinturas de mantenimiento industrial. La funcionalidad de una amina está determinada por el número de hidrógenos aminos presentes en la molécula. Así un grupo amino primario (aquel que tiene dos hidrógenos unidos a la molécula) reaccionará con dos grupos epoxi, una amina secundaria (sólo un hidrógeno unido a la molécula) reaccionará con un grupo epoxi, una amina terciaria no tiene hidrógenos y no reaccionará con ningún grupo epoxi, sino que actuará como acelerador o catalizador en las reacciones. En la figura N°7 se puede apreciar la reacción de este endurecedor con la resina epóxica.

Existe una variedad de agentes curantes aminas, entre ellas tenemos:

##### 5.2.1.1 Aminas Alifáticas:

Son productos líquidos manejables que brindan buenas propiedades físicas a la resina curada, incluyendo resistencia química y resistencia a los solventes. La relación de mezcla es crítica para la óptima performance. Las aminas alifáticas ofrecen rápida cura a temperatura ambiente, poseen cortos "pot lifes" (vida de mezcla) y alta exotermia cuando se mezclan grandes masas, lo que puede permitir la descomposición térmica. Posee además buena retención de algunas propiedades a temperaturas superiores a 100°C. Las exposiciones a corto plazo y a altas temperaturas pueden ser tolerados. Las aminas alifáticas exudarán bajo condiciones de alta humedad. Las poliaminas alifáticas aductas ofrecen la ventaja de bajas presiones de vapor, reducida tendencia

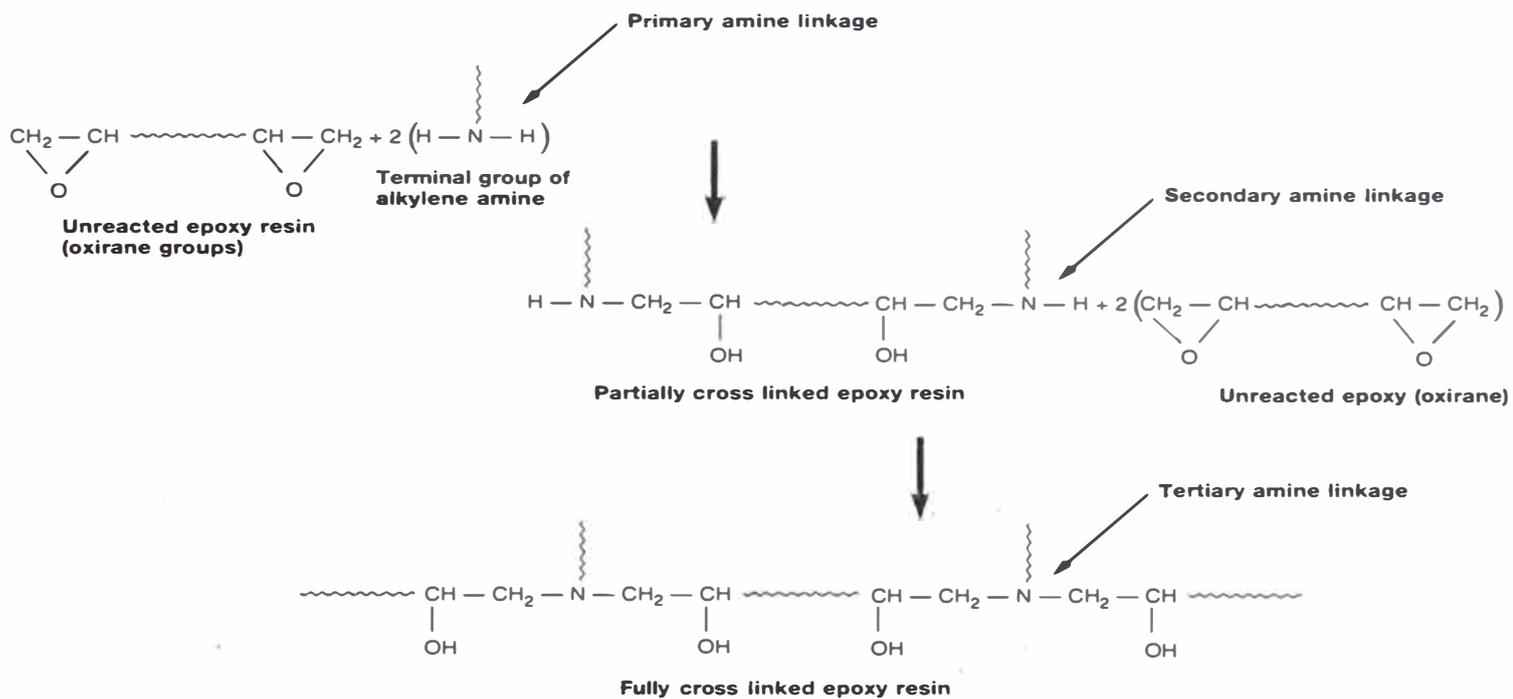


Figura N° 7  
 Reacción de Resina Epóxica con Endurecedor Amina

a la exudación y presentan relaciones de mezcla menos críticas.

#### 5.2.1.2 Aminas Cicloalifáticas

Comparadas con las alifáticas, las cicloalifáticas producen resinas curadas con una mejorada resistencia térmica y tenacidad. El porcentaje de elongación puede ser duplicado. Estas resinas son menos reactivas que las alifáticas, lo cual ocasiona un mayor pot life y la habilidad de manejar mayores masas.

#### 5.2.1.3 Aminas Aromáticas

Comparadas con las alifáticas y cicloalifáticas estas resinas debido a la presencia del anillo bencénico, posee una estructura que brinda un polímero mucho más rígido con superiores propiedades físicas, resistencia química y al calor.

#### 5.2.1.4 Poliamidas

Son productos de la condensación de ácidos grasos dimerizados, y aminas alifáticas tales como la dietilen triamina (DETA ó TETA). Están disponibles en un amplio rango de pesos moleculares, convirtiéndose en uno de los agentes curantes más versátiles para una variedad de aplicaciones. La reacción de la poliamida con los grupos epoxi se realiza a través del grupo funcional amino no reaccionado de la cadena poliamida.

Las poliamidas ofrecen la ventaja de curado sin exudación y buena adhesión. Sin embargo, ellos son mucho más oscuros y más viscosos que las poliaminas.

Los diferentes pesos moleculares de las poliamidas exhiben diferentes grados de compatibilidad con las resinas epoxi. Para asegurar óptimas propiedades, a la mezcla epoxi-poliamida debe permitirse reaccionar parcialmente antes de ser usado. Esta reacción parcial asegura compatibilidad y es conocida como período de

### CUADRO N°4

#### CARACTERISTICAS GENERALES DE ENDURECEDORES

Viscosid.	Tiempo de Vida de Mezcla	Estabi. Del Color	Curado A Bajas Tempera.	Flexibilidad De la Película	Resistencia Química			
					Acidos	Alcalis	Solvente	Agua
Alta	Largo	Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Excelente
Poliamida	Aromático	Cicloalifá.		Poliamida	Aromático	Alifático	Alifático	Aromático
	Poliamida		Alifático			Aromático		Cicloalifá.
		Alifático	Cicloalifá.		Cicloalifá.	Cicloalifát.	Cicloalifa.	Poliamida
	Cicloalifáti.		Aromático	Alifático	Alifático		Aromático	Alifático
				Cicloalifáti.	Poliamida	Poliamida	Poliamida	
					Altos Sólidos	Altos Sólidos	Altos Sólidos	
Aromático		Poliamida						
Poliamida			Poliamida				Poliamida	
Cicloalifát.								
Alifático	Alifático	Aromático		Aromático	Poliamida			
Baja	Corto	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Moderado	Pobre	Moderado

inducción. Debido a que las poliamidas tienen largos pot life, el tiempo de inducción no acorta significativamente el tiempo de vida útil al sistema.

Los epóxicos curados con poliamida pierden fuerza estructural rápidamente con el incremento de la temperatura. Esto limita su uso en aplicaciones que deben estar sujetas a temperaturas por encima de 65 °C. Parecido a lo epóxicos, las poliamidas rápidamente se atizan y amarillean. Esta deterioración no es progresiva, solamente la apariencia se ve comprometida (no así sus propiedades protectoras).

La reactividad de las resinas poliamida está relacionada estrechamente con el índice amina que se expresa como el número de miligramos de KOH (peso molecular=56) que se necesitan para reaccionar con los hidrógenos de la amina de un gramo de resina.

### **5.3 Pigmentos**

Constituye uno de los componentes importantes de una pintura; son sólidos finamente divididos de diversos colores utilizados para proporcionar principalmente color y opacidad. Son insolubles en el vehículo pero además tienen influencia en la consistencia, durabilidad, carácter protector, brillo, entre otras propiedades. Por su composición se clasifican en orgánicos e inorgánicos, por su origen en naturales y sintéticos.

Cuando se usan en resinas epóxicas, su selección debe realizarse con bastante cuidado. La selección de los mejores pigmentos para alcanzar un determinado color dependerá del tipo de agente curante empleado y las condiciones ambientales sobre la cual los sistemas curados serán expuestos.

#### **5.3.1 De Color**

Entre los diferentes tipos de pigmentos, tenemos:

a) Pigmentos Blancos

Los pigmentos blancos son uno de los más usados en la industria de pintura. El más usado es el Dióxido de Titanio, por su alta opacidad y su inercia química. Otros pigmentos usados pero en menor proporción son el óxido de zinc y el litopón (sulfuro de zinc con sulfato de bario).

#### b) Pigmentos Negros

Los más importantes pertenecen a la familia de los Negros de Humo que fundamentalmente son derivados del carbón.

Destacan por su buen poder cubriente y su gran poder tintóreo. También se usa en pinturas el Oxido de Hierro Negro que es una magnetita sintética. Su poder tintóreo es inferior a los negros de humo, su uso principal se encuentra en imprimaciones.

#### c) Pigmentos Amarillos

Los más usados son:

- Oxido de Hierro: Químicamente son óxidos férricos hidratados y se presentan en forma natural y sintética. Se caracteriza por su bajo costo, buen cubrimiento, aunque su poder tintóreo es relativamente bajo.

- Amarillo Cromo: Químicamente son combinaciones de cromato de plomo y sulfato de plomo y se caracterizan por su buen poder tintóreo, buen cubriente (tonos oscuros), relativamente bajo costo, "limpieza de color", tienden a oscurecer en presencia de la luz solar. Su resistencia a los álcalis es bastante pobre y los tonos más claros tienen bajo cubriente.

- Amarillo Hansa: Es un pigmento orgánico caracterizado por su alto poder tintóreo y buena resistencia química, aunque son de alto precio, bajo cubriente y sensibles al calor.

#### d) Pigmentos Naranjas

Dentro de este color mayoritariamente se usan los naranjas molibdatos, cuya principal característica es su relativo bajo costo, resistencia al horneado y sangrado y su buen cubrimiento. Entre sus desventajas están su pobre resistencia a los álcalis y tendencia a decolorarse. En el tipo orgánico destaca el naranja

bencidina de alto poder tintóreo y buena resistencia química pero de elevado costo, pobre cubriente y tendencia al sangrado.

#### e) Pigmentos Rojos

Entre los inorgánicos destacan el Oxido de Hierro, de bajo costo, buen cubriente y resistencia química, aunque su poder tintóreo y retención de brillo son pobres. De los pigmentos orgánicos rojos merecen destacarse las toluidinas, los para-reds, los litoles y las quinacridonas, los tres primeros de bajo costo relativo, mientras que el último es bastante caro.

Las toluidinas destacan por su resistencia química, poder tintóreo y facilidad de dispersión, los para-reds tienen buen cubriente y resistencia química pero como las toluidinas tienden a sangrar, los litoles mejoran la resistencia al sangrado, mientras que las quinacridonas son excelentes en todo aspecto a excepción de su alto costo.

#### f) Pigmentos Verdes

El tipo más usado entre los inorgánicos es el Verde Cromo, mezcla de amarillo cromo y de azul de hierro, destacando por su bajo costo, buen cubrimiento y escaso sangrado aunque su resistencia a los álcalis es pobre.

También en el tipo inorgánico se usa el Oxido de Cromo, de excelente resistencia química y cubrimiento, pero de escaso poder tintóreo y pobre resistencia a exteriores. Entre los orgánicos tienen uso casi exclusivo los ftalocianinas cuya resistencia al sangrado, a los agentes químicos, al horneado así como su poder tintóreo son excelentes aunque su costo es alto.

#### g) Pigmentos Azules

Entre los inorgánicos se usan el Azul de Prusia o Azul Milori por su bajo costo, buen poder tintóreo, pero pobre resistencia a los álcalis. El azul ultramar es de bajo costo, buena resistencia a los álcalis pero presenta bajo poder cubriente, escaso poder tintóreo y muy pobre resistencia a los ácidos y a la exposición exterior.

Entre los orgánicos destaca los azules ftalocianina de gran poder tintóreo, excelente resistencia química, al sangrado, al horneado, aunque son de elevado costo.

### 5.3.2 Metálicos

Existen varios tipos, pero se destacan en su consumo: el aluminio que se clasifica en “leafing” y “no leafing”, los del tipo leafing flotan en la superficie de la película impartiendo una apariencia metálica plateada y lustrosa. Los del tipo “no leafing” se distribuyen generalmente por toda la película, presentando una coloración gris y se utiliza en la fabricación de pinturas martilladas, policromadas, etc.

El zinc metálico es utilizado como pigmento anticorrosivo.

### 5.3.3 Inhibidores

Dentro de este grupo tenemos varios tipos que actúan de diversas formas para evitar la corrosión, su mecanismo protector depende del tipo químico del pigmento. En la industria de pinturas se manejan las siguientes:

Cromato de Zinc	Amarillo
Azarcón	Naranja
Zinc metálico	Gris metalizado
Fosfato de Zinc	Blanco
Tetraoxicromato de Zinc	Amarillo
Oxido de Hierro	Amarillo. Rojo y Negro

### 5.3.4 Inertes

Usados inicialmente como un relleno barato para reducir el costo por galón de pintura, hoy en día son usados como herramientas de ingeniería y juegan diversos roles en la aplicación y función de los recubrimientos modernos. Los extendedores son clasificados por sus tipos químicos: como carbonatos, sulfatos, óxidos, y silicatos.

#### 5.3.4.1 Carbonatos

Este extendedor está basado en el carbonato de calcio. Disponible en dos tipos, el natural (cal viva, mármol, tiza,

etc.) y el sintético. El tipo sintético es precipitado por reacción del carbonato de sodio y cal apagada, o hecho por carbonatación de la cal apagada. La dolomita natural, es una mezcla de carbonatos de sodio y calcio hasta con un 40% de carbonato de magnesio, es también aprovechable, pero es menos adecuado por su pobre brillantez y gran reactividad comparado con el carbonato de calcio puro.

Es un extendedor de bajo costo, baja absorción de aceite y comparativamente menor gravedad específica.

Desafortunadamente, son materiales alcalinos, lo cual limita su utilidad en pinturas protectoras porque reduce la resistencia a los ácidos de los mismos.

Aquí en nuestro país, los carbonatos son productos naturales obtenidos por simple proceso de chancado, lavado, molido y luego tamizado; su aplicación en pinturas está supeditada al tamaño de partícula del extendedor, los cuales contienen en su mayoría sales solubles, los mismos que limitan su uso en productos, como bases anticorrosivas.

#### 5.3.4.2 Sulfatos

El sulfato de Bario, es el único extendedor químicamente inerte. Esta propiedad y su extrema insolubilidad en el agua, hace del pigmento el más adecuado para usarlo en pinturas de resistencia química y de alta performance. De la misma forma que el carbonato de calcio, está disponible en forma natural (las baritas) y sintética, en el grado precipitado conocido como **Blanco Fijo**.

El producto natural está hecho por molienda húmeda de la barita mineral, usualmente seguido por un blanqueado para remover el hierro que posiblemente esté contaminando.

La forma sintética es producida por precipitación, de la reacción de Sulfuro de Bario y Sulfato de Sodio. En ambas

formas, el pigmento es de fácil dispersión con bajas propiedades abrasivas.

Su resistencia al agua, ácidos, álcalis, gases corrosivos, calor y luz la convierte en el pigmento favorito para recubrimientos de protección. Estos tienen una absorción de aceite muy bajo y pueden ser usados en considerables cantidades sin grandes efectos sobre la viscosidad. Desafortunadamente, el producto tiene una gravedad específica bastante alta, lo cual reduce la ventaja de relleno en volumen del pigmento y disminuye la efectividad en el costo. La alta densidad además hace necesario un balance adecuado de los agentes reológicos para mitigar el asentamiento y la aglomeración del pigmento.

#### 5.3.4.3 Sílicas

Todas las sílicas son caracterizadas por su inercia química, baja gravedad específica, bajo índice de refracción, y dureza.

Mientras que las sílicas cristalinas son inertes, su dureza limita su uso en sistemas de pinturas. La sílica cristalina es dificultosa para dispersar y requiere de una cuidadosa formulación, o la sedimentación del pigmento conllevará a un problema. Estas sílicas son muy utilizadas en pinturas para pisos, no obstante, por su dureza provee una mejorada resistencia a la abrasión y propiedades antideslizantes.

Las sílicas amorfas, las cuales son más pequeñas y de estructura muy fina que las sílicas cristalinas, son algo más suaves (dureza Moh de 6 a 7) y mucho más adecuadas para la pigmentación de recubrimientos de protección. En bases, estos materiales añaden "mordiente" a la película y ayudan a la adhesión entre capas. Ellos tienen menor gravedad específica que los pigmentos y pueden ser

usados como rellenos auxiliares en recubrimientos de altos sólidos.

Por lo general son usados como desecantes en pinturas de zinc y aluminio (los hidrogeles), agentes mateantes para barnices y recubrimientos pigmentados (sílicas precipitadas) y agentes tixotrópicos (sílicas pirogénicas). Su uso está restringido a menos de 0.5 lbs/gal. (60 g/L), frecuentemente mucho menos, y todas son normalmente clasificadas más como aditivos que como extendedores.

#### 5.3.4.4 Silicatos

Los silicatos representan la mayor clase de pigmentos extendedores. Todos los silicatos son materiales inertes. Pueden ser subdivididos como talcos (silicato de magnesio), caolines (silicatos de aluminio), wollastonita (silicato de calcio) y micas (complejo silicatos de aluminio y potasio).

##### - Talcos

El Talco o silicato de magnesio es quizás el extendedor más utilizado en pinturas. Es un producto muy abundante a lo largo de todo el mundo y está disponible en muchas formas y tamaños de partículas, incluyendo las fibrosas, laminares, aciculares y nodulares. El talco es un mineral suave (Dureza Moh 1) de moderada absorción de aceite (30-50) y de peso por galón entre 22.5 lbs y 23.3 lbs (2.7 g/cc y 2.8 g/cc). Es inerte y de bajo costo.

Los talcos más comerciales son los fibrosos o laminares. Los grados fibrosos son generalmente considerados los mejores para durabilidad exterior, los laminares son preferidos por su propiedad anticorrosiva donde ellos presumiblemente actúan de una manera similar a la mica. Los talcos laminares, además, mejoran las propiedades de aplicación, flujo y nivelación, suavidad y uniformidad de la película, están libres de materiales asbestiformes

(materiales que tienen la estructura y apariencia similar a los largos, hilos de fibras de asbesto) y hace de éste un excelente agente mateante. Los talcos nodulares son citados para dar mejores propiedades de adhesión a la película y dan agarre a las capas siguientes de acabado. Los talcos aciculares mejoran la fuerza de la película por su acción reforzante.

Los talcos muestran una fácil humectación, y buena dispersión. Los grados finos son dispersados a valores Hegman de 6 o más. Casi todos muestran buenas propiedades antisedimentantes en la pintura, y los materiales fibrosos son a veces utilizados como extendedores que imparten ventajas reológicas.

El asbesto es un tipo de silicato de magnesio fibroso de mucho más alta absorción de aceite cuyo uso ha disminuído grandemente por asuntos toxicológicos.

#### - Arcillas o Caolines

La arcilla china o Kaolín es un silicato de aluminio hidratado y tiende a ser uno de los extendedores de mayor uso en las pinturas, particularmente en sistemas látex para interiores. El incremento en su uso se debe principalmente al pigmento reformado, producido por el lavado acuoso, blanqueado, control del tamaño de partícula, y particularmente, por la calcinación. En el proceso de calcinación, el caolín es quemado en homos a altas temperaturas para inducir los grupos hidroxilos. El pigmento anhidro resultante tiene alto brillo y contribuye considerablemente a la propiedad de poder cubriente debido a que los vacíos dentro del caolín laminado son llenados de aire. Su utilización es especialmente efectiva cuando es empleado adecuadamente con dióxido de titanio, donde el alto cubriente es producido por los espacios

llenados por las pequeñas partículas de titanio entre los más grandes del caolín laminado.

- Wollastonita

Es un silicato de calcio disponible en diferentes grados de 10 a 100 micrones.

Todos los grados tienen relativamente baja absorción de aceite y peso por galón de 24.2 (2.9 g/cc). Estas propiedades hacen del producto el más adecuado como extendedor para sistemas de bajo VOC donde éste provee un volumen de pigmento con excelente efectividad en el costo. La Wollastonita es de forma totalmente acicular y actúa bien para fortalecer la película de la pintura. Es un extendedor de muy baja solubilidad en el agua. Este tiene un pH alcalino, y fue originalmente usado en pinturas látex como buffer para mantener el pH y reducir la corrosión en el envase, actualmente es muy usado en bases anticorrosivas metálicas (ejemplo: Mástic Aluminizado) donde éste contribuye considerablemente en la resistencia a la corrosión y ampollamiento, especialmente, los empleados en la forma tratada superficialmente.

Finalmente, la wollastonita promueve colores limpios e incrementa la resistencia a la intemperie.

- Mica

Muy útil en la formulación de las pinturas anticorrosivas. Está disponible en muchas formas, pero sólo la Mica Muskovite encuentra uso significativo en pinturas. El más usado como extendedor es el producto de malla 325 (diámetro máximo de 45 micrones).

Su función anticorrosiva se debe a la forma laminar de su partícula y a su lisura superficial, las cuales se superponen y complican el paso del agua a través del recubrimiento.

El producto tiene alta opacidad a la radiación ultravioleta, debido principalmente a la forma de la partícula, es así que

adiciona a la durabilidad de las pinturas, su fuerza e integridad y su resistencia al cuarteado (cracking). Este último se explica porque el pigmento provee un mecanismo de alivio de tensiones al recubrimiento que libera fuerzas cuando ocurre el deslizamiento entre partículas, durante el mecanismo de secado.

En recubrimientos Zinc Rich, la mica es usada como reemplazo parcial del zinc, reduciendo la tendencia de tales películas a cuartearse. En sistemas pigmentados de aluminio, la mica se usa para conservar al aluminio y preservar la brillantez de los productos leafing.

#### **5.4 Solventes**

Es el componente que se evapora al secar la pintura, se utiliza para disolver el vehículo no volátil, facilitar su aplicación controlando la viscosidad adecuada para que pueda ser aplicado ya sea a brocha o pistola. Afectan además el secado, la adherencia, brillo, etc.

Se clasifican en hidrocarbonados y oxigenados. Dentro de los hidrocarburos encontramos los hidrocarburos alifáticos como el aguarrás mineral é hidrocarburos aromáticos como el Xilol, Toluol, etc. Dentro de los oxigenados se encuentran los alcoholes como el etanol, isopropanol, butanol, etc., ésteres como el acetato de etilo, acetato de butilo; cetonas como la metil etil cetona (MEK), metil isobutil cetona (MIBK), isoforona, etc.

En las pinturas epóxicas los solventes mayormente utilizados son los hidrocarburos aromáticos como el Xilol y solventes activos como las cetonas, los cellosolve (ésteres glicoles), etc.

Las formulaciones de altos sólidos recurren a solventes que posean un apropiado balance de solvencia, volatilidad y propiedades de tensión superficial que significativamente mejorarán las características de aplicación y performance de estos productos. Estos solventes incluyen cetonas, ésteres, alcoholes y éteres glicoles.

## 5.5 Aditivos

### 5.5.1 Dispersante

Es uno de los aditivos importantes en toda formulación, debido a que su incorporación significa:

- Reducción del tiempo de dispersión
- Mejoramiento del grado de dispersión
- Estabilización de la dispersión
- Aumento del brillo
- Mejoramiento de la fluidez
- Mejor suspensión del pigmento, y por lo tanto escasa sedimentación
- Reducción de la viscosidad de la molienda
- Mejoramiento del desarrollo de los pigmentos y el poder cubriente

Este aditivo se deposita en la superficie del pigmento y reduce las tensiones interfaciales entre los pigmentos, casi siempre hidrófilos, y los vehículos hidrófobos.

En el caso de los epóxicos, algunas formulaciones lo utilizan en pequeñas dosis hasta el 1% sobre la formulación total. Existen formulaciones que no la utilizan, a pesar de la alta tensión superficial de las resinas epóxicas, la razón es que reducen de alguna manera las propiedades de resistencia del producto.

Los aditivos mayormente usados están basados en sales poliaminoamida no saturadas y ácidos ésteres de elevado peso molecular.

### 5.5.2 Humectante

Este aditivo es utilizado en aquellos productos epóxicos de altos sólidos, para romper la alta tensión superficial y asegurar la humectación del producto sobre la superficie, especialmente aquellas preparadas marginalmente (sólo con limpieza mecánica); de esta manera, es necesario añadir a la formulación un aditivo capaz de humectar superficies con restos de grasa y

óxido firmemente adheridos al sustrato, de esta manera se asegura el correcto anclaje de la capa de pintura.

Su incorporación no se realiza en la etapa de molienda de los pigmentos, sino durante el completado del producto.

Los productos usados son surfactantes orgánicos o siliconados, sin embargo, estos aditivos pueden interferir en la adhesión y resistencia al agua por lo que se suele recurrir en algunas formulaciones a ciertos solventes capaces de reducir la tensión superficial.

### 5.5.3 Antiflotante

La flotación es un problema que frecuentemente se encuentra en las formulaciones de cualquier tipo de vehículo, razón por la cual se adicionan pequeñas dosis del aditivo antiflotante.

La flotación es la separación de uno o más pigmentos que produce colores no uniformes en las películas secas. Este problema ocurre cuando en las formulaciones aparecen pigmentos que varían mucho en tamaño de partículas y en densidad.

Existen productos basados en sílice coloidal y carbonato de calcio que ayudan a reducir este problema, pero tienen la desventaja de disminuir, en alguna medida, el brillo de algunas pinturas de acabado. En este caso, existen otros aditivos basados en siliconas que unidos a agentes humectantes y dispersantes apropiados resuelven este problema y son muy usados en la industria.

### 5.5.4 Agentes Reológicos

Una de las propiedades importantes en la formulación de recubrimientos de altos sólidos es la resistencia al chorreo (sagging), y es, para obtener la tixotropía necesaria para que el recubrimiento cumpla su especificación, que se utilizan los aditivos reológicos.

La tixotropía es la propiedad de rebajar temporalmente la viscosidad bajo la influencia del corte, esta propiedad es

bastante útil porque proporciona a las pinturas buenas cualidades para su aplicación a brocha y al mismo tiempo buena resistencia al flujo excesivo.

Las propiedades de aplicación obtenidas mediante la incorporación de agentes reológicos son:

- Suspensión de pigmentos
- Resistencia al chorreo
- Nivelación
- Brillo

Para obtener esta falsa consistencia en sistemas no acuosos se utilizan las Arcillas Reológicas, los Agentes Orgánicos y los "Fumed Silica".

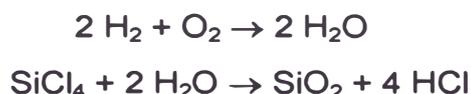
En el caso de las arcillas orgánicas, éstas son independientes de la temperatura para su activación, son formadores de viscosidad, promueven la suspensión de los pigmentos, son agentes "anti-sagging", y proporcionan buena estabilidad al sistema. Se añade a la formulación de dos maneras, algunos en forma de gel o directamente como polvo ("Super Dispersables"), en el caso de los primeros, es indispensable la adición de un activador polar que por lo general es un alcohol, la segunda forma no requiere activador.

Por lo general, estos aditivos son incorporados en la etapa de la molienda y en el caso de los Super Dispersables es necesario dispersadores de alta velocidad. La selección del tipo de aditivo se realiza de acuerdo al sistema de solventes de la fórmula.

Los agentes reológicos orgánicos son aquellos basados en aceite de ricino, poliamidas y suspensiones oleofínicas. Estos productos a diferencia de las arcillas requieren de temperatura para su activación. Los productos basados en aceite de ricino tienen un rango mínimo y máximo de temperatura en el proceso, los basados en poliamidas-amidas y las suspensiones oleofínicas no tienen límite de temperatura superior. En cuanto a las propiedades que ofrecen, los dos primeros tipos poseen las

mismas que las arcillas, en cambio, en el caso de las suspensiones oleofínicas la propiedad que ofrece es sólo como antisedimentante,

Los “Fumed Silica” son aditivos muy usados también en recubrimientos epóxicos, éstos son obtenidos por la hidrólisis del vapor de tetracloruro de silicio a temperatura de 1800°C aproximadamente según las reacciones:



De estas reacciones resulta un producto coloidal de muy elevada pureza y finísimo tamaño de partícula (7-15 nanómetros) y área superficial que varía entre 130-400 m<sup>2</sup>/gr.

Estos materiales actúan formando redes de cadenas unidas por valencias secundarias de las partículas de sílica, las cuales son distribuidas a través de toda la pintura manteniendo de este modo su estructura tixotrópica. Son productos inertes de fácil dispersión, producen excelente suspensión del pigmento y características reológicas. Los niveles usados pueden variar de producto a producto y de aplicación a aplicación con 0.5 a 3.0 por ciento del peso total de la pintura.

#### 5.5.5 Nivelantes

Muchas veces la alta tensión superficial de los epóxicos, origina defectos en la película aplicada como mala extensión y presencia de una superficie estructurada conocida como cáscara de naranja. Estos problemas se pueden corregir haciendo uso de un adecuado balance de solventes, agentes reológicos y otros aditivos que influyen en el comportamiento del flujo. Sin embargo, existen también aditivos siliconados específicos que reducen este problema, pero que deben ser utilizados en cantidades controladas debido a su influencia en la adhesión entre capas.

#### 5.5.6 Desaireantes

El proceso de fabricación de algunas formulaciones epóxicas origina algunas veces excesivo atrape de aire en el cuerpo de la pintura; para resolver este problema junto a una correcta formulación es necesaria la ayuda de algunos aditivos siliconados que ayudan a una mejor liberación del aire atrapado.

## **CAPITULO VI PROCESO DE FABRICACION DE PINTURAS EPOXICAS**

### **6.1 Introducción**

En la fabricación de las pinturas epóxicas al igual que cualquier otra pintura el proceso principal es la dispersión o molienda. Esta denominación podría significar que el fabricante “muele” o reduce el tamaño de las partículas de pigmento, sin embargo esto no es cierto. Lo que ocurre es que el pigmento como tal, está conformado por un conjunto de aglomerados muy pequeños, no visibles al ojo humano, constituidos por finos polvos de pigmento los cuales se mantienen juntos por fuerzas electrostáticas; éstos, si son incorporados a la resina con simples mezclas, la pintura obtenida tendría una apariencia tosca y áspera al tacto, además de una pobre opacidad, color y brillo. Por lo tanto, el propósito de este procedimiento es romper dichos aglomerados y dispersarlos en la resina, para lo cual se necesitan proveer grandes cantidades de energía a la mezcla para separar las fuerzas que las mantienen unidas y así permitir que el pigmento revele todas sus características como partícula individual. La relativa facilidad de obtención de este proceso se conoce como dispersabilidad del pigmento.

Es importante anotar que la facilidad de dispersión de un pigmento dado será afectada por la naturaleza del vehículo. Así los vehículos a base aceites, soluciones alquídicas y poliamidas son los que tienden a humectar las partículas del pigmento más fácilmente que los de alta tensión superficial como los vinílicos, epóxicos, entre otros.

### **6.2 Equipos**

#### **6.2.1 Dispersador de Alta Velocidad (Cowless Dissolver)**

Es el equipo de procesamiento más común en la fabricación de pinturas. Consiste de un recipiente cilíndrico simple posicionado

verticalmente, dentro del cual se ubica un agitador de alta velocidad que en la parte inferior tiene unas cuchillas en forma de disco o impeler. No utiliza perlas u otro medio de molienda, la dispersión ocurre debido a la alta turbulencia que se genera a altas velocidades y por los efectos de cavitación que ocurren cerca de las cuchillas del disco (figura N°8).

Durante la dispersión, ocurre un incremento de temperatura bastante rápido del lote, sin embargo, habitualmente no se usan chaquetas de enfriamiento porque las finezas deseadas son obtenidas antes de alcanzar excesivas temperaturas.

Para una operación satisfactoria (figura N°9), se debe considerar:

- La adecuada consistencia de la base de molienda.
- El diámetro del disco ( $d$ ) con relación al diámetro del recipiente (aproximadamente  $3d$ )
- La velocidad periférica del disco (por lo menos 20 m/seg.)
- La altura de la carga de pintura (entre 1.5 a  $2d$ )

La mayor desventaja de este tipo de equipos es que no desarrolla suficientes fuerzas de cizalla para el rompimiento de muchos aglomerados duros, tales como los pigmentos orgánicos (negro de humo, azul y verde ftalocianina, etc.).

#### 6.2.2 Molino de Arena (Sand Mill)

Este equipo consiste de un recipiente posicionado verticalmente en forma fija (no se mueve). La agitación es provista por un eje central interior que se extiende verticalmente a través de todo el molino. Situado sobre este eje, de arriba abajo del cilindro, existe una serie de discos de acero (a manera de tornillo sin fin) que no llegan a extenderse a los lados del cilindro.

El cilindro es cargado con una cantidad de arena (perlas de vidrio) aproximadamente igual, en volumen, a la base de molienda. La base de molienda ingresa al equipo mediante bombeo en el punto más bajo del cilindro y realiza un recorrido a lo largo del eje mezclándose con las perlas, las cuales debido a

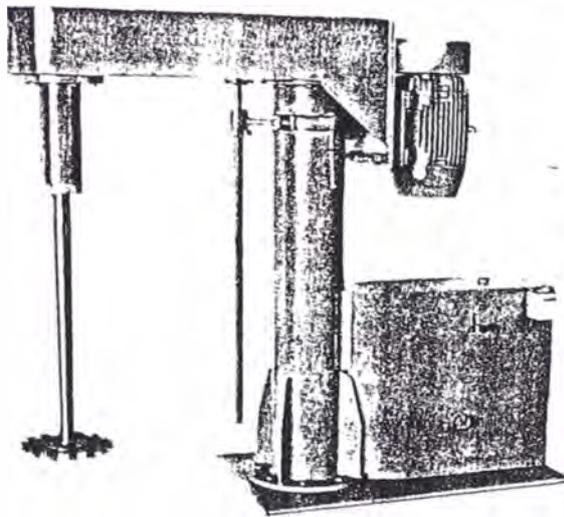


Figura N° 8  
Dispersador de Alta Velocidad

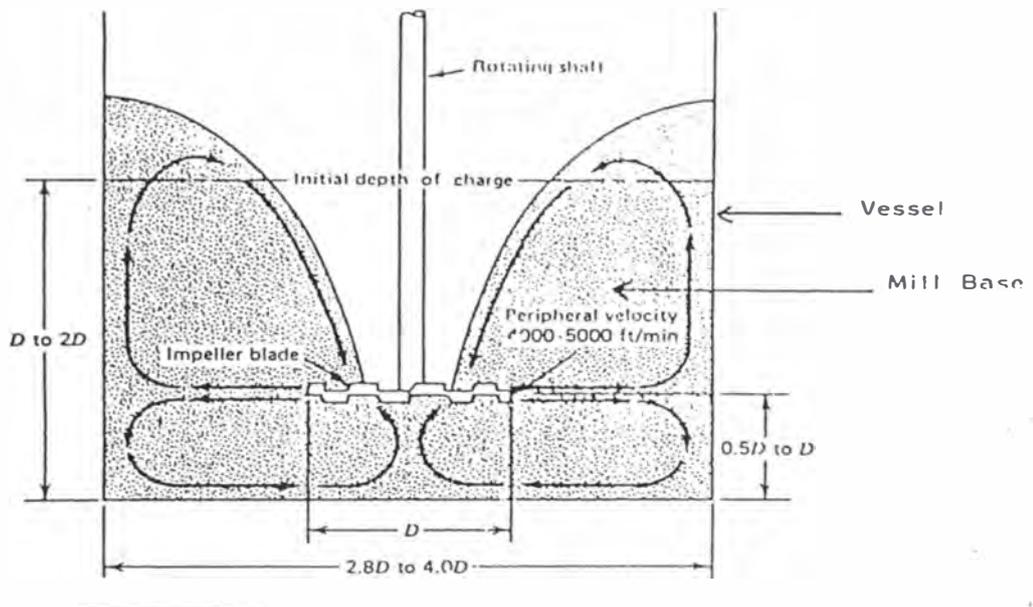


Figura N° 9  
Flujo Ideal de un Dispersador

la alta velocidad con la que gira el eje provocan el impacto con los aglomerados de la base. Luego la pasta sale del molino en la parte superior pasando a través de una malla la cual retiene las perlas (figura N°10).

La clave para una máxima eficiencia de este equipo está en la correcta relación pintura/perlas que está circulando por los discos; asimismo, la viscosidad de la base de molienda y la correcta regulación de velocidad de entrada (velocidad de procesamiento) de la base son factores importantes.

La desventaja que presenta es que su limpieza es difícil y costosa, por lo que estos equipos son adecuados para la producción continua de un determinado producto y color, de tal forma que se minimicen los gastos por limpieza con solvente.

### 6.2.3 Molino Tricilíndrico

Este equipo consiste de tres rodillos de acero ubicados tangencialmente uno al lado del otro que rotan a diferentes velocidades. Los espacios libres entre las superficies de los rodillos son muy pequeños y ajustables, algunos son controlados por presión hidráulica (figura N°11).

La base de molienda, que debe tener una consistencia apropiada, es arrastrada entre los rodillos, el cual al girar produce las fuerzas de corte necesarias para la dispersión.

La alimentación al equipo se realiza mediante los rodillos 1 y 2 (figura N°12), aquí la base debe ingresar pre-mezclada, luego pasa por la abertura entre los rodillos 2 y 3 donde es cizallado con mayor fuerza, para luego salir y ser colectado.

Es necesario recircular varias veces la base de molienda a través de los rodillos para obtener el grado de dispersión adecuado.

Su mayor desventaja es que la labor es bastante intensa, existen grandes pérdidas por evaporación de solventes y además, la capacidad de producción es bastante limitada.

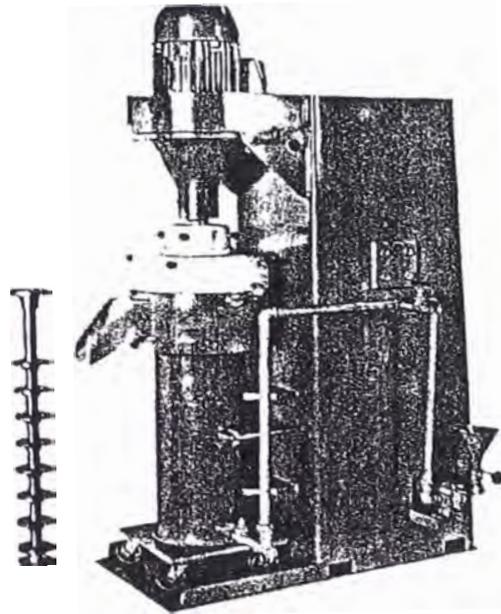


Figura N° 10  
Molino de Arena (Sand Mill)

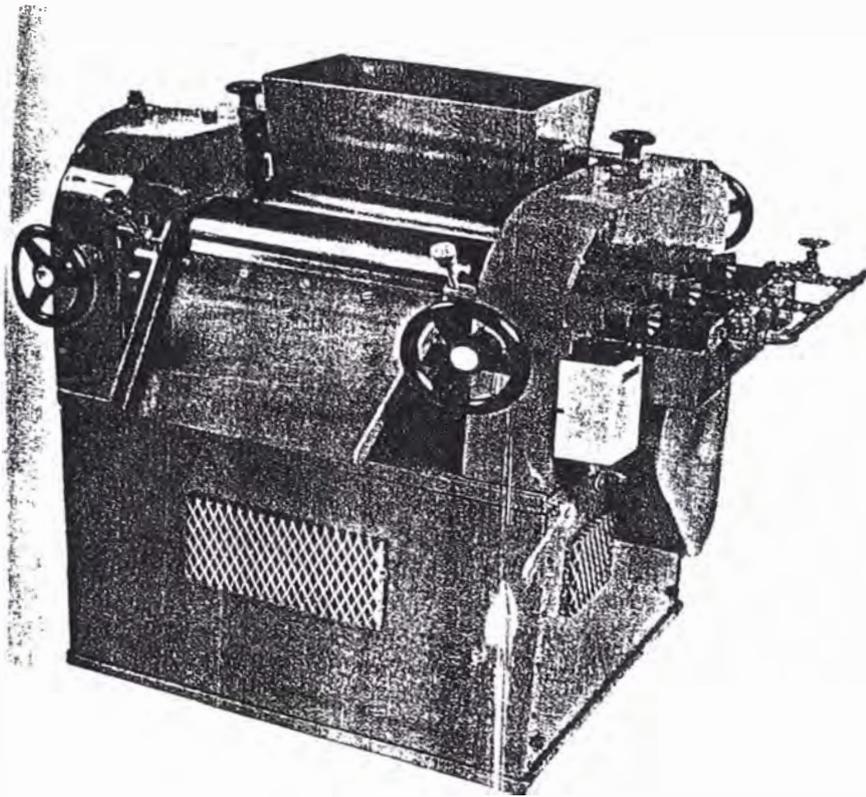


Figura N° 11  
Molino Tricilíndrico

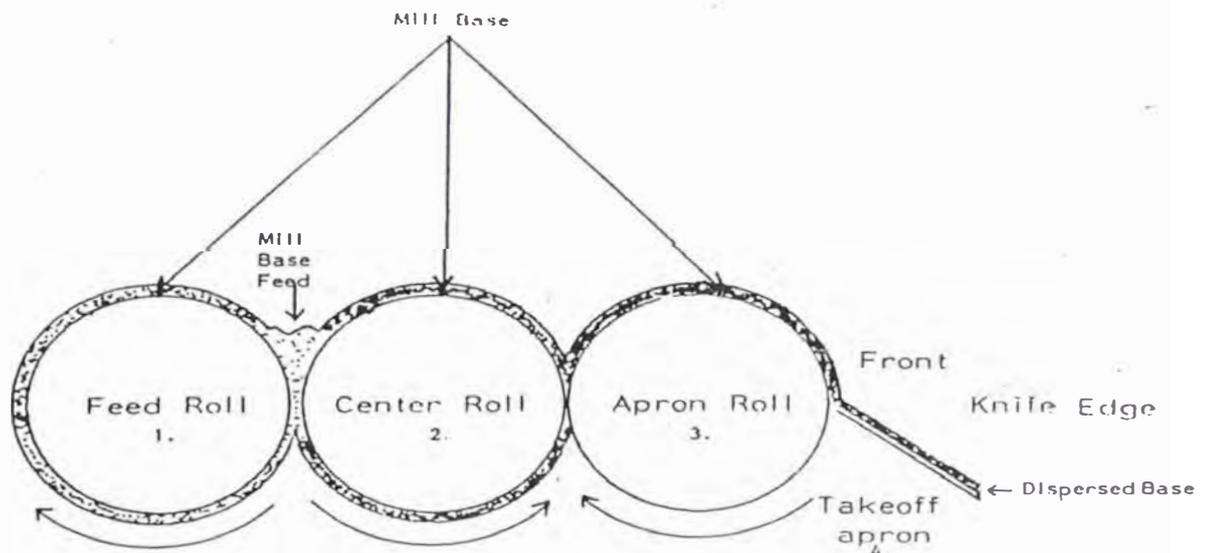


Figura N° 12  
Operación de un Molino Tricilíndrico

Este equipo está siendo desplazada por otros más eficaces y actualmente en nuestra empresa se la utiliza sólo para la preparación de algunas pastas para tintado y para la fabricación de algunos lotes pequeños.

### **6.3 Proceso de Manufactura**

La fabricación de una pintura epóxica involucra por lo general tres etapas:

- Pre- mezcla
- Dispersión
- Completado

En la primera etapa, esto ocurre por lo general en la Cowless, se procede a cargar la resina a la cual se le adicionan de acuerdo al tipo de formulación los aditivos dispersantes, antiflotantes y reológicos. Luego de una correcta homogenización, el pigmento y los extendedores son introducidos en la mezcla anterior en una proporción tal que permita ayudar a la reducción de los aglomerados, para ello se incrementa la velocidad del equipo de tal manera que pase a la siguiente etapa con algún grado de dispersión. Cabe mencionar que la incorporación de algunos tipos de agentes reológicos requiere alcanzar una determinada temperatura para su activación, y es en esta etapa que hay que tener cuidado en obtenerla. Dependiendo del tipo de producto epóxico o del color se procede muchas veces a dispersar y completar el lote en este mismo equipo. La segunda etapa corresponde a la dispersión y en esta etapa se pueden utilizar la Cowless, como se mencionó, el molino de perlas o el molino tricilíndrico.

Muchas dispersiones son obtenidas en la Cowless, especialmente cuando se procesan colores blancos y también cuando el grado de molienda requerido por algunos tipos de productos no es muy exigente; sin embargo, existen algunos colores cuya pigmentación es bastante dura, y para los cuales se utilizan equipos que otorguen una

mayor energía para la dispersión. Uno de los equipos utilizados son los molinos de perlas. Lamentablemente, como se mencionó, este equipo requiere de mucho solvente para su lavado y en algunos casos donde la formulación y el tamaño del lote no lo permite se utiliza el molino tricilíndrico. Este último preferentemente se le utiliza para la fabricación de pastas epóxicas pues permite la molienda de una base viscosa e inclusive sin solvente (utilizado en las pinturas de altos sólidos).

Cabe mencionar que para cada uno de estos equipos, se tiene una formulación diferente que considera la viscosidad adecuada de base de molienda así como también la compensación por pérdida de solventes.

Después del proceso de dispersión, la tercera etapa es el completado. En esta etapa los componentes restantes de la fórmula resina, solvente y aditivos específicos de formulación son incorporados cuidadosamente a la mezcla. Finalmente, si el producto lo requiere es matizado a tono según los patrones establecidos.

## **CAPITULO VII**

### **INVESTIGACION Y DESARROLLO**

#### **7.1 Objetivos**

Los objetivos del trabajo del área de Investigación y Desarrollo son determinados y coordinados a través de la Gerencia de Producción. Esta Gerencia a su vez recibe las necesidades de otros Departamentos como Gerencia General, Gerencia de Ventas, Gerencia de Marketing Departamento Técnico y Producción.

#### **7.2 Etapas de Trabajo**

##### **7.2.1 Diseño de fórmula**

Cuando una pintura es formulada, el primer paso es definir las características del producto, las cuales son usualmente predeterminadas. El objetivo de una formulación puede ser tan simple como proveer de un producto competitivo o tan complejo como proveer una respuesta a una necesidad específica del mercado. Entender el uso y el propósito de un recubrimiento es el primer problema del formulador a partir del cual comenzará el diseño de la fórmula. El criterio puede estar basado sobre el material húmedo o el material seco o ambos.

Una vez que las características de performance son entendidas, la próxima fase en el desarrollo de una formulación es, formular y evaluar el recubrimiento generado para encontrar esos requerimientos. En algunos casos, la parte experimental consiste solamente de algunos candidatos; en otros casos, cientos de posibilidades pueden ser evaluadas.

La optimización de los criterios requeridos así como los factores asociados tales como facilidad de fabricación, costo, propiedades de aplicación, brillo, etc., deben ser considerados.

El producto final debe tener todas las propiedades requeridas y satisfacer los requerimientos de uso final del cliente.

Durante la fase de evaluación de las fórmulas candidatas, se someten a varias pruebas para verificar las propiedades húmedas y secas. Se deben someter a pruebas de simulación, incluyendo la integridad de la pintura bajo varias condiciones ambientales, o bajo fuerzas físicas. Debe considerarse asimismo el sistema de pintura a ser usado, si servirá como base, capa intermedia o acabado, y cómo éste afecta a las otras pinturas que pueden ser usadas con él. Es esencial emplear métodos de simulación de uso y evaluación del material bajo circunstancias que aseguren que el material ha encontrado el propósito del diseño. Después de las evaluaciones (Ver acápite 7.3) muchas fórmulas se eliminarán al no alcanzar los objetivos.

Para satisfacer completamente las características de performance de la formulación es indispensable que al lado de las instrucciones de combinación de los materiales, el formulador especifique el tipo y la calidad de las materias primas, todas las características concernientes a la combinación e incorporación junto con los métodos de evaluación intermedia y final así como los criterios de aceptación. Deben ser determinadas las instrucciones para las leyendas de manipuleo y almacenamiento, así como la especificación del procedimiento de uso y aplicación.

De esta manera, se detallan las acciones inmediatas a la obtención de una fórmula que ha alcanzado los requerimientos deseados.

#### 7.2.2 Control de Calidad de la Materia Prima

Es esencial la adecuada selección de la materia prima en la optimización de las propiedades del producto final. Dicha selección normalmente es dictada por la experiencia obtenida con dichos materiales, las propiedades que ellos imparten, la

calidad y la consistencia con la cual han sido recibidas, la facilidad y seguridad de uso y el costo.

La selección de materiales que el formulador no ha experimentado es más difícil pero esto puede ser determinado en la etapa de diseño. Un criterio en la selección debe incluir la disponibilidad a largo plazo, la entrega y calidad de empaque que asegure una buena estabilidad. Asimismo, se deben evaluar proveedores alternativos para las materias primas claves para asegurar consistencia y calidad a los productos finales.

Cuando una materia prima es adecuada para su uso, sus parámetros deben ser definidos para asegurar que el material sea de calidad consistente. Solamente de este modo es posible reproducir el diseño original. Es necesario determinar qué propiedades de la materia prima son esenciales para la calidad del producto. Estas propiedades deben ser definidas y medidas de tal forma que los requerimientos puedan ser comunicados a los proveedores antes de realizar la compra. Debe determinarse qué propiedades son críticas y deben evaluarse ni bien son recibidas. La comunicación de los criterios de aceptación a los proveedores ayuda a asegurar que el material recibido se encuentre en las especificaciones estándares.

Una vez establecidos los criterios y tolerancias aquello queda sujeto al control de los materiales seleccionados. Es necesario proveer al personal de control de calidad los equipos requeridos, los estándares de aceptación, los procedimientos de evaluación y las instrucciones. Muchas veces, el procedimiento de evaluación y los estándares son de uso rutinario en la industria. En otros casos, las pruebas son únicas para el material o se debe realizar una simulación de uso del material en un producto final (prueba funcional). En este caso, se determina si el material provee las propiedades finales requeridas por la pintura o no.

El análisis estadístico de los datos de control es importante para la continuidad de la calidad del producto acabado, provee

información necesaria para mejorar la calidad, las propiedades o la estabilidad del producto acabado. Además nos ofrece datos objetivos acerca de los proveedores de materias primas y hace posible de manera fácil su calificación. Simplifica la selección de la calidad de materias primas a ser usadas en productos que están siendo desarrollados.

### 7.2.3 Control de Proceso

El método de fabricación puede afectar la especificación del producto acabado. El período de desarrollo del producto normalmente provee las bases para la selección y uso de equipo. El uso de una planta piloto facilita la simulación del proceso y ayuda en la selección adecuada del equipo para la producción. Los tamaños de lote óptimos deben ser determinados durante los primeros lotes producidos. Se establecen algunos criterios de evaluación durante la fabricación como el chequeo de la molienda, viscosidad, color y otras propiedades que estén contenidas en la especificación. Como las tecnologías de los equipos mejoran cada día, es necesario reevaluar los métodos de fabricación para muchos productos de línea. Contínuos mejoramientos en la fabricación ayuda a incrementar la eficiencia y puede reducir el costo de un producto de calidad.

El entrenamiento al personal de producción es una consideración clave en el control de calidad. La habilidad de un trabajador a reconocer cuando algo está fuera de lo ordinario puede prevenir que el producto pase a la fase de control sin correcciones.

Los supervisores deben contar con instrucciones claras y precisas que no permitan interpretaciones erróneas. Muchas unidades de producción tienen asignado a un técnico que trabaja con el formulador para determinar el proceso del equipo, revisar los puntos de prueba, la secuencia de incorporación de los materiales y los criterios de aceptación finales.

Durante el proceso de fabricación existen evaluaciones que son planeadas y ejecutadas a fin de asegurar que el lote se esté fabricando apropiadamente. La toma de viscosidad nos asegura el desarrollo de los agentes tixotrópicos, las lecturas periódicas de fineza de molienda son esenciales para determinar la apropiada dispersión de pigmentos y cargas adicionadas al proceso.

Estos procedimientos pueden detectar problemas durante la fabricación del lote. Si las evaluaciones son hechas en puntos críticos del proceso, cualquier problema descubierto puede ser identificado y corregido oportunamente. Los ajustes del lote en proceso es el método más óptimo para asegurar que el lote encuentre los criterios de calidad. Modificar un lote completado es más difícil y frecuentemente menos exitoso.

Por otro lado, hay que considerar que la revisión y calibración de los instrumentos de evaluación y control son necesarias para garantizar resultados exitosos.

#### 7.2.4 Control de Calidad del Producto Terminado

En esta etapa lo que se busca es verificar ciertas propiedades que determinen la conformidad del lote fabricado. Por ejemplo, se verificará la fineza para saber si hubo la adecuada dispersión, si el volumen fabricado coincide con el teórico, entre otros. Para ello, el formulador previamente ha debido determinar las propiedades de control más importantes y proporcionar las especificaciones con las respectivas tolerancias.

Generalmente, las propiedades más importantes verificadas en Control de Calidad del Producto Terminado son:

##### PROPIEDADES HUMEDAS:

- Peso /galón
- Viscosidad
- Fineza
- % Sólidos
- Facilidad de Aplicación

- Brochabilidad
- Nivelación
- Resistencia al Sagging
- Secado
- Pot Life

#### PROPIEDADES EN SECO:

- Poder Cubriente
- Color
- Brillo
- Dureza

(Ver detalle de cada prueba en 7.3)

Eventualmente se incluyen pruebas de verificación de propiedades funcionales (o de uso final) como por ejemplo, la adhesión sobre un sustrato determinado, la flexibilidad de una aplicación en particular, inmersión en ciertas soluciones químicas, etc. Normalmente, estas pruebas se realizan durante la etapa final de formulación en la fase de diseño.

### 7.3 Programa Formal de Evaluación

Una de las etapas importantes en el desarrollo de una formulación es la evaluación de propiedades, para ello se recurren a numerosas pruebas de Laboratorio debidamente normadas.

La secuencia de evaluación para una pintura industrial es:

#### PROPIEDADES FISICAS

##### 7.3.1 Peso/Galón (ASTM D-1475)

Esta propiedad indica la cantidad en kilos de material contenidos en un galón de pintura. Este dato es muy utilizado en el Control del producto fabricado porque a través de él y el peso neto del lote se realiza el cálculo del volumen fabricado y se procede a realizar los ajustes respectivos. Se utiliza para su medición un picnómetro metálico normado según ASTM.

##### 7.3.2 Viscosidad (Ford ASTM 0-1200) (Stormer ASTM 0-562)

Esta propiedad se refiere a la consistencia del producto, y puede ser viscosa o fluída. Uno de los instrumentos que se utilizan para medirla es la Copa Ford, por lo general la N°4, usada en pinturas fluidas y barnices, es decir fluidos newtonianos. El método consiste en indicar el tiempo que demora en caer por gravedad un volumen determinado de pintura.

Otro instrumento muy usado es el Viscosímetro Stormer, el cual mide la viscosidad en unidades Krebs (KU), y Brookfield cuya unidad de medida es el cP, estos aparatos son muy usados en la toma de viscosidad de fluidos tixotrópicos, entre ellos se encuentran los epóxicos de altos sólidos.

#### 7.3.3 Fineza (ASTM 0-1210)

Esta propiedad mide el grado de dispersión de los pigmentos. Se utiliza un equipo denominado regla de fineza, el método consiste en extender una pequeña cantidad de pintura a lo largo de unos canales haciendo uso de una cuña metálica, esta regla está graduada en micrones o unidades Hegman (H) desde 0 hasta 8, el estirado se compara con unos patrones y se reporta la fineza.

#### 7.3.4 % Sólidos (ITINTEC 319.003)

Esta propiedad se refiere al contenido no volátil de la pintura. Se determina por diferencia de peso, haciendo uso de una balanza de precisión y una estufa de alta temperatura.

### PROPIEDADES DE APLICACIÓN

#### 7.3.5 Nivelación (ASTM 0-2801)

Una vez que el producto ha sido evaluado en sus propiedades de control, se procede a observar otras mucho más importantes y que corresponden a las de aplicación. Entre ellas se encuentran la nivelación, una vez que el producto esté diluido a la viscosidad de aplicación se procede a aplicar según el método adecuado y se observa cuál es la apariencia que deja la película húmeda y seca. Si la película se mantiene estirada sin presentar irregularidades de ningún tipo se dirá que tiene buena nivelación,

de lo contrario se observarán defectos como cáscaras de naranja, pinholing que afectarán posteriormente a otras propiedades como el brillo y la resistencia a la corrosión.

Esta propiedad se aprecia visualmente durante la aplicación del producto. Además, en el caso específico de las pinturas Látex se utiliza un equipo normado según ASTM.

#### 7.3.6 Facilidad de Aplicación

Esta propiedad se refiere a la facilidad que presenta el producto a ser aplicado con brocha y/o pistola. Si se aplica con brocha se observará si la pintura tiene fluidez nivelando adecuadamente o, si por el contrario es de difícil aplicación dejando marcas de brocha; en la aplicación a pistola se observará si el producto pulveriza adecuadamente ya que de lo contrario ocasionaría defectos en la superficie o inadecuados espesores de película.

#### 7.3.7 Estabilidad a la Dilución

Un producto debe diluirse cuidadosamente respecto a la cantidad y tipo de disolvente a añadir. Mediante esta propiedad se determina la cantidad óptima de disolvente necesaria para una correcta aplicación según el método seleccionado, sin que signifique una disminución excesiva en los sólidos del producto de tal manera que, en reposo, provoque separación de los componentes.

#### 7.3.8 Vida de Mezcla (Pot Life)

Las pinturas como los epóxicos y las del tipo poliuretano curan por reacción química, por lo tanto, una vez mezclados sus componentes existirá un período dentro del cual sus propiedades de performance serán las óptimas.

No necesariamente puede significar que el tiempo de vida cese cuando el producto está gelado, la mezcla puede permanecer líquida, sin embargo, ciertas propiedades se verán afectadas cuando se aplique después del tiempo estipulado.

Durante la etapa de desarrollo esta propiedad se determina realizando aplicaciones cada cierto intervalo de tiempo y

sometiéndolas a una evaluación exhaustiva, aquel tiempo de aplicación en la cual se detecte una disminución en la performance se considerará como el tiempo máximo de aplicación o pot life.

#### **7.3.9 Resistencia al Sagging (ASTM D-4400)**

Esta propiedad permite determinar cuál es el espesor húmedo máximo de aplicación sobre superficie vertical sin que se produzca descuelgue o formación de cortinas. Esta propiedad es muy importante en los productos de altos sólidos pues por lo general se esperan obtener altos espesores en la aplicación a una sola mano sin tener problemas de chorreamiento de pintura. Esta propiedad se puede medir mediante el uso de unos aplicadores acanalados según norma.

### **PROPIEDADES DE PELICULA**

#### **7.3.10 Tiempo de Secado (ASTM D-1640)**

Se refiere al tiempo que demora una pintura líquida aplicada en transformarse a una película sólida. Existen diferentes etapas de secado, comúnmente se usa el secado t cto, el secado duro y el secado para repintado, que es el tiempo requerido para la aplicación de otra capa de pintura sin causar levantamientos o provocar una mala adherencia o producir cualquier irregularidad en la película.

En el caso de las pinturas epóxicas es muy importante el tiempo de repintado máximo, pues, excediéndose de los límites puede ser difícil su repintado por la extremada dureza de película, siendo necesario un previo lijado.

El período de secado es preferible por razones económicas que sea tan corto como sea posible; pero suficiente para permitir que la pintura fluya y se iguale. Su medición es subjetiva y está normado según ASTM.

#### **7.3.11 Brillo (ASTM D-523)**

Es la propiedad que tiene toda pintura de reflejar la luz. Por la naturaleza del producto existirán aquellos de alto brillo como el

poliuretano, de brillo moderado como algunos epóxicos y aquellos que no tienen brillo como algunas bases anticorrosivas y pinturas látex. Existen en la actualidad instrumentos digitales modernos que miden esta propiedad en unidades de brillo a diferentes ángulos de incidencia de luz conocido como Glossmeter.

### 7.3.12 Color

(Datacolor)

Sabemos que el componente que imparte color a la pintura es el pigmento, pero el color en sí consiste en la percepción de una clase de luz, por el ojo humano, la cual es interpretada por el cerebro.

En el rubro de pinturas industriales existe un número reducido de colores debido a que no todos los pigmentos pueden soportar las condiciones agresivas de los ambientes industriales y cambian de tono malogrando el aspecto estético de la pintura; por lo general se recurre en estos casos a pigmentos específicos de alto costo.

Hasta hace muy poco la aceptación o rechazo del color de un producto en la etapa de Control se realizaba "al ojo", es decir muy subjetivamente. Actualmente, muchas empresas de pintura pueden contar con un aparato denominado DATACOLOR. Este equipo consta de un espectrofotómetro y una computadora la cual contiene un software completo de Control de Calidad y Formulación.

En lo que respecta al Control de Calidad el uso del equipo nos permite cuantificar las diferencias de coordenadas de color entre un patrón y una muestra y proceder a su aceptación o rechazo (Pasa/Falla) de acuerdo a las tolerancias ingresadas para cada producto. Se utiliza en el control de los pigmentos y en el control de matizado de Producción.

Asimismo, en lo referente a Formulación el equipo nos permite formular nuevos colores a través de una base de datos ingresada y que considera los pigmentos que maneja la

empresa. De este modo, el espectrofotómetro lee las coordenadas de la muestra de color, y el software del equipo ofrecerá alternativas de combinación de pigmentos incluido el costo, el cual servirá como una herramienta de selección.

CPPQ actualmente cuenta con dicho equipo, el ingreso de la base de datos se encuentra en pleno desarrollo y trabaja a tiempo completo en el Control de Calidad de pigmentos y del producto terminado.

#### **7.3.13 Poder Cubriente (Datacolor)**

Es la capacidad de la pintura para cubrir u ocultar el color de una determinada superficie sobre la que se aplica. Teniendo en cuenta que el pigmento es el componente que proporciona el poder cubriente a una pintura, podría pensarse que por el solo hecho de aumentar la cantidad del mismo en la composición de la pintura, se podría obtener el cubriente que se deseara, sin embargo, existen limitaciones a la concentración máxima de pigmento que pueda usarse en cada pintura porque afecta otras propiedades como viscosidad, propiedades de aplicación, brillo, etc.-

Su medición se realiza en forma comparativa patrón y muestra extendiéndolos, sobre una cartulina blanca no absorbente con franja negra, a un espesor de 4 mils húmedo. Una vez que están secas se procede a comparar visualmente otorgándosele a la muestra un determinado porcentaje de ocultamiento respecto al patrón; la otra forma de medir es haciendo uso del DATACOLOR, el cual mide la reflectancia en ambas zonas, expresando los resultados como relación de contraste, dado por la relación de los valores obtenidos de reflectancia de la zona negra sobre la zona blanca.

### **PROPIEDADES FISICAS DE PELICULA**

#### **7.3.14 Flexibilidad (ASTM D-1737)**

Esta propiedad mide el grado de elongación de la película aplicada sobre un metal debidamente normado, para ello se le

somete a un doblado a través de un mandril cónico o recto. Se somete a evaluación observando si dicha acción ha provocado el desprendimiento de película, pérdida de adhesión o resquebrajamiento.

Se reporta en porcentaje de elongación, 100% si es que la película está intacta. Esta normado según ASTM.

#### **7.3.15 Dureza (Persoz ASTM D-4366) (Pencil ASTM D-3363)**

Esta propiedad se refiere a la resistencia que presenta una película seca de pintura a la deformación o rayado. Para el primer caso, se utiliza específicamente un equipo denominado Persoz, que registra el tiempo en segundos en que la amplitud de un péndulo decrece desde 12 a 4°, el principio es que la amplitud de oscilación del péndulo al tocar la superficie del recubrimiento decrece más rápidamente cuanto más blando es la superficie. Este método no es aplicable a películas duras.

Otro método empleado para medir dureza es mediante la utilización de lápices de carbón de diferentes durezas (6B-5B.....HB-F-H-2H....6H), con las cuales se traza una línea sobre el recubrimiento, mediante técnica normada, y se observa con cuál de ellas ya no se aprecia hendidura o corte de la película. Es un método subjetivo y puede variar de operador a operador y de laboratorio a laboratorio, sin embargo, numerosas empresas miden esta propiedad con este método por ser fácil y práctico.

#### **7.3.16 Adhesión (Elcometer ASTM D-4541) (Corte ASTM D-3369)**

Esta propiedad clave para los recubrimientos resistente a la corrosión consiste en fuerzas de atracción físicas y químicas que interactúan en la interfase del recubrimiento y el sustrato metálico manteniéndolos unidos.

Existen dos métodos frecuentemente utilizados en la industria mediante los cuales se determina el grado de adhesión: el primero es la adhesión por corte, que consiste en realizar cortes en la película curada a manera de enrejado e intentar luego, con una cinta adhesiva, desprender las cuadrículas obtenidas por el

corte, del substrato metálico. En forma visual se compara el resultado de la superficie una vez retirada la cinta con una escala gráfica normada según ASTM. Este tipo de medida de adhesión es aplicable mayormente en capas simples de pintura o en sistemas de bajo espesor (5 mils o 125 micrones).

En el caso de pinturas industriales y de altos sólidos por lo general se procede a un segundo método denominado Adhesión Elcometer, el cual consiste en aplicar una fuerza de tensión normal a la superficie pintada hasta desprender de ella un dispositivo de aluminio ("dolly") que está firmemente adherido a la superficie con adhesivo epóxico. Se reporta la fuerza ó presión aplicada hasta la separación del dolly en MPa ó Psi indicando además el tipo de ruptura, si se trata de una falla por adhesión, cohesión o del pegamento. Está normado según ASTM.

#### **7.3.17 Resistencia al Impacto (ASTM D-2794)**

Esta propiedad consiste en determinar la distancia por caída de libre de una barra de peso especificado que puede permitir un recubrimiento sin que la película se quiebre.

El impacto origina una deformación de la película. Existen dos tipos de prueba: "directa" cuando se procede a impactar en forma directa a la superficie pintada, y "reversa" cuando se impacta la cara reversa no pintada del metal.

El método está normado según ASTM 02794 y se reporta en in/lb ó equivalente.

### **PROPIEDADES DE RESISTENCIA**

#### **7.3.18 Niebla Salina (ASTM B-117)**

Constituye uno de los métodos ampliamente usado para comparar la resistencia de los recubrimientos.

Este método consiste en simular las condiciones agresivas de un ambiente marino mediante la formación de una fina niebla de solución salina la cual precipitará sobre el recubrimiento constantemente durante un tiempo determinado bajo

condiciones de humedad y temperatura fijas. Este equipo se usa como prueba para comparar la adhesión de los recubrimientos, compara la resistencia a la transferencia de iones (sodio y cloro, por ejemplo) a través del recubrimiento. Cuando al panel se le realiza un corte o hendidura puede determinarse la resistencia a la corrosión.

El método está normado por la ASTM y constituye la herramienta más usada en el desarrollo de pinturas industriales. Cabe mencionar que este equipo debe ser usado solamente para comparación entre recubrimientos y no usado como una herramienta para establecer la vida de una pintura bajo condiciones normales de operación.

#### 7.3.19 Inmersión (ASTM D-870)

Este tipo de prueba consiste en someter bajo condiciones de inmersión, paneles de prueba, en diferentes reactivos desde simplemente agua hasta solventes, ácidos, álcalis, sales, aceites vegetales, etc.

Normalmente, se introduce hasta la mitad la superficie pintada con el propósito de comparar la zona inmersa y la no-inmersa. Se reporta las diferencias desde una condición inicial y luego después de la exposición; asimismo, la disminución o aumento de peso en algunos casos; también se debe reportar si hay ampollamiento, decoloración, pérdida de brillo, disolución, etc.

Esta propiedad puede fácilmente duplicarse o reproducirse en el Laboratorio, dando un índice de la resistencia de la pintura, haciendo fácil su selección a diferencia de aquellas que estarán expuestas a la intemperie.

#### 7.3.20 Intemperismo Acelerado (ASTM G-53)

Consiste en una pieza mecánica del equipo de prueba que simula condiciones climatológicas sobre una base acelerada. El recubrimiento es sujeto a ciclos de niebla de agua tibia, luego es seguido por un período de secado, radiación UV. Estos ciclos

son controlados. Los paneles rotan para obtener la exposición deseada, la resistencia es medida en horas.

Mientras que constituye un buen método de comparación, sin embargo, al igual que el método de niebla salina, no debe ser usado para medir la vida del recubrimiento bajo condiciones normales de operación.

Cabe mencionar que generalmente las propiedades de resistencia son evaluadas en sistema, esto es, como va a ser utilizado finalmente.

Además, para cada tipo de pintura se estipula las propiedades que deben evaluarse y cumplir satisfactoriamente, no se pretenderá que un recubrimiento cumpla con todas las propiedades satisfactoriamente.

#### **7.3.15 PUEBA DE CAMPO**

Una vez concluidas las evaluaciones del producto y de haber resultado satisfactoria, se procede a realizar su evaluación en el campo bajo las condiciones reales donde será utilizada. Esto nos ofrece pautas adicionales para continuar mejorando las propiedades de la pintura. Muchas veces por recomendación de los mismos clientes, se realizan aplicaciones en estructuras cercanas a la zona donde estaría expuesto el sistema recomendado, sin embargo, para una correcta evaluación se tendría que esperar, en algunos casos, muchos años de evaluación hasta que aparezcan indicios de corrosión o falla de alguna propiedad; es por ello que se complementa con las pruebas aceleradas y, el conocimiento de la performance de sistemas anteriormente aplicados en situaciones parecidas.

### **7.4 Evaluación Económica**

El Laboratorio de Investigación y Desarrollo cuenta con terminales de computadora donde se ingresan las fórmulas de los nuevos productos

Y las modificaciones de los productos ya existentes, contamos con un sistema que nos permite obtener el costo de materia prima de la fórmula en la unidad establecida (g ó kg). Esta herramienta nos permite conocer si los ensayos que realizamos están dentro de las tolerancias de costo prefijadas, Adicionalmente, existe un Departamento de Precios el cual tiene como función fijar los precios de los productos; una vez seleccionada la fórmula del nuevo producto se procederá a enviarla a este Departamento y determinar los posibles precios de venta indicando los márgenes de utilidad.

Existe una constante comunicación con ellos pues, además, nos informan, cuándo un producto escapa del margen de utilidad, generándose ensayos de Laboratorio a fin de mejorar los costos de materia prima y/o proceso.

## 7.5 Aportes

La labor desempeñada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo permite realizar numerosos aportes que son de interés para la Empresa. La experimentación con materias primas de diferentes características nos permite conocerlas y tener la capacidad de combinarlas en tales proporciones que sin alterar las características de los productos finales se obtengan formulaciones más económicas o de mejor calidad. Los aportes a este respecto son varios y no se encasillan sólo en las formulaciones sino también en los procesos de fabricación.

De esta manera se puede señalar el siguiente ejemplo:

El proceso de fabricación estándar de una pintura bituminosa de ~~ab~~s sólidos se realizaba; primero, por dispersión de los componentes en un Dispersador de Alta Velocidad; luego, debido a la consistencia demasiado pastosa del producto lo cual dificultaba la dispersión, originaba que el acabado presentara pequeños grumos, razón por la cual se le daba un pase por el molino tricilíndrico una vez completado el producto, para que finalmente se envasara a la salida del molino.

Los problemas observados fueron: tiempo excesivamente largo para el proceso de fabricación, contaminación del ambiente de trabajo y del operario encargado del envasado, asimismo presentaba una variedad de viscosidad conforme se envasaba debido a la evaporación del solvente a su paso por el molino tricilíndrico.

Después de realizar varios ensayos se determinó que el problema fue originado por una mala incorporación del agente reológico.

Se modificó la preparación del gel del agente reológico, cambiando la concentración y el tipo de activador polar. Esto trajo como consecuencia que el producto presente una mejor consistencia, más fluida, sin sacrificar la resistencia al chorreamiento, además presentó buen brillo y acabado pues se mejoró notablemente la dispersión realizándose todo el proceso únicamente en el Dispersador de Alta Velocidad. Este cambio redujo el tiempo de fabricación estándar de 8 horas a la mitad.

## **7.6 Conocimientos Empleados**

La actividad profesional realizada en este tipo de industria requiere el empleo de muchas de las materias estudiadas en la Universidad. En un primer momento, cuando es necesario conocer las materias primas de una pintura, se recurre a la aplicación de conocimientos en Química Orgánica, Química Inorgánica, con ellos se puede entender la estructura química de los pigmentos, de las resinas, solventes, etc. y las posibles reacciones entre ellas; asimismo para entender y comprobar las propiedades de una pintura se recurre a la Fisico-Química y al Análisis Cuantitativo.

Cuando se incursiona en el área de Desarrollo hay una estrecha relación con Planta (Producción) y se hace necesario aplicar los conocimientos en Operaciones Unitarias donde se utilizan procesos como dispersión, destilación, etc. Además, en la formulación de productos, es imprescindible los conceptos de Corrosión, Selección de Materiales, etc. entre otros conocimientos que son adquiridos ya en la

industria. Cabe mencionar que en esta área se adquieren los mayores conocimientos en cuanto al rubro de pinturas, los proveedores de materias primas y las numerosas revistas especializadas nos brindan los últimos estudios realizados con ciertos productos comerciales y su efecto en las películas de pintura.

Finalmente, nuestro paso por las aulas universitarias nos proporciona el criterio profesional necesario para el desempeño de las funciones que exige la empresa.

## **CAPITULO VIII**

### **SELECCIÓN DE SISTEMAS DE PINTADO**

#### **8.1 Introducción**

La selección apropiada de un recubrimiento para una estructura, instalación marina o equipo de planta es una importante y difícil decisión. Es importante porque el recubrimiento debe satisfacer las condiciones específicas bajo la cual será utilizada, y difícil porque involucra muchas variables desde el sustrato hasta la preparación de superficie, desde una atmósfera rural hasta una atmósfera industrial compleja, desde la inmersión hasta la exposición atmosférica, desde una pintura para pared hasta un recubrimiento inorgánico.

Existen miles de recubrimientos diferentes, de los cuales sólo uno debe ser seleccionado para alcanzar las condiciones específicas donde será utilizado. Actualmente, el número de variables y condiciones que afectan la selección de recubrimientos es la razón por la cual existen muchas pinturas.

Hay dos cosas que recordar en la selección de un recubrimiento:

- 1.- No existe un recubrimiento universal que pueda ser usado para todas las condiciones.
- 2.- Toda selección de recubrimiento representa un compromiso para satisfacer todas las variables involucradas.

#### **8.2 Factores que influyen en la selección del Sistema**

Existen muchos factores a considerar en la selección de un recubrimiento:

##### **8.2.1 Condiciones de Operación**

El paso más importante es evaluar las condiciones bajo las cuales la pintura debe operar. Esto se debe realizar de tal manera que se tomen en consideración todas las condiciones existentes:

### 8.2.1.1 Diseño de las Estructuras y Localización

Muchas veces, los recubrimientos orgánicos aplicados a estructuras metálicas expuestas al medio ambiente fallan prematuramente debido al diseño particular de la estructura ya sea por falta de acceso a un mantenimiento periódico o por la presencia de áreas con mayor predisposición al ataque corrosivo (zonas de retención o acumulaciones de lluvia, humedad, partículas de polvo, resquicios, cavidades, protuberancias, etc.). De este modo en la selección del sistema debe tomarse en cuenta la configuración y el diseño de las estructuras, recomendando pinturas de alta protección en las zonas más propensas al ataque corrosivo.

Por otro lado, se deberá tomar en cuenta el lugar donde se realizará el pintado; por ejemplo, si se encuentra en el interior de una planta industrial que está operando, aquí la preparación de superficie mediante arenado sería imposible. Asimismo, si el trabajo se realiza en lugares cerrados como tanques de almacenamiento, tuberías, no se especificará el uso de pinturas cuyos solventes o vapores sean dañinos al ser humano, a menos que se tomen las medidas de seguridad respectivas, como respiradores, ventiladores, extractoras, etc.

### 8.2.1.2 Naturaleza del Medio Ambiente

Se refiere básicamente a las condiciones climatológicas, como temperatura, humedad relativa, tiempo de lluvia, vientos, tiempo de sol, etc. que durante el proceso de pintado tienen considerables efectos sobre la protección y tiempo de vida de los recubrimientos aplicados. De ahí que, se recomienda no aplicar cuando puede presentarse condensación de humedad sobre el metal, bajas temperaturas, alta humedad que es perjudicial para el buen comportamiento posterior de la pintura.

Los diferentes tipos de pinturas tienen rangos de temperatura y humedad para aplicación, especificadas por los fabricantes.

Una vez aplicado un recubrimiento bajo las condiciones ambientales óptimas, la vida del sistema estará ahora condicionada por la agresividad específica del lugar de exposición (severidad del medio ambiente).

La agresividad ambiental específica del lugar de exposición influye decisivamente en la vida del Sistema de Pintado, debemos conocer la resistencia de los diferentes tipos de recubrimientos a la acción atmosférica del medio, a los contaminantes presentes, tales como: sales marinas (cloruro de sodio), anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ); otros específicos como: ácido clorhídrico, etc., generados en las propias instalaciones industriales y en general conocer la resistencia físico-química a la acción de productos químicos en el caso que las pinturas actúen en contacto directo o por inmersión. El comportamiento de las pinturas dependerá de los contaminantes y/o oxidantes, incluyendo otros factores como preparación de superficie y aplicación.

Por ejemplo, mientras que en una determinada atmósfera es posible efectuar el repintado de mantenimiento al cabo de ocho años, en otra atmósfera de mucha agresividad, dicho tratamiento deberá aplicarse, al cabo tan sólo de tres años.

Es muy importante tener clasificada, por su corrosividad, las diferentes atmósferas debido a que de este modo se facilitaría la selección de recubrimientos y de materiales metálicos para una protección eficaz contra la corrosión. La agresividad o severidad del ambiente puede clasificarse de acuerdo a la velocidad de corrosión del acero, de la siguiente manera:

*Ambiente de Protección Normal:* aquel ambiente industrial normal no agresivo y expuesto a la intemperie con vapores o humos suaves y ocasionales.

*Ambiente Moderado:* aquel ambiente corrosivo por salpicaduras, vapores, etc. sin contacto directo continuo y permanente. No se considera condiciones de inmersión

*Ambiente Severo:* aquel ambiente donde hay exposición continua a emanaciones o vapores, salpicaduras o derrames frecuentes de materiales químicos. Contacto con materiales corrosivos e inmersión en agua.

#### 8.2.1.3 Substrato

Este factor se refiere al tipo de superficie (acero, fierro galvanizado, aluminio, concreto, etc.) a recubrir, así como al grado de deterioro (oxidación) en el cual se encuentra, de esta forma puede definirse el procedimiento de limpieza de superficie y el Sistema de Pintado a aplicar.

Así, si una superficie se encuentra con presencia del llamado óxido blanco, bastará con efectuar una limpieza con solvente o quizás con algún producto pasivante basado en ácido fosfórico y tensoactivos que permita eliminar la grasa, polvo, sales, óxido, etc. de ninguna manera se procederá a realizar un arenado, porque destruiría la capa de galvanizado que protege al acero: Se recomendará, además, la aplicación de una capa de Wash Primer para mejorar la adherencia o anclaje de las capas posteriores.

En cuanto al grado de oxidación, existe un método basado en los "Visual Pictures" según norma sueca, donde se pueden catalogar los diferentes estados de deterioro de una estructura metálica.

De este modo si una superficie se encuentra en el Grado C de oxidación, no es posible realizar una limpieza hasta arenado comercial, lo cual imposibilita la aplicación de

recubrimientos de alta resistencia. En este caso, se recomendará uno del tipo autoimprimante (altos sólidos) de mejor capacidad de humectación y que sí puede aplicarse sobre una superficie preparada con sólo limpieza mecánica (mediante el uso de escobillas, lijas, esmeriles, rasquetas, etc.)

### **8.2.2 Sistema de Pintado Anterior**

Cuando se realice un repintado de mantenimiento, es importante evaluar la condición en que se encuentra el Sistema de Pintado existente, esto nos permitirá definir el tipo de pintura a utilizar, especificar el tipo de preparación de superficie, determinar el espesor de película, entre otros.

Dicha evaluación debe considerar los siguientes factores:

#### **8.2.2.1 Condición del Substrato y Pintura**

Esto nos permite conocer en qué estado de conservación se encuentran el substrato metálico y el sistema de pintura aplicado, para ello se recurre a inspecciones de tipo visual y pruebas físicas.

La determinación del tipo de substrato es simple, complicándose sólo cuando presenta contaminación por productos de corrosión, donde se recurrirá a una limpieza mecánica para removerlos. Así, se puede determinar si se trata de un material ferroso o no ferroso, si es fierro o acero galvanizado, etc.

El grado de oxidación se evaluará mediante norma ASTM, de esta manera conociendo el estado del metal se podrá indicar el tipo de limpieza requerido y especificar el futuro sistema de pintado.

Existe una variedad de métodos para evaluar las fallas de recubrimientos, estos métodos nos darán una idea del grado de deterioro o degradación del recubrimiento protector.

#### 8.2.2.2 Tipo de Pintura

Es necesario conocer el tipo de pintura anterior antes de efectuar un repintado. Esto es importante si se desea continuar con el mismo sistema; en el caso de querer cambiar de sistema es conveniente fijarse en la compatibilidad. De este modo no se puede aplicar una pintura epóxica o poliuretano sobre una base alquídica, el problema es que los solventes que contienen estos primeros productos son tan fuertes que removerían la película alquídica, producto que no resiste a los solventes, causando arrugas en la película, levantamientos, sangrado, ampollamientos, etc.

Cuando no se conoce la pintura anterior es conveniente realizar una prueba de compatibilidad utilizando solventes del nuevo recubrimiento a aplicarse.

Es por ello que las industrias deben llevar un control de mantenimiento, donde se indique el tipo de sistema aplicado a sus estructuras, la fecha de aplicación, espesores secos obtenidos, entre otros, esto es de gran ayuda en la selección del sistema a aplicar en el proceso de mantenimiento de Planta.

#### 8.2.2.3 Espesor de Película

De igual forma el espesor de película obtenido en la evaluación del Sistema de Pintado anterior ayudará a determinar el número de capas y espesor del nuevo sistema.

Existen espesores mínimos recomendados para cada tipo genérico de pintura con los cuales se alcanza un determinado grado de protección en un ambiente específico.

#### 8.2.2.4 Tiempo de Servicio

Un dato importante también lo constituye, el tiempo de exposición del sistema anterior desde su aplicación hasta

la fecha del repintado de mantenimiento. Este dato y los anteriores factores nos indicarán si el sistema usado ha sido el más conveniente.

### 8.2.3 Preparación de Superficie

La preparación de superficie es uno de los factores más importantes en toda especificación de Sistema de Pintado. Se ha demostrado experimentalmente que las fallas de las pinturas se deben en gran parte a la deficiente preparación de las superficies.

Este procedimiento tiene doble finalidad, el primer propósito es eliminar de la superficie a pintar todo material extraño o contaminante (polvo, grasa, escamas de laminación, sales, óxidos, pintura envejecida, etc.) de tal manera que exista la máxima adhesión entre el recubrimiento y el sustrato, el segundo propósito es incrementar el área superficial del sustrato por el incremento de la rugosidad o perfil de anclaje.

El tipo de preparación de superficie está determinado por el tipo de recubrimiento seleccionado, también dependerá del estado en que se encuentre la superficie metálica y la agresividad del medio donde estará expuesto.

La mayor efectividad de los sistemas de pintura es alcanzada cuanto mejor es la preparación de superficie. De esta manera, una estructura que va a estar expuesta a ambientes agresivos (estructuras para inmersión, enterradas o ubicadas en zona costera, etc.) requerirá un sistema de alta performance y deberá tener la más perfecta preparación de superficie que elimine 100% de cascarilla de laminación (mili scale), óxidos, y otras impurezas; aún frente a medios menos agresivos una perfecta preparación de superficie puede ser lo más económico a largo plazo.

La importancia de la preparación de superficie se explica porque ésta tiene un efecto directo en la adhesión del recubrimiento, y la



**Figura N° 13**  
**Preparación de Superficie - Limpieza Arenado a Metal Blanco SSPC-SP10**



**Figura N° 14**  
**Limpieza de vigas metálicas - SHOUGANG San Andrés de Marcona**

adhesión es a su vez un factor importante en la protección anticorrosiva.

El acero limpio es organofílico, de esta manera es fácilmente humectado por los materiales orgánicos de las pinturas. A medida que el acero comienza a oxidarse su estado cambia a organofóbico, se hace ávido de agua debido a la atracción intermolecular con el metal, de esta manera se explica lo difícil que es recubrir una superficie oxidada, a no ser que se trate de recubrimientos con buenas propiedades de humectación.

#### 8.2.3.1 Tipos

Los diferentes grados de limpieza están establecidos por Normas Internacionales, las más importantes son:

- Swedich Standard Institute - Norma Sueca
- Steel Structures Paint Council - Norma Americana (SSPC -VIS 1)

El siguiente cuadro muestra los diferentes grados de limpieza y su denominación.

**CUADRO N°S**

<b>ESPECIFICACION</b>	<b>NORMA AMERICANA</b>	<b>NORMA SUECA</b>
Limpieza con Solventes	SSPC-SP1	---
Limpieza Manual	SSPC-SP2	St.2
Limpieza Mecánica	SSPC-SP3	St.3
Arenado Simple	SSPC-SP7	Sa1
Arenado Comercial	SSPC-SP6	Sa2
Arenado Cercano al Metal Blanco	SSPC-SP10	Sa 2 1/2
Arenado al Metal Blanco	SSPC-SP5	Sa 3

**Limpieza con Solventes:** Eliminación de grasas, aceites, contaminantes o polvo de las superficies metálicas mediante el uso de solventes orgánicos volátiles o detergentes en soluciones acuosas.

**Limpieza Manual:** Eliminación de la cascarilla de laminación suelta, óxido, restos de soldadura, pintura suelta y cualquier partícula extraña utilizando escobillas, lijas, rasquetas, etc. en forma manual. En determinados casos puede estar precedida de una limpieza con solventes.

**Limpieza Mecánica:** Procedimiento muy usual en virtud de ofrecer mejores resultados que el anterior. Las herramientas usadas son esmeriles, lijadoras eléctricas, cepillos mecánicos, etc.

**Arenado Simple:** Limpieza superficial para eliminar las capas de laminación, óxidos y pintura suelta u otras partículas extrañas mediante el uso de chorro de abrasivos a presión, permitiéndose áreas sin arenar donde la pintura y la escoria estén firmemente adheridas.

**Arenado Comercial:** Limpieza hasta que por lo menos las 2/3 partes de la superficie estén libres de escamas de laminación, óxido y cualquier impureza visible. Método para ser usado en condiciones agresivas de corrosión.

**Arenado Cercano al Metal Blanco:** Limpieza hasta que por lo menos el 95% de la superficie esté libre de escamas de laminación, óxido y cualquier otro material que pueda afectar el anclaje de la pintura. Método usado en ambientes muy húmedos, marinos o corrosivos.

**Arenado al Metal Blanco:** Eliminación total de escamas de laminación, óxido y cualquier otro material por medio de arenado. La superficie debe alcanzar un color grisáceo uniforme. Método usado donde la corrosión es muy severa.

Luego de la limpieza con arena, se deberá eliminar todo residuo de polvo con escobillas o aire a presión.

#### 8.2.3.2 Grados de Oxidación

La Norma Sueca establece patrones standard de los grados iniciales de oxidación de las superficies de acero expuestas a la intemperie.

Grado A: Superficie cubierta completamente con escamas de laminación (mill scale) con poco o casi nada de óxido.

Grado B: Superficie con inicios de oxidación y donde la capa de laminación se está desprendiendo.

Grado C: Superficie donde la escama de laminación se ha desprendido y presenta oxidación uniforme.

Grado D: Superficie sin escama de laminación y donde la oxidación es abundante y con presencia de cráteres.

### 8.3 Selección del Sistema de Pintado

La selección de un Sistema de Pintado dependerá, como se ha visto, de una serie de factores que deben ser estudiados por el especialista antes de decidir el sistema específico. Observar en el cuadro N° 6 las características generales de Pinturas para Mantenimiento Industrial.

#### 8.3.1 Características de Sistemas de Pintado Epóxico

A continuación se presentan los sistemas epóxicos más comerciales y sus respectivas ventajas y limitaciones

##### Epóxico Convencional (Epoxi-Poliamida)

Mecanismo de Curado: Reacción Química

Ventajas:

- Excelente resistencia a productos ácidos y alcalinos
- Excelente resistencia a los solventes
- Excelente resistencia al agua
- Excelente durabilidad al exterior

**CUADRO N°6**  
**CARACTERISTICAS DE PINTURAS INDUSTRIALES**

<b>PROPIEDADES</b>	<b>ALQUIDICAS</b>	<b>CAUCHO CLORADO</b>	<b>EPOXICAS CONVENC•</b>	<b>POUURETANO</b>	<b>COALTAR EPOXI</b>	<b>ZINC INORGANICO</b>
Brochabilidad	Buena	Mala	Moderada	Regular	Mala	Mala
Secado	Oxidación	Evaporación	Reacción	Reacción	Reacción	Reacción
Tiempo de Secado	Mediano 6-12 horas	Corto 30-60 min.	Mediano 4-6 horas	Corto 1-3 horas	Mediano 4-6 horas	Corto 15-20 min.
Usos en:						
Maderas	Excelente	No Adecu.	Excelente	Buena	Buena	-
Fierro	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Excelente
Concreto	No Adecu.	Excelente	Excelente	Buena	Buena	-
Como Barniz	Excelente	No Adecu.	Bueno	Excelente	—	—
Ambientes:						
Interior	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Normal	Excelente	Excelente	Regular	Excelente	Regular	Excelente
Moderado	Buena	Excelente	Buena.	Excelente	Regular	Excelente
Severo	Débil	Bueno	Excelente	Excelente	Buena	Excelente
Retención de Brillo	Excelente	Bueno	Regular	Excelente	Malo	--
Amarillamiento	Alto	Alto	Alto	Bajo	—	—
Dureza	Buena	Buena	Alta	Alta	Baja	Alta
Adhesión	Buena	Buena	Alta	Excelente	Alta	Excelente
Flexibilidad	Buena	Excelente	Buena	Buena	Regular	Excelente
Resistencia:						
Abrasión	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Baja	Muy Buena
Agua	Débil	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Acidos	Pobre	Buena	Buena.	Buena	Buena	Mala
Alcalis	Pobre	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Mala
Solventes	Pobre	Pobre	Excelente	Excelente	Regular	Excelente
Calor	Buena	Moderada	Buena	Buena	Regular	Excelente
Detergentes	Pobre	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Mala

\* Se refiere al Sistema Epóxico Convencional (epoxi-poliamida)

- Película dura y flexible
- Resiste la inmersión en agua

Desventajas:

- Producto de dos componentes
- Vida útil de mezcla (pot-life) limitada
- Temperatura mínima de curado de 10° C
- Poca retención de brillo y color al exterior (chalking)

Coaltar Epoxi

Mecanismo de Curado: Reacción Química

Ventajas:

- Excelente para inmersión en agua
- Excelente resistencia a productos químicos
- Excelente resistencia a ácidos y alcalinos
- Altos espesores de película seca
- Película duradera
- Producto autoimprimante
- Muy buena adhesión

Desventajas:

- Presenta sólo colores negro y marrón
- Producto de dos componentes
- Vida útil limitada
- Temperatura mínima de curado de 10° C
- Baja retención de brillo y color

Zinc Rich Epoxi {Orgánico}

Mecanismo de Curado: Reacción Química

Ventajas:

- Provee protección catódica por ánodo de sacrificio
- Excelente durabilidad exterior
- Excelente resistencia a la abrasión
- Resistencia al calor hasta 250° C
- Costo inferior a los Zinc Rich Inorgánicos

- Ofrece excelente protección en una sola mano bajo condiciones normales de exposición

Desventajas:

- Requiere preparación de superficie a metal cercano al blanco ó comercial
- Limitada resistencia a productos ácidos y alcalinos
- Aplicación sólo a pistola

#### Zinc Rich Etil Silicato {Inorgánico)\*

Mecanismo de Curado: Evaporación de solventes y polimerización por absorción de humedad

Ventajas:

- Provee protección catódica
- Excelente durabilidad al exterior
- Resistencia al calor hasta 400° C
- Excelente resistencia a solventes e hidrocarburos

Desventajas:

- Requiere limpieza por arenado a metal blanco
- Limitada resistencia a productos ácidos y alcalinos
- Aplicable sólo a pistola
- Elevado Costo

#### Epóxico de Altos Sólidos

Mecanismo de Curado: Reacción Química

Ventajas:

- Elevados espesores de película seca en una sola mano
- Autoimprimante
- Tolerancia a la preparación de superficie marginal
- Cumple con las regulaciones de VOC
- Gran resistencia química, a los ácidos y alcalis
- Resistencia a los solventes
- Resistencia a la abrasión
- Película bastante dura

- Fácil aplicación del producto, excelente brochabilidad y nivelación.

**Desventajas:**

- Pot Life muy breve de 2 a 4 horas
- Poca retención de brillo y color
- Algunos productos no poseen buena flexibilidad

\*Se considera para efectos de comparación.

### 8.3.2 Casos Prácticos

A continuación se presentan algunos ejemplos de recomendación técnica realizados por la empresa y donde se aplicaron los criterios de selección antes mencionados.

**OBRA: PINTADO DE FAJAS TRANSPORTADORAS (1996)**

*Ubicación:* Pto. San Andrés de Marcena

*Empresa:* Shougang Perú

*Substrato:* Acero comercial

*Estructura:* Nueva

*Pintado:* En el mismo lugar del montaje

*Ambiente:* Moderado (ambiente marino, velocidad elevada de los vientos, contaminación por polvo de fierro)

*Sistema Recomendado:* (Ver figuras 15 y 16)

SISTEMA	DESCRIPCION	CAPA	EPS (milϕ)
BASE	Pintura epóxica a base de polvo de zinc-Zinc Rich Epoxi	01	2.0
ACABADO	Pintura epoxi-poliamida	02	2.0
	<b>TOTAL</b>	<b>03</b>	<b>6.0</b>



Figura N° 15  
Pintado Obra: Fajas Transportadoras - SHOUGANG PERU  
Pto. San Andrés de Marcena



Figura N° 16  
Sistema de Pintado: Zinc Rich - Epoxi / Poliamida

*Preparación de Superficie:* Arenado a Metal Blanco (SSPC-SP5)

*Método de Aplicación:* Pistola convencional

**OBRA : PINTADO EXTERIOR DE CABINAS DE CONTROL EN CENTRAL TERMICA (1996)**

*Ubicación:* Barrios Altos - Lima

*Empresa:* Central Térmica Santa Rosa - EDEGEL PERU

*Substrato:* Material ferroso

*Estructura:* Presenta recubrimiento epóxico intacto con evidente decoloración (chalking)

*Ambiente :* Normal (exposición a la intemperie, eventuales derrames de combustible en algunos puntos)

*Sistema Recomendado:*

<b>SISTEMA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CAPA</b>	<b>EPS (mils)</b>
<b>ACABADO</b>	Pintura epoxi-amina de altos sólidos	01	5
	<b>TOTAL</b>	01	5

*Preparación de Superficie:* Limpieza Manual y Mecánica (SSPC-SP2-SP3)

*Método de Aplicación:* Pistola convencional

**OBRA: PINTADO INTERIOR DE TANQUE DE AGUA CONTRA INCENDIOS (1996)**

*Ubicación:* Barrios Altos - Lima

*Empresa:* Central Térmica Santa Rosa - EDEGEL PERU

*Substrato:* Material ferroso

*Estructura:* Presenta pintura envejecida y superficie con presencia de oxidación

*Ambiente:* Severo (condiciones de inmersión en agua)



**Figura N° 17**  
**Pintado Exterior de Tanques para Combustible**  
**Sistema: Zinc - Epoxi / Poliamida**

*Sistema Recomendado:*

SISTEMA	DESCRIPCION	CAPA	EPS (mils)
BASE y ACABADO	Pintura a base de alquitrán y resina epóxica - Coaltar Epoxi	02	8
	<b>TOTAL</b>	02	16

*Preparación de Superficie:* Arenado Comercial (SSPC-SP6)

*Método de Aplicación:* Pistola convencional

#### 8.4 Factor Económico en la Elección del Sistema

El costo del recubrimiento es una consideración seria en la selección. Durante el proceso de selección, pueden presentarse dos o más sistemas de pintado de diferentes tipos de vehículos que alcancen las características exigidas de protección, sin embargo presentarán notables diferencias en los costos. Actualmente, cuando se convoca a licitación las empresas fabricantes de pinturas presentan una cotización que considera el costo por metro cuadrado, sin considerar los tiempos estimados de vida de los sistemas ofertados. Normalmente, la selección del recubrimiento debería realizarse considerando el costo por año y por m<sup>2</sup>. En el cuadro N° 7 se presenta un ejemplo de costo de mantenimiento (repintado).

#### 8.5 Supervisión

Uno de los puntos importantes del Control de Calidad es la Inspección o Supervisión del Sistema de Pintado. Esta consiste en el aseguramiento de que se cumplan todas las condiciones especificadas para la correcta aplicación de un recubrimiento. De tal manera que al lado de la buena especificación, de la calidad del



Figuras N° 18 y 19  
Supervisión Técnica de la Preparación de Superficie





Figuras N° 20 y 21  
Supervisión Técnica - Medición del Espesor de Película Seca



**CUADRO N°7**  
**COSTO (\$/AÑO/FT<sup>2</sup>) PARA RECUBRIMIENTOS DE ACERO**  
**ESTRUCTURAL**

SISTEMA	PREP.DE SUPERF.  (SSPC)	COSTO TOTAL  (\$)	AMBIENTE NORMAL		AMBIENTE MODERADO		AMBIENTE SEVERO	
			VIDA (AÑOS)	COSTO \$/AÑO	VIDA (AÑOS)	COSTO \$/AÑO	VIDA (AÑOS)	COSTO \$/AÑO
DOS CAPAS ALQUIOICA	SP-2; SP-3	0.597	2	0.299	1	0.597	1/2	1.194
TRES CAPAS ALQUIOICA	SP-2; SP-3	0.719	4	0.180	2	0.360	1	0.719
TRES CAPAS ALQUIDICA	SP-6	0.819	7	0.125	5	0.164	3	0.273
DOS CAPAS EPOXICA	SP-6	0.87	7	0.124	6	0.145	5	0.174
TRES CAPAS EPOXICA	SP-6	1.099	10	0.110	8	0.137	6	0.183
TRES CAPAS ZINC-EPOXICA	SP-10	1.295	12	0.108	10	0.130	7	0.185
TRES CAPAS ZINC-EPOXICA- POLIURETANO	SP-10	1.275	10	0.128	9	0.142	8	0.159
TRES CAPAS C.CLORADO	SP-6	0.988	12	0.082	10	0.099	7	0.141
TRES CAPAS COALT. EPOXI	SP-6	0.914	8	0.114	7	0.131	6	0.152

FUENTE: Presentado por la Conferencia Anual de la NACE, Atlanta, Ga., Marzo 1989

NOTA: Un bajo costo por año es importante, pero la efectividad del tiempo de vida, o el tiempo hasta que sea requerido un repintado, debe ser considerado en la evaluación y selección de un sistema de recubrimiento.

material y del personal calificado se obtenga la máxima eficiencia del sistema aplicado.

El supervisor de pintado verifica si las condiciones ambientales de aplicación son favorables para el inicio del mismo, una vez que se determine el inicio del pintado, se procede a verificar el estado de los materiales que se usarán en la preparación de superficie y en la aplicación, luego se verificará la calidad de la limpieza. Se procederá a realizar las mezclas, si se trata de productos de dos componentes con los tiempos de inducción y el porcentaje de dilución indicados, se dará conformidad al estado de los equipos de aplicación, luego se procederá a aplicar a los espesores húmedos establecidos. Una vez seca la película de pintura, se realiza la medición de los espesores secos y se revisa si la película seca está conforme.

Dependiendo del tiempo de curado de la película, se procede a verificar, si el sistema lo requiere, la adhesión del sistema y la presencia de pinholing.

Por otro lado, el inspector técnico es la persona que en la mayoría de los casos atiende los reclamos de los clientes por problemas suscitados- con nuestros productos. Es la persona que se encarga de determinar las posibles causas de los reclamos, haciendo uso para ello de sus equipos y de toda su experiencia obtenida en el campo.

### 8.5.1 Equipos

Existen varios instrumentos y equipos comúnmente usados en el campo para realizar la labor de Supervisión Técnica. Entre ~~ellos~~ los figuran:

**CUCHILLAS.-** Muy necesarias en la determinación del grado de adhesión del recubrimiento, utilizada de acuerdo a la norma ASTM-D- 3359.

**LENTE DE AUMENTO.-** Utilizada en la inspección de la preparación de superficie y para observar las imperfecciones de la película de acabado. Generalmente son usadas lentes de 10 a 30 aumentos.

**COMPARADORES DE SUPERFICIE.-** Consiste en un disco con cinco segmentos, las cuales representan un determinado perfil de limpieza de la superficie. Se procede a comparar la superficie una vez arenada o granallada con el disco que posee el grado de limpieza requerido. Otro elemento utilizado por los inspectores son las visuales pictóricas normadas según la SSPC las cuales presentan fotos de los diferentes grados de preparación de superficie con las cuales se compara la superficie una vez arenada.

**MICROMETRO DE PROFUNDIDAD.-** Es un equipo utilizado en la determinación del perfil de rugosidad, que consiste en una aguja que se proyecta a partir de la base del instrumento hasta la profundidad del perfil de rugosidad, dicho valor es leído por un dial en mils (milésimas de pulgada).

Existe otro instrumento que persigue el mismo objetivo, se trata de un micrómetro que mide el espesor de una cinta resinosa que reproduce la forma del perfil de rugosidad por presión firme sobre la superficie arenada. Se resta el espesor de la cinta y lo que se obtiene es el promedio de la superficie arenada. El procedimiento está normado según ASTM-D-4417.

**MEDIDOR DE ESPESOR HUMEDO.-** Es un instrumento bastante simple que consiste en una especie de galleta, ya sea de acero o aluminio, cuyos bordes presentan dos extremos fijos y entre ellos pasos con profundidades progresivas. Cada paso tiene una diferencia de 1 mil, el instrumento es presionado dentro del recubrimiento recién aplicado y el espesor de película húmeda será determinado por el (Último paso humectado con el recubrimiento).

**MEDIDOR DE ESPESOR SECO.-** Consiste en medir el espesor de película seca total de la superficie aplicada. Existen varios métodos de medición, los más usados son los instrumentos de prueba no-destructivos basados en principios magnéticos.

**DETECTOR DE PINHOLES.-** Es un equipo que detecta defectos en las superficies tales como "pinholing" y otras imperfecciones, mediante contacto eléctrico con una esponja humedecida. Existen equipos denominados de alto y bajo voltaje utilizadas dependiendo del espesor de película de la pintura evaluada. Generalmente son usados en la evaluación de tuberías, tanques de almacenamiento de soluciones corrosivas que estarán en contacto directo con el recubrimiento, entre otras sometidas a condiciones de severa corrosión.

**TERMOMETRO.-** La más usada es el termómetro de superficie, útil porque permite conocer la temperatura real de la superficie a pintar y saber si se está alcanzando la temperatura de condensación, o puede tener excesiva temperatura que pueda causar ampollamientos durante el proceso de aplicación.

**HIGROMETRO.-** Unido al termómetro nos permite conocer el porcentaje de humedad relativa, dato importante para calcular la temperatura de condensación o rocío del aire.

**MEDIDOR DE ADHESION.-** En algunas ocasiones el inspector tiene que medir la adhesión del recubrimiento para compararlo con la especificación dada por el cliente, para ello se utiliza el equipo Elcometer, el cual mide la adhesión en términos de libras por pulgada al cuadrado. Se trata de un método destructivo, pues ~~ta~~ daña la superficie evaluada, cuyo procedimiento está normado según ASTM-D-4541.

### 8.5.2 Defectos de recubrimientos apreciados en Supervisión

Durante los trabajos de Supervisión se han podido apreciar innumerables defectos en los recubrimientos aplicados, los cuales son originados por diferentes razones, entre ellas se pueden mencionar:

1. Fallas debidas a la formulación básica tales como destizamiento, cuarteamiento, decoloración, etc.

2. Fallas debidas a una inapropiada selección del recubrimiento, así por ejemplo una pintura recomendada para el exterior de un barco fallará pintada sobre un tanque que soportará vapores químicos.
3. Fallas debidas a una pobre preparación de superficie. En este caso un pobre perfil de superficie, la contaminación de la misma, la condensación, la presencia de escamas de laminación, etc. pueden influenciar en la performance del recubrimiento.
4. Fallas debidas a una mala aplicación del producto. Esto se refiere a que inadecuados espesores, la presencia de "pinholes", inapropiado secado o curado originará rápidas fallas en los recubrimientos aplicados.
5. Fallas relacionadas a la adhesión. Tales fallas incluyen los ampollamientos, pelamientos y contaminación entre capas.
6. Fallas originadas por el diseño de la estructura.
7. Fallas debidas a fuerzas externas tales como exposición química, abrasión, impacto reverso, severa exposición al ambiente, entre otros.

A continuación se mencionarán las fallas más comunes registradas en los trabajos de Supervisión Técnica, especialmente aquellas del tipo industrial.

#### DESTIZAMIENTO - "CHALKING"

Es el resultado del deterioro de una película de pintura expuesta a la intemperie. Se caracteriza por presentar partículas sueltas de pigmentos en la superficie aplicada, causando un aspecto opaco y sin brillo.

La desintegración de la superficie de pintura se debe a la acción de los rayos solares sobre la pintura atacando ya sea a la resina o al pigmento o a ambos.

El remedio a este defecto es la selección adecuada durante la formulación de resinas resistentes a la radiación y pigmentos que no desticen.

### **CUARTEAMIENTO**

Se presenta en forma de pequeñas, medianas o grandes rajaduras en la película de pintura, llegando en algunos casos hasta el sustrato. Este defecto se debe a las fuerzas de tensión originadas por la polimerización y oxidación del recubrimiento, además de una inapropiada pigmentación. Para corregir este problema se debe seleccionar resinas no reactivas resistentes a la intemperie, usar pigmentos reforzantes y pigmentos de color no reactivos.

### **FISURAS**

Son rajaduras muy pequeñas y superficiales que no llegan al sustrato. Es muy frecuente este defecto en recubrimientos inorgánicos de zinc y se debe a una alta relación de pigmento de zinc a ligante y a las condiciones de secado demasiado rápidas. Para evitar este problema la formulación debe incluir pigmentos reforzantes, aparte aplicar capas no muy cargadas y en condiciones de secado favorables.

### **DECOLORACION**

Este defecto se refiere al amarillamiento u oscurecimiento del recubrimiento. Se debe al cambio de color de la resina o el pigmento por la acción química del ambiente circundante. El remedio a este problema es la selección adecuada de resinas y pigmentos estables al color.

### **SANGRADO**

Es la parcial solubilización de los pigmentos de la película anterior. Cuando se realizan algunos repintados con materiales inadecuados algunos pigmentos parcialmente solubles se incorporan a la nueva capa de pintado. Muchas veces se ha observado este problema en el campo cuando se ha tratado de repintar productos bituminosos. Para corregir este problema se debe repintar con pinturas del mismo color sobre la base que tiene tendencia a sangrar.

## **PINHOLE**

Son pequeños huecos o depresiones visibles en el recubrimiento que pueden originar puntos de corrosión. Son originados por una inapropiada técnica de aplicación, demasiado cerca de la superficie forzando la inclusión de burbujas de aire. Otra razón puede ser la presión de aplicación demasiado alta con atomización demasiado baja. En estos casos la superficie afectada debe lijarse o removerse totalmente para volver a pintar con una adecuada técnica de pintado.

## **ESCURRIMIENTO**

El escurrimiento generalmente ocurre cuando la aplicación de la pintura está muy cargada y al aplicarse sobre una superficie vertical la pintura fluye hacia abajo a manera de cortinas. Es un defecto típico de una mala aplicación. Puede ser originado por una excesiva dilución, excesivas manos de pintura sin observar el tiempo de repintado entre capas, entre otros. Para corregir el defecto hay que lijar la superficie y repintar la zona afectada.

## **MARCAS DE LIJA**

Se observa en la superficie depresiones lineales con apreciables diferencias en el espesor de película, comenzando a oxidarse precisamente en las hendiduras. Esto se debe a un mal lijado o a recubrimientos muy tixotrópicos. Para corregir el problema se debe lijar hasta obtener una superficie lisa o emparejar con una masilla lijable o base antes de repintar.

## **PERDIDA DE ADHESION**

Las causas frecuentes de este defecto son:

- Falta de limpieza adecuada y contaminaciones en la superficie
- Materiales incompatibles que pueden perjudicar la adherencia de la pintura.
- La omisión de lijado de la pintura antigua, la cual no permite el buen anclaje de la nueva capa.
- Capas de pinturas anteriores con residuos o polvo, exceso de silicona o aditivos de cera.

Para corregir este defecto normalmente se retira las capas sueltas de pintura, se lija la zona afectada *y* posteriormente se repinta.

#### **AMPOLLAMIENTO**

Se refiere a la formación de ampollas en la película de una pintura. Es un tipo de problema relacionado con la adhesión *y* debido a que la película no es totalmente impermeable a la penetración de agua o humedad, la presencia de pigmentos solubles, la mala limpieza de la superficie, la incompatibilidad entre capas *y* el solvente retenido o no liberado adecuadamente originará este defecto. Muchas veces para corregirlo hay que limpiar o arenar completamente *y* volver a aplicar la pintura.

## **CAPITULO IX**

### **CONCLUSIONES**

El uso de pinturas industriales resulta ser muy importante en el control de la corrosión, protección y preservación de los materiales, pues constituye una técnica económica y de fácil aplicación, siempre y cuando, se tomen en consideración las condiciones a la cual estará expuesto el material, se elija un buen sistema de pintado y se aplique adecuadamente. De este modo, los sistemas epóxicos, por su costo y alta performance, se colocan en un nivel preferencial frente a otros tipos de pinturas en el mercado industrial, mantenimiento industrial y marino.

El trabajo realizado en el área de Investigación y Desarrollo para obtener un producto de estas características es muy intenso, sin embargo, es a su vez gratificante porque nos permite utilizar los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias para entender los diversos comportamientos de los componentes de una pintura, los procesos de fabricación, las reacciones con el medio al cual estará expuesto, entre otras; la experiencia nos permitirá ofrecer alternativas de formulación y de proceso más económicas de interés para la empresa y asimismo nos permitirá asesorar técnicamente a los clientes. Se trata de un trabajo integral que no sólo consiste en formular y producir, sino que involucra una serie de acciones y experiencias adicionales con el propósito de lanzar un producto de calidad.

La industria de la fabricación de pinturas ofrece un campo muy amplio para el desarrollo profesional, sobre todo aquellas que tienen muy en cuenta la Calidad e invierten en un Laboratorio de Investigación y Desarrollo.

## **CAPITULO X**

### **RESUMEN**

El presente informe enfoca de una manera detallada el trabajo realizado en una empresa fabricante de pinturas en el área de Investigación y Desarrollo; para la realización del trabajo fue necesario emplear muchos de los conocimientos adquiridos en la universidad y otros tantos aprendidos en el campo industrial.

El desarrollo de recubrimientos epóxicos es muy importante en el campo de la protección de materiales contra la corrosión. Su mecanismo de formación de película la convierte en una de las pinturas más resistentes a los agentes químicos, atmosféricos y corrosivos.

Entre los métodos de selección de recubrimientos para un uso en particular, la experiencia del fabricante en proyectos realizados es muy importante por cuanto asegura al cliente la efectividad del sistema recomendado; la selección basada en el costo no es el método más recomendado a no ser que se evalúe en costo/año de permanencia del recubrimiento antes de repintarse.

Finalmente, la Supervisión Técnica es un complemento del Control de Calidad necesaria para asegurar la buena performance del producto recomendado. Esta etapa nos permite adquirir mucha experiencia en el campo pues permite observar innumerables condiciones a la cual es sometido el recubrimiento y la respuesta del sistema ante ellas. Esta experiencia nos permite sugerir sistemas adecuados para las condiciones específicas de nuestros clientes, inclusive se puede garantizar un período de protección, basado en una buena preparación de superficie y una adecuada aplicación.

## **CAPITULO XI**

### **BIBLIOGRAFIA**

ASTM, Anual Book of ASTM Standards. Editorial American Society for Testing and Materials, Philadelphia USA., 1986, Vol 6.01

Hare Clive H., Protective Coatings- Fundamentals of Chemistry and Composition. Technology Publishing Company, Pittsburgh, Pennsylvania SSPC 94-17, pags.187-192, 340-342.

Hare Clive H., Abril 1998, Barrier Coating, Journal of Protective Coating and Lining, Volumen 15, Número 4, 17-36

Munger Charles G., Corrosion Prevention by Protective Coatings. National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas, 1984, pags. 305-310, 325-350, 347-355,

Wicks Zeno W., Corrosion Proteccion by Coatings. Federation Series Editor, Philadelphia USA,1987, pags. 14-16

**CAPITULO XII**  
**APENDICE**

121 **APENDICE A: METODOS DE ENSAYO PARA LA EVALUACION DE PROPIEDADES EN PINTURAS INDUSTRIALES**

**I Determinación del Tiempo de Secado**

1. Norma Referencial

ASTM D 1640 - "Drying, Curing, or Film Formation Organic Coating at Room Temperatura"

ITINTEC 319.012- "Determinación del Tiempo de Secado"

2. Alcances

La norma establece los diferentes métodos para determinar el tiempo de secado al aire de una pintura.

3. Campo de Aplicación

Los métodos establecidos son aplicables a aceites secantes, barnices, lacas, solución de resinas, pinturas al aceite, pinturas al agua y materiales afines.

4. Condiciones De Prueba

4.1 El espesor de la película debe ser determinado de acuerdo al tipo de recubrimiento y previo acuerdo entre el usuario y el proveedor.

Si el espesor no ha sido determinado, puede tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones indicadas en la Tabla 1.

TABLA 1

MATERIAL	ESPESOR DE PELICULAS SECAS (*)
Aceites Secantes (1)	$32 \pm 6$ (1.25 $\pm$ 0.25 mils)
Barnices	$25 \pm 2$ (1.0 $\pm$ 0.1 mils)
Lacas	$12.5 \pm 2$ (0.5 $\pm$ 0.1 mils)
Solución de Resinas	$12.5 \pm 2$ (0.5 $\pm$ 0.1 mils)

<b>MATERIAL</b>	<b>ESPESOR DE PELICULAS SECAS (*)</b>
<b>Esmaltes</b>	<b>36.5 ± 6 (1.5 ± 0.25 mils)</b>
<b>Pinturas al Aceite</b>	<b>45 ± 6 (1.75 ± 0.25 mils)</b>
<b>Pinturas rebajadas con Agua</b>	<b>25 ± 2 (1.0 ± 0.1 mils)</b>

(\*) El espesor está dado en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) = 0.001 mm

**Nota 1:** Se adiciona los secantes, mínimo 24 horas antes de efectuar la prueba.

**4.2** La prueba debe realizarse en un cuarto bien ventilado, pero libre de corrientes de aire, libre de polvo y de luz difusa (no a la luz del sol). Se debe tener en el cuarto una temperatura entre 20 y 30° C y una humedad relativa del 70 al 80%

## **5. Aparatos**

**5.1** Micrómetro o cualquier dispositivo adecuado para medir el espesor de película seca.

**5.2** Aplicador de película húmeda que permita obtener el espesor deseado.

**5.3** Placas de vidrio, o de otro material adecuado para la aplicación de las muestras.

## **6. Materiales**

**6.1** Fibra de algodón proveniente de una masa de algodón absorbente

## **7. Preparación de las Muestras**

**7.1** Deben prepararse por duplicado y con suficiente anticipación para poder hacer las determinaciones dentro de la jornada de trabajo.

**7.2** Se aplica el material a analizar en placas de vidrio limpio, u otro substrato de dimensiones apropiadas. Las placas cubiertas se colocan horizontalmente y se protegen de la acumulación excesiva de polvo, durante su secado.

**7.3** Las películas de prueba se extienden con un aplicador. El cual debe proporcionar el adecuado espesor húmedo para obtener una película seca dentro de los límites indicados en la Tabla 1. Si se ha

acordado aplicar la película de alguna otra manera, se pueden usar otros métodos de aplicación, tales como: inmersión, atomizado, chorreo o pintado, siempre que den el espesor de película deseado.

7.4 Se mide el espesor de película seca, con un medidor adecuado.

## 8. Procedimiento

Se analizan las películas en puntos que estén a más de 1 cm. del borde. Los análisis se realizan a intervalos regulares de secado: 5 minutos, 15 minutos o una hora, dependiendo de la velocidad de secado. Los diferentes tiempos de secado se determinan así:

### 8.1 Seco al Tacto.-

Se toca suavemente la película con la punta del dedo e inmediatamente se coloca sobre una superficie de vidrio limpio observándose si hay transferencia del material al vidrio. Para efectos de esta prueba, la presión del dedo contra la película, no debe ser mayor que la requerida para dejar una huella de 0.3 a 0.5 cm. de diámetro. La película se considera seca al tacto cuando muestra un estado pegajoso, pero no se adhiere material al dedo.

### 8.2 Libre de Polvo.-

Método de la fibra de Algodón. Se separan con una pinza fibras individuales de algodón. Se dejan caer varias de ellas en puntos marcados de la película, a intervalos periódicos de secamiento, desde una altura de 2.5 cm. Se alcanza el tiempo libre de polvo, cuando las fibras de algodón se retiran soplando ligeramente sobre la superficie de la película.

### 8.3 Seco.-

8.3.1 Pinturas y Esmaltes. Se ejerce moderada presión con el dedo sobre la película, se considera que está seca, cuando la condición suave y pegajosa ya no existe y la película se siente firme al tacto.

8.3.2 Aceites Secantes. Se frota suavemente con el dedo la superficie. Se considera seca la película, cuando no se adhiere el dedo, o no se afecta la película apreciablemente.

#### **8.4 Seco a Fondo (Seco al Manipuleo).-**

Se coloca la placa de prueba en posición horizontal y a una altura tal que cuando el pulgar del operador se coloque sobre la película, el brazo del operador quede en posición vertical. Se empuja, sobre la película con el pulgar ejerciendo la presión máxima con el dedo, mientras se gira un ángulo de 90° en el plano de la película. La película se considera seca a fondo o seca al manipuleo, cuando no ocurre ninguna distorsión de la misma.

#### **8.5 Seco Duro.-**

Con la punta del pulgar sobre la película y el dedo del medio soportando la placa, se ejerce la presión máxima del pulgar sobre la película sin girar. Se lustra suavemente el área de contacto con un paño suave. Se considera que la película está seca dura, cuando cualquier marca dejada por el pulgar, se retira completamente lustrando el área.

#### **8.6 Seco para Repintado.-**

Una película se considera "seca para repintado", cuando una segunda mano de pintura o un recubrimiento superior específico puede ser aplicado sin que se desarrollen irregularidades en la película tales como levantamientos ó pérdida de adhesión de la primera mano, y el tiempo de secado para la segunda mano no exceda al máximo especificado para la primera.

### **9. Informe del ensayo**

**9.1 Se reporta los tiempos para los diferentes estados de secado indicando las condiciones aplicadas.**

## 11. Determinación de la Flexibilidad de la Película

### 1. Norma Referencial

ASTM D 1737 - "Elongation of Attached Organic Coatings with Cylindrical Mandrel A"

ASTM D 522 - "Mandrel Bend Test of Attached Organic Coating"

ITINTEC 319.106 - "Determinación de la Flexibilidad de la Película"

### 2. Alcances

Esta norma indica el procedimiento para determinar la flexibilidad, por los métodos del mandril cilíndrico y mandril cónico, en pinturas y en productos afines aplicados sobre una lámina metálica

### 3. Principio del Método

El método se basa en doblar una lámina (a la cual se le ha aplicado una película de pintura con un espesor uniforme), sobre mandriles cónicos ó cilíndricos de diferentes diámetros y examinar el comportamiento de la película de pintura o producto afín.

### 4. Métodos de Ensayo

#### 4.1 METODO PARA MANDRIL CILINDRICO

##### 4.1.1 Aparatos y Materiales

4.1.1.1 Mandriles cilíndricos: 6 barras de acero rectos y lisos; con los siguientes diámetros: 3.18 mm, 6.35 mm, 12.7 mm, 19.1 mm, y 25 mm.

4.1.1.2 Soportes adecuados para sujetar firmemente las barras

4.1.1.3 Láminas metálicas con espesor de 0.80 mm (1/32 pulgada)

##### 4.1.2 Preparación de la Muestra

4.1.2.1 Aplicar sobre las láminas una película de pintura o producto afín, con el espesor indicado en la norma del producto y dejar curar.

4.1.2.2 La lámina pintada debe colocarse a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa, durante 24 horas como mínimo, a menos que se especifique otras condiciones previo acuerdo entre el usuario y el proveedor.

### **4.1.3 Procedimiento**

**4.1.3.1** Después de acondicionar la muestra, se coloca la lámina sobre el mandril especificado en la especificación del producto o cuando no exista, en aquel en la cual se espera que no ocurran fallas en la película, con el lado sin pintar en contacto con el mandril y se sujeta firmemente (Ver fig.1 ).

**4.1.3.2** Se dobla la lámina con una presión firme de los dedos, aproximadamente  $180^\circ$  en forma de V sobre el mandril, en aproximadamente un segundo. Luego se quita el mandril y se examina inmediatamente con lente de 7 a 10 aumentos, en la luz natural o su equivalente.

**4.1.3.3** Si no hay ninguna grieta, se repite el procedimiento usando sucesivamente mandriles con diámetros menores, hasta que aparezca alguna falla en la película o hasta que se emplee el mandril de diámetro más pequeño.

## **4.2 METODO PARA MANDRIL CONICO**

### **4.2.1 Aparatos y Materiales**

**4.2.1.1** Mandril cónico, cono de acero liso con diámetros que varían de un extremo a otro de 3 mm a 25 mm firmemente sujetos por soportes adecuados.

**4.2.1.2** Láminas de acero laminado en frío de un espesor de 0.80 mm (1/32 pulg.) con las siguientes dimensiones: 75 mm x 150 mm.

### **4.2.2 Preparación de las Muestras**

**4.2.2.1** Aplicar sobre las láminas, una película uniforme de pintura de acuerdo a las especificaciones del producto y dejar secar

**4.2.2.2** Acondicionar las muestras a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa

### **4.2.3 Procedimiento**

**4.2.3.1** Después de acondicionada la muestra, se coloca la parte central de la lámina con el lado pintado hacia arriba sobre el

mandril y se procede a doblarlo formando un arco de  $180^\circ$ , en 15 segundos aproximadamente (Ver fig.2).

4.2.3.2 Se examina la película con un lente de 7 a 10 aumentos, en luz natural o equivalente.

4.2.3.3 Los resquebrajamientos que ocurren en uno u otro extremo que no se extiendan más de 0.6 cm. no deben tomarse en cuenta.

Si el propósito es medir la elongación, medir la longitud de la fisura de la película desde el diámetro pequeño del mandril.

#### 4.2.4 Cálculos

4.2.4.1 Cuando se requiera determinar la elongación se utiliza la curva de la fig. 3. Esta curva representa la relación entre el porcentaje de elongación y el diámetro del mandril cónico para 1 mil de espesor de película.

4.2.4.2 Ajustar el valor obtenido de porcentaje de elongación de la fig. 3 corrigiendo el espesor de película con la fig. 4.

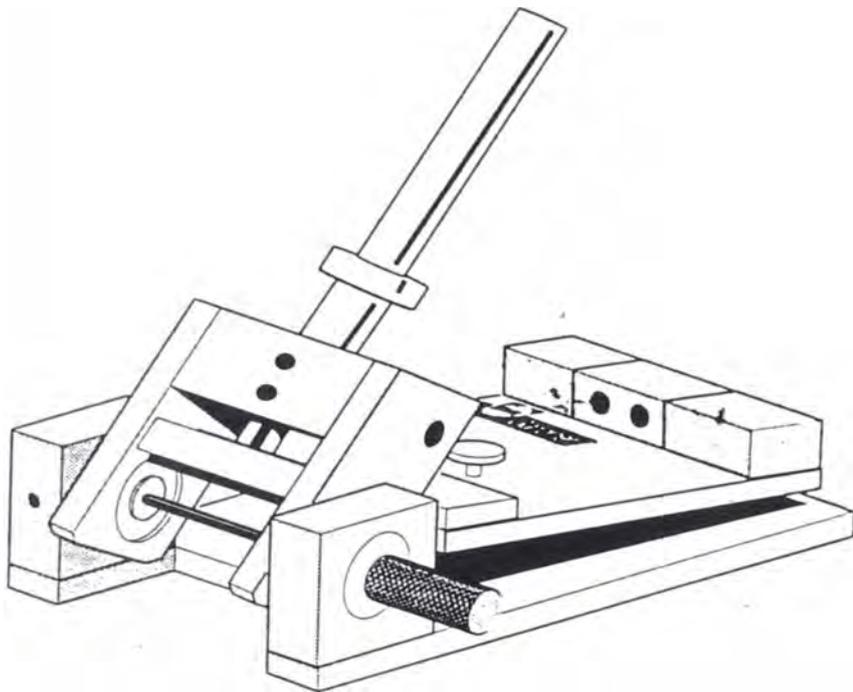
Ejemplo: Supongamos una fisura de 3 pulg. (75 mm) de longitud. De la fig. 3 se obtiene un porcentaje de elongación de 5.2%. Para corregir el espesor en la fig. 4 para una distancia de 3 pulg. la corrección por mil es 0.3%. Si el espesor de película en el ejemplo es 2 mils, el actual porcentaje de elongación es  $5.2 + (2 \times 0.3) = 5.8\%$

### 5. Informe del Ensayo

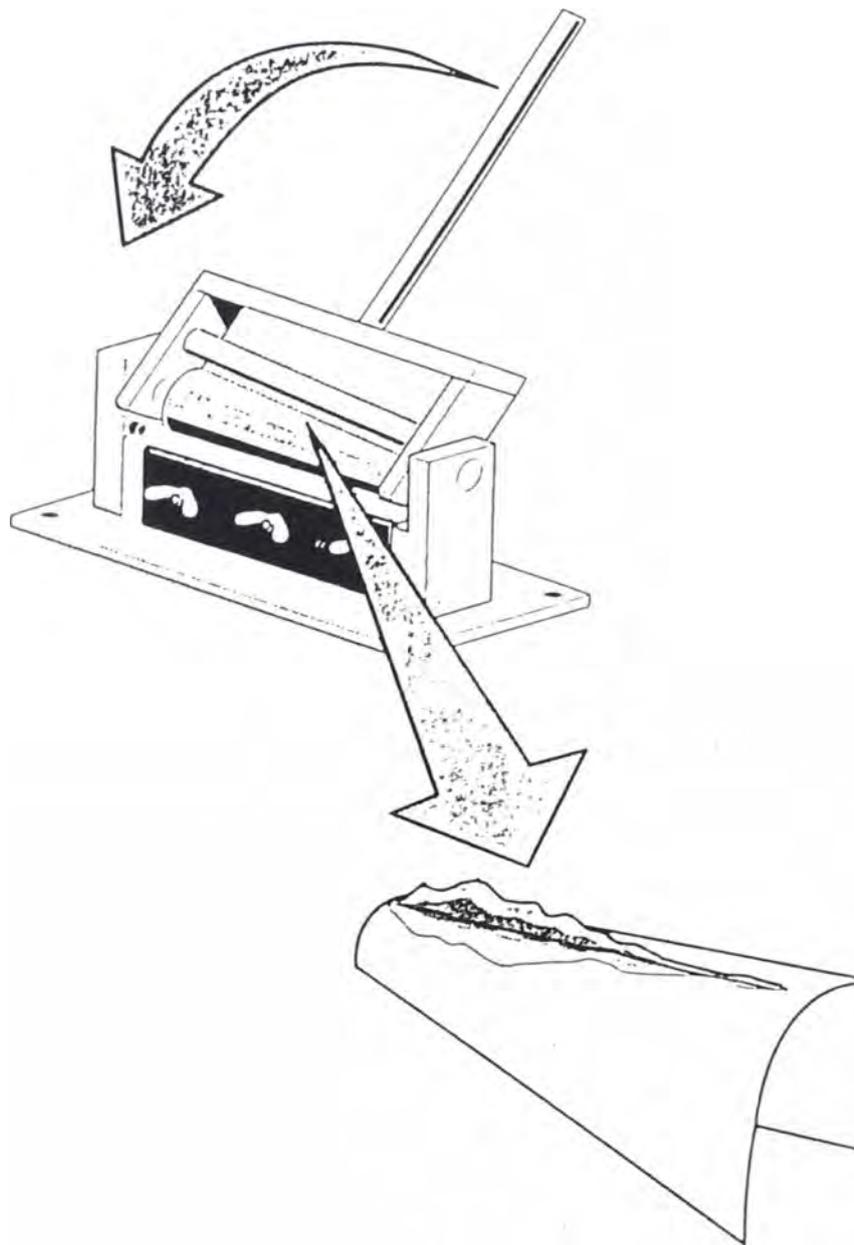
5.1 Se reporta el menor diámetro que resiste la película sin presentar ninguna falla para el método del mandril cilíndrico.

5.2 En el caso del mandril cónico, se reporta el porcentaje de elongación y el espesor de película aplicada.

5.3 Deben indicarse los procedimientos de preparación de paneles y las condiciones de prueba.



**Fig. 1 Mandril Cilíndrico**



**Fig. 2 Mandril Cónico**

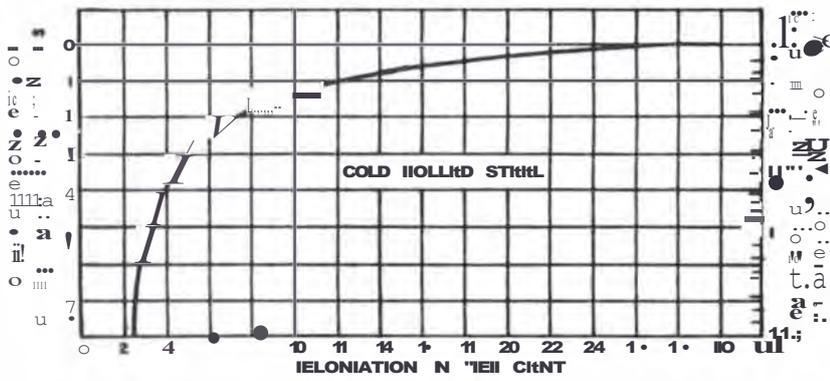


Fig. 3 Porcentaje de Elongación

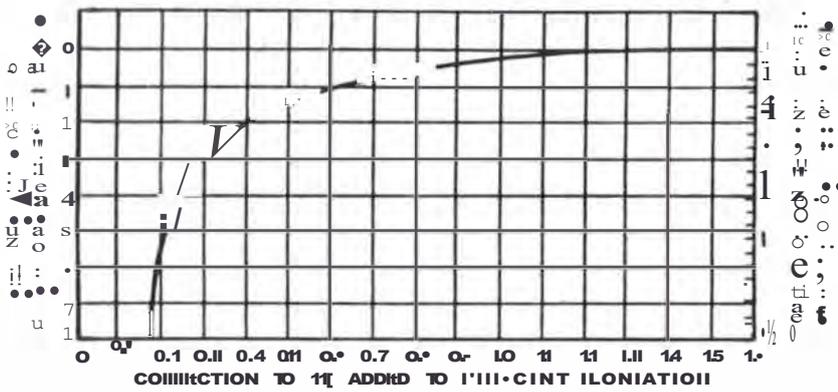


Fig. 4 Corrección del Espesor de Película

### 111. Determinación de la Dureza de Película

#### DUREZA LAPIZ

##### 1. Norma Referencial

ASTM D 3363- "Film Hardness by Pencil Test"

##### 2 Alcances

Este método presenta un procedimiento para una rápida y económica determinación de la dureza de película de un recubrimiento orgánico sobre un substrato en términos de las marcas dejadas por el grafito ó lápices de madera de dureza conocida.

##### 3 Significado

Este método es útil en el trabajo de desarrollo y control de calidad. Se reconoce que los resultados pueden variar entre diferentes operadores y laboratorios.

##### 4. Sumario del Método

Un panel pintado es ubicado sobre una superficie horizontal. El lápiz es mantenido firme contra la película a un ángulo de 45° (la punta del lápiz lejos del operador) y realizar un trazo de 6.5 mm aprox. El proceso se inicia con el lápiz más duro y se continúa bajando la escala de dureza hasta que: uno, el lápiz no corte la película ó dos, el lápiz no arañe la película.

##### 5. Aparatos

5.1 Un conjunto de grafitos para dibujo ó lápices de madera con la siguiente escala de dureza:

6B - 5B - 4B - 3B - 2B - B - HB - F - H - 2H - 3H - 4H - 5H - 6H

Más suave

Más duro

5.2 Equipo de apoyo de los lápices o grafito, si fuera necesario

5.3 Papel abrasivo N° 400

##### 6. Condiciones de Prueba

6.1 Los paneles usados, las condiciones de cura, el envejecimiento de la pintura antes de realizar la prueba debería establecerse por acuerdo entre el usuario y el proveedor.

**6.2 Se debe especificar el espesor de película**

**6.3 La prueba debe realizarse a  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa.**

**7. Procedimiento**

**7.1 En el caso de lápices de madera, retirar de la punta 5 a 6 mm de madera, teniendo cuidado en no dañar el grafito. Lijar la punta del lápiz en ángulo de  $90^\circ$  hasta que se obtenga una sección transversal lisa y suave.**

**7.2 Ubicar el panel sobre un nivel firme en posición horizontal. Iniciar la prueba con el lápiz más duro, ubicarlo firmemente con el grafito contra la película en un ángulo de  $45^\circ$  (la punta lejos del operador). Ejercer suficiente presión uniforme descendente y rápida para realizar un trazo que corte o rasguñe la película o hasta que se desgaste el filo del grafito. La longitud del trazo debe ser de 6.5 mm aprox.**

**7.3 Repetir el proceso con los demás, de la es la de dureza, hasta que se encuentre el lápiz que no corte la película del substrato una distancia de, por lo menos, 3 mm.**

**7.4 Continuar el proceso hasta que un lápiz no corte, ni arañe la superficie de la película. Cualquier deterioro de la película diferente a un corte se considera falla.**

**7.5 Realizar como mínimas dos determinaciones para cada lápiz o grafito.**

**8. Reporte**

**8.1 Reportar los puntos finales de dureza· como sigue:**

**8.1.1 Corte: La dureza lápiz que dejará la película sin corte por un trazo de por lo menos 3 mm.**

**8.1.2 Rasguño: La dureza lápiz que np romperá ni rasguñará la película.**

## **DUREZA PERSOZ**

### **1. Norma Referencial**

**ASTM D 4366 - " Hardness of Organic Coating by Pendulum Damping Test"**

### **2. Alcances**

Este método usa un aparato tipo péndulo, denominado Persoz, para la determinación de la dureza de recubrimientos que han sido aplicados sobre una superficie rígida, tal como metal o vidrio.

Esta prueba puede ser usada para hacer un seguimiento del proceso de curado de un recubrimiento y determinar su dureza final.

### **3. Descripción**

**Dureza Persoz-** Se refiere al tiempo en segundos en que la oscilación de una determina amplitud del péndulo Persoz decrece desde 12 a 4°

### **4. Sumario del Método**

Un péndulo que reposa sobre la superficie de un recubrimiento es mantenido en oscilación, después de un tiempo especificado, el cual es medido, la amplitud de oscilación decrece. Un menor tiempo significa un recubrimiento más blando.

### **5. Significado y Uso**

**5.1** La prueba del péndulo es muy sensible en detectar diferencias de dureza, donde la dureza es definida como una resistencia a la deformación.

**5.2** El principio es que la oscilación de un péndulo que toca una superficie decrece más rápidamente cuanto más blando es la superficie.

### **6. Aparatos**

**6.1** Equipo Persoz, ver fig.1

**6.2** Paneles de vidrio

### **7. Procedimiento**

**7.1** Realizar la determinación a  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa, después mantener los paneles bajo estas condiciones por lo menos 16 horas.

7.2 Ubicar el panel de prueba en el equipo y cuidadosamente ubicar el péndulo sobre la superficie del panel.

7.3 Desviar el péndulo hasta  $12^\circ$  y soltarlo, simultáneamente activar el temporizador

7.4 Determinar el tiempo en que la oscilación decrece desde  $12^\circ$  a  $4^\circ$

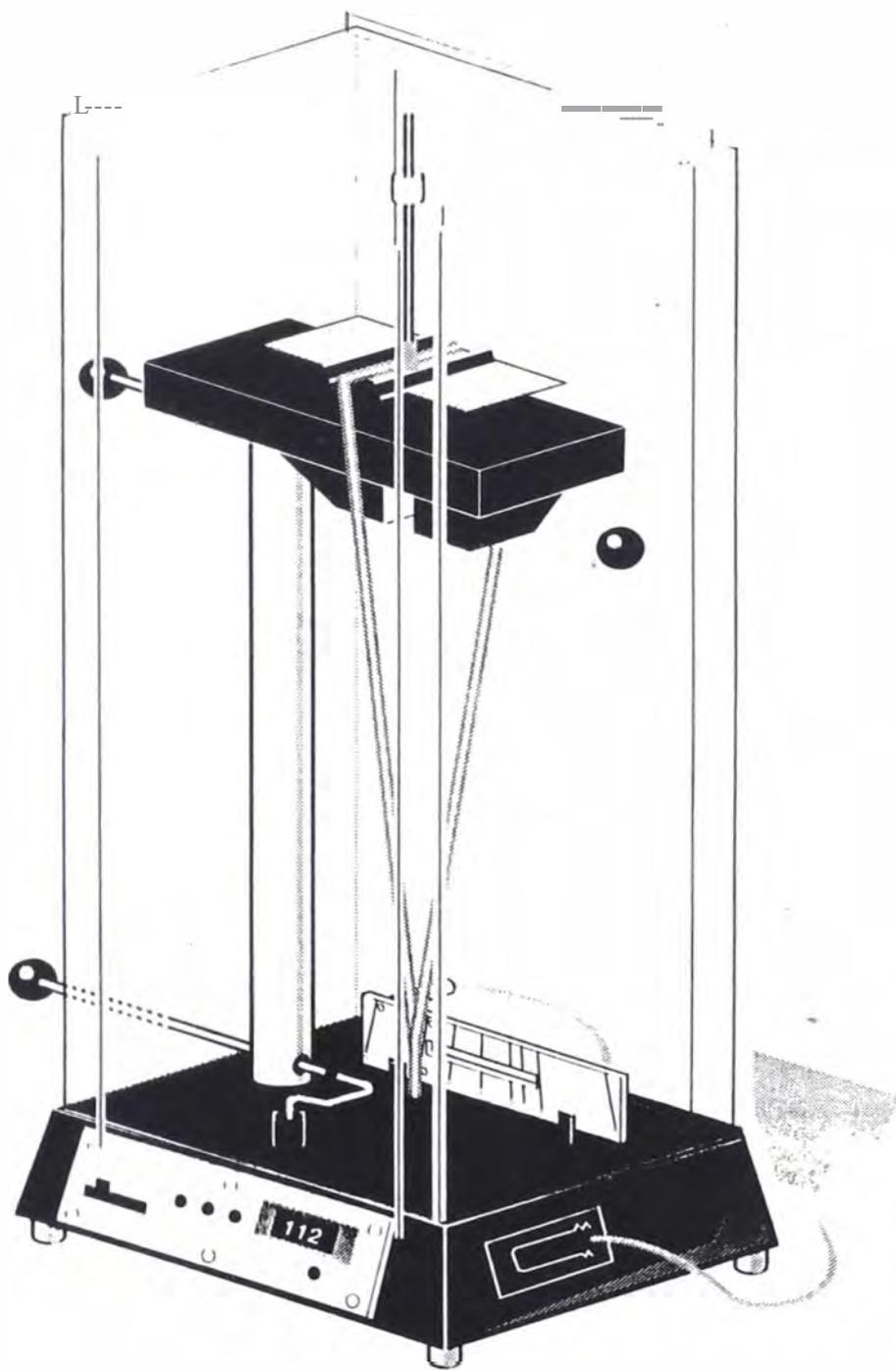
7.5 Repetir el proceso por lo menos en dos áreas más del panel.

## **8. Reporte**

8.1 Reportar el tiempo en segundos para el panel de prueba

8.2 Indicar el espesor de película, las condiciones de prueba como temperatura y humedad relativa

8.3 Reportar, asimismo, las técnicas de preparación del panel y acondicionamiento



**Fig. 1** Equipo Persoz

#### **IV. Determinación de la Adhesión**

##### **1. Norma Referencial**

**ASTM D 3359 - "Measuring Adhesion by Tape Test"**

**ITINTEC 319.123- "Determinación de la Adherencia"**

##### **2. Alcances**

**2.1 Estos métodos sirven para determinar la adhesión del recubrimiento al sustrato metálico mediante la aplicación y remoción de una cinta adhesiva sobre unos cortes hechos en la película.**

**2.2 El método A es principalmente usado en el campo de trabajo mientras que el Método B es más adecuado para uso de Laboratorio. Además, el método B no es adecuado para espesores mayores a 5 mils (125  $\mu\text{m}$ ).**

**2.3 En un sistema multicapas la falla por adhesión puede ocurrir entre las capas es por ello que la adhesión de sistemas de pinturas no está determinado en estos métodos**

##### **3. Sumario**

**3.1 Método A - Se realiza un corte en X en la película del sustrato, se coloca la cinta adhesiva sobre el corte y luego se remueve, la adhesión se calcula cualitativamente sobre una escala de 0 a 5.**

**3.2 Método B - Se realizan cortes enrejados de 6 x 6 ó 11 x 11, dependiendo del espesor, se aplica luego sobre los cortes la cinta adhesiva y se remueve, la adhesión es evaluada por comparación con las ilustraciones.**

##### **4. Significado y Uso**

**4.1 Este método, como cualquier otro, tiene limitaciones, no se puede distinguir entre recubrimientos de alta adhesión y generalmente es adecuado para aquellos de un adecuado nivel de adhesión.**

**4.2 El sustrato y la preparación de superficie tienen efectos drásticos en la adhesión, por lo tanto sería de mucha utilidad conocer la adhesión de un recubrimiento sobre diferentes sustratos o preparación de superficie, ó diferentes recubrimientos sobre el mismo sustrato y tratamiento.**

## 5. Método A - Corte en X

### 5.1 Aparatos y Materiales

5.1.1 Cuchilla metálica

5.1.2 Guía para cortes

5.1.3 Cinta adhesiva

### 5.2 Material de Prueba

5.2.1 El método es usado sobre la estructura pintada

5.2.2 Si se realiza en el Laboratorio, los paneles deben prepararse bajo las condiciones de superficie y composición sobre las cuales se desea determinar la adhesión.

### 5.3 Procedimiento

5.3.1 Asegurar que el área de prueba esté limpia y seca, además, libre de imperfecciones. Las condiciones de temperatura y humedad relativa extremas afectarán la adhesión de la cinta adhesiva y al recubrimiento.

5.3.2 Realizar dos cortes en la película en forma de X con ángulo entre 30 a 45°.

5.3.3 Realizar los cortes con un movimiento firme hasta que se alcance al substrato.

5.3.4 Ubicar la cinta adhesiva en el centro de la intersección con los dedos, luego frotar con el borrador de lápiz sobre las incisiones y dentro de 60 a 120 seg. de aplicado remover la cinta rápidamente.

5.3.5 Revisar el área del corte y calificar de la siguiente manera:

5A Ningún levantamiento ni remoción

4A Trazas de levantamiento ó remoción en las incisiones ó intersección

3A Remoción en las incisiones hasta 1/16 pulg. (1.6 mm)

2A Remoción en las incisiones hasta 1/8 pulg. (3.2 mm)

1A Remoción de la mayoría del área del corte en X bajo la cinta

0A Remoción de una mayor área al corte en X

## **5.4 Reporte**

**5.4.1 Reportar las condiciones ambientales de realización de la prueba**

**5.4.2 Reportar el sustrato empleado, el tipo de recubrimiento y método de cura**

**5.4.3 Reportar la calificación obtenida.**

## **6. Método B - Corte Enrejado**

### **6.1 Aparatos y Materiales**

**6.1.1 Cuchilla metálica**

**6.1.2 Guía para cortes, graduada**

**6.1.3 Cinta adhesiva**

**6.1.4 Lente de aumento, para examinar el área de prueba**

### **6.2 Procedimiento**

**6.2.1 Asegurar que el área de prueba esté limpia y seca, además, libre de imperfecciones.**

**6.2.2 Realizar los cortes paralelos de la siguiente manera:**

- Para recubrimientos de hasta 2 mils de espesor los cortes deben espaciarse a 1 mm y se deben realizar once cortes

- Para .recubrimientos con espesor seco entre 2 y 5 mils, los espacios deben ser de 2 mm y se deben realizar 6 cortes.

- Realizar cortes de 20 mm de longitud con un movimiento firme hasta que se alcance al sustrato.

- Después de hacer los cortes, limpiar con una brocha suavemente el área y proceder a realizar los cortes adicionales a un ángulo recto (90°).

- Ubicar la cinta adhesiva en el centro del enrejado con los dedos, asegurar el buen contacto Y.luego frotar con el borrador de lápiz sobre las incisiones y dentro de 60 a 120 seg.de aplicado remover la cinta rápidamente.

- Revisar el área del corte usando el lente de aumento y calificar de acuerdo a la siguiente escala ilustrada en la fig.1:

<b>Clasificación</b>	<b>Area evaluada donde hay desprendimiento</b>
<b>5B</b>	<b>Ninguno</b>
<b>4B</b>	●
<b>3B</b>	●
<b>2B</b>	●
<b>1B</b>	●
<b>0B</b>	<b>Mayoral 65%</b>

**Fig. 1 Clasificación de los Resultados de la Evaluación de Adhesión**

- 5B** Los filos de los cortes están intactos, ningún cuadrado se ha desprendido.
- 4B** Pequeñas hojuelas están desprendidas en las intersecciones, menos del 5% del área está afectada.
- 3B** Pequeñas hojuelas están desprendidas a lo largo de los filos y en las intersecciones de los cortes. El área afectada es 5 a 15% del enrejado.
- 2B** Remoción de hojuelas a lo largo de los filos y parte de los cuadrados. El área afectada es de 15 a 35% del enrejado.
- 1B** Remoción de hojuelas a lo largo de los filos de los cortes que queda adherida a la cinta asimismo desprendimiento de los cuadrados. El área afectada es 35 a 65% del enrejado.
- 0B** Total remoción y desprendimiento peor que el grado 1.

### **6.3** Reporte

- 6.3.1** Reportar las condiciones ambientales de realización de la prueba
- 6.3.2** Reportar el substrato empleado, el tipo de recubrimiento y el método de cura
- 6.3.3** Reportar la calificación obtenida.

## **V. Determinación de la Adhesión Elcometer**

### **1. Norma Referencial**

**ASTM D 4541 - "Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers"**

### **2. Alcances**

**2.1 Este método se usa para evaluar la adhesión de un recubrimiento por la aplicación de una fuerza perpendicular a un área superficial hasta que un dispositivo adherido a la superficie se desprenda. Este método puede permitir la comparación de las fuerzas de tensión, a diferencia de las fuerzas de corte aplicadas en los métodos anteriores.**

**2.2 Este método utiliza un aparato, el cual es portátil y capaz de aplicar una presión a una simple superficie**

**2.3 Este es un método destructivo y puede requerirse reparaciones a las superficies evaluadas.**

### **3. Sumario**

**3.1 Este método utiliza un dispositivo que es fijado mediante un adhesivo a la superficie. Después que el adhesivo haya curado, se ubica un aparato que se une al dispositivo y alineado aplica una fuerza normal (perpendicular) al área de prueba. La fuerza aplicada es gradualmente incrementada y monitoreada hasta que el dispositivo se desprenda o se alcance un valor especificado. Cuando el dispositivo se desprende el área expuesta presenta la naturaleza de la falla, la que es calificada en porcentajes por fallas de adhesión y cohesión.**

### **4. Aparato**

**4.1 Equipo Elcometer, ver figura 1**

**4.2 Solvente, para limpieza**

**4.3 Adhesivo**

**4.4 Pedazo de Algodón**

**4.5 Papel abrasivo de grado muy fino**

### **5. Preparación del Area de Prueba**

**5.1 Seleccionar una zona de prueba que permita ubicar los dispositivos cómodamente, para caracterizar estadísticamente el área.**

**5.2** Asimismo debe haber la suficiente separación entre los dispositivos que permita ubicar el equipo cómodamente.

**5.3** El substrato debe ser lo suficientemente rígido, pues los espesores delgados afectan los resultados de las evaluaciones.

**5.4** Se debe limpiar la superficie del dispositivo de prueba y también el del área de prueba para una mejor adherencia con el adhesivo.

**5.5** Mezclar en las proporciones indicadas por el fabricante del adhesivo y aplicar en el dispositivo y la superficie a evaluar. Unir ambas superficies preferentemente girando para eliminar las burbujas de aire, luego remover el exceso. Dejar secar de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

## **6. Procedimiento**

**6.1** Leer las instrucciones del Equipo Elcometer antes de proceder a la evaluación.

**6.2** Ubicar el anillo alrededor del dispositivo sobre la superficie del recubrimiento.

**6.3** Cuidadosamente conectar la garra del equipo en el dispositivo, en superficies no horizontales soportar el equipo manualmente.

**6.4** Ubicar el indicador a cero, e incrementar la fuerza en forma suave y continua como fuera posible.

**6.5** Reportar la fuerza de falla o fractura o la máxima fuerza aplicada.

**6.6** Si el dispositivo se desprende, mantenerlo para la calificación.

## **7. Interpretación de los Resultados**

**7.1** Para evaluar las fallas, se deben estrmar los porcentajes de falla adhesiva y cohesiva de acuerdo a su área respectiva y localización dentro del sistema de pinturas.

**7.2** Se describen como A al substrato, y élas capas sucesivas como B, C, O, etc. incluyendo el adhesivo Y, que asegura el dispositivo y Z, que asegura al acabado.

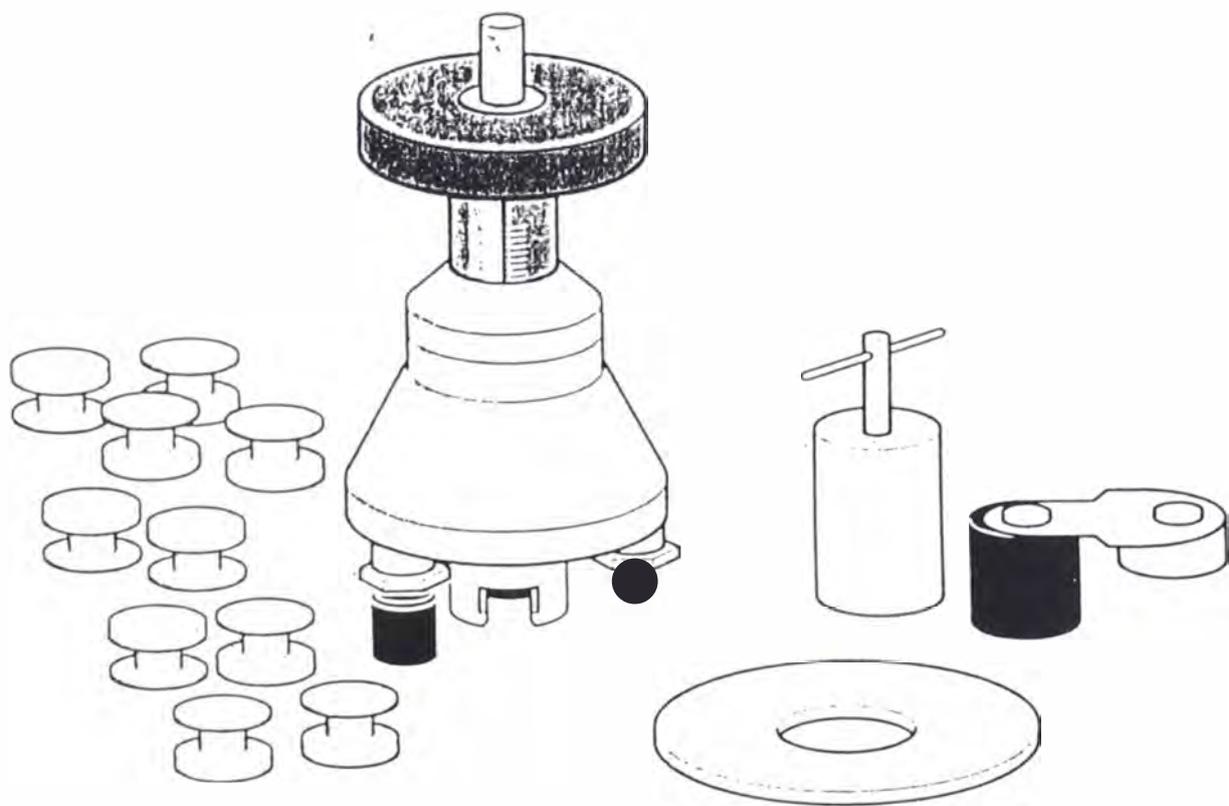
**7.3** Se designa las fallas cohesivas como B, C, D, etc. y los porcentajes de cada uno.

**7.4** Se designa las fallas adhesivas en las interfaces donde ellas ocurren como A/8, B/C, CID, etc. y los porcentajes en cada caso.

**8. Reporte**

**8.1 Indicar la fuerza aplicada para el desprendimiento del dispositivo 6 el pasa/falla de un valor especificado.**

**8.2 Para las pruebas de falla indicar la naturaleza y sus porcentajes, indicando la localización de las mismas.**



**Fig. 1**    **Equipo Elcometer**

## **VI. Determinación de la Resistencia al Impacto**

### **1. Norma Referencial**

**ASTM D 2794 - " Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)"**

**ITINTEC 319.105- "Método para determinar la resistencia al impacto"**

### **3. Alcances**

Esta norma establece el método para determinar la resistencia al impacto directo o inverso de: pinturas, esmaltes, lacas y productos afines.

### **4. Principio del Método**

Se basa en dejar caer un objeto patrón desde una altura determinada sobre una lámina metálica previamente pintada para que deforme a ésta por impacto directo o inverso.

La película generalmente falla por agrietamiento, lo cual se hace más visible con un instrumento óptico o aplicando sobre la película una solución de sulfato de cobre.

Esta prueba es usada para indicar la extensibilidad y fuerza adhesiva de un recubrimiento sobre una superficie metálica bajo una rápida deformación.

### **5. Equipos**

**5.1 Tubo Guía y Calibrador:** Consiste en un tubo de acero de 60 a 120 cm. de longitud montado verticalmente sobre una placa base. El tubo posee una ranura longitudinal la cual tiene marcada una escala desde el extremo inferior hasta el superior, en centímetros. Esta ranura sirve como guía a una pesa colocada dentro del tubo. La base debe construirse de tal forma, que una lámina plana y delgada pueda colocarse mínimo a 50 mm bajo el tubo y\_sobre el hueco cilíndrico de 16.2 mm de diámetro que posee esta base y el cual se encuentra directamente centrado bajo el tubo

**5.2 Pesa:** Objeto patrón de forma cilíndrica que puede pesar 1 o 2 Kg y encaja dentro del tubo y que lleva en uno de sus lados una clavija que actúa como guía deslizándose por la ranura del tubo y sirve como brazo para levantar la pesa y dejarla caer.

**5.3 Zona de Impacto:** Bloque de acero terminado en forma semiesférica de aproximadamente 2 cm. de diámetro que descansa en la cara superior de la lámina.

**5.4** Lámina de acero de 0.636 mm de espesor, o de otro material y espesor convenidos entre las partes interesadas

**6. Reactivo**

**6.1 Solución de Sulfato de Cobre:** Se prepara disolviendo 10 gr de sulfato de cobre pentahidratado en 90 gr de solución 1.0 N de ácido clorhídrico.

**7. Procedimiento**

**7.1 Preparación de la muestra:** A las láminas adecuadamente preparadas se les aplica la película de la muestra. El espesor y curado de la película deben ser las indicadas por el fabricante del producto o por solicitud del cliente

**7.2 Acondicionamiento de las muestras:** La lámina recubierta se mantiene durante 48 horas a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y a una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ . En casos especiales estas condiciones pueden variarse por acuerdo entre las partes interesadas.

**7.3** La lámina de ensayo se coloca en el aparato con el lado recubierto hacia arriba para el ensayo de impacto directo o hacia abajo para el impacto inverso. Se asegura que la lámina esté a nivel con el soporte base. Se levanta la pesa a la altura especificada en la norma del producto, y se deja caer; se retira la lámina y se observa el daño causado.

**7.4** Como las fallas son difíciles de apreciar aún con el lente de aumento, se hacen visibles aplicando sobre la película ensayada la solución de sulfato de cobre y dejándola durante un tiempo mínimo de 15 minutos.

**7.5** Si no existe la especificación del producto, se levanta la pesa hasta la altura a la cual se espera no ocurran fallas y se deja caer. Se observa si no hay evidencia de agrietamiento, se repite el procedimiento en otra área mayor, incrementándola cada vez en 25 mm. Cuando se observan fallas visibles, se debe ensayar una

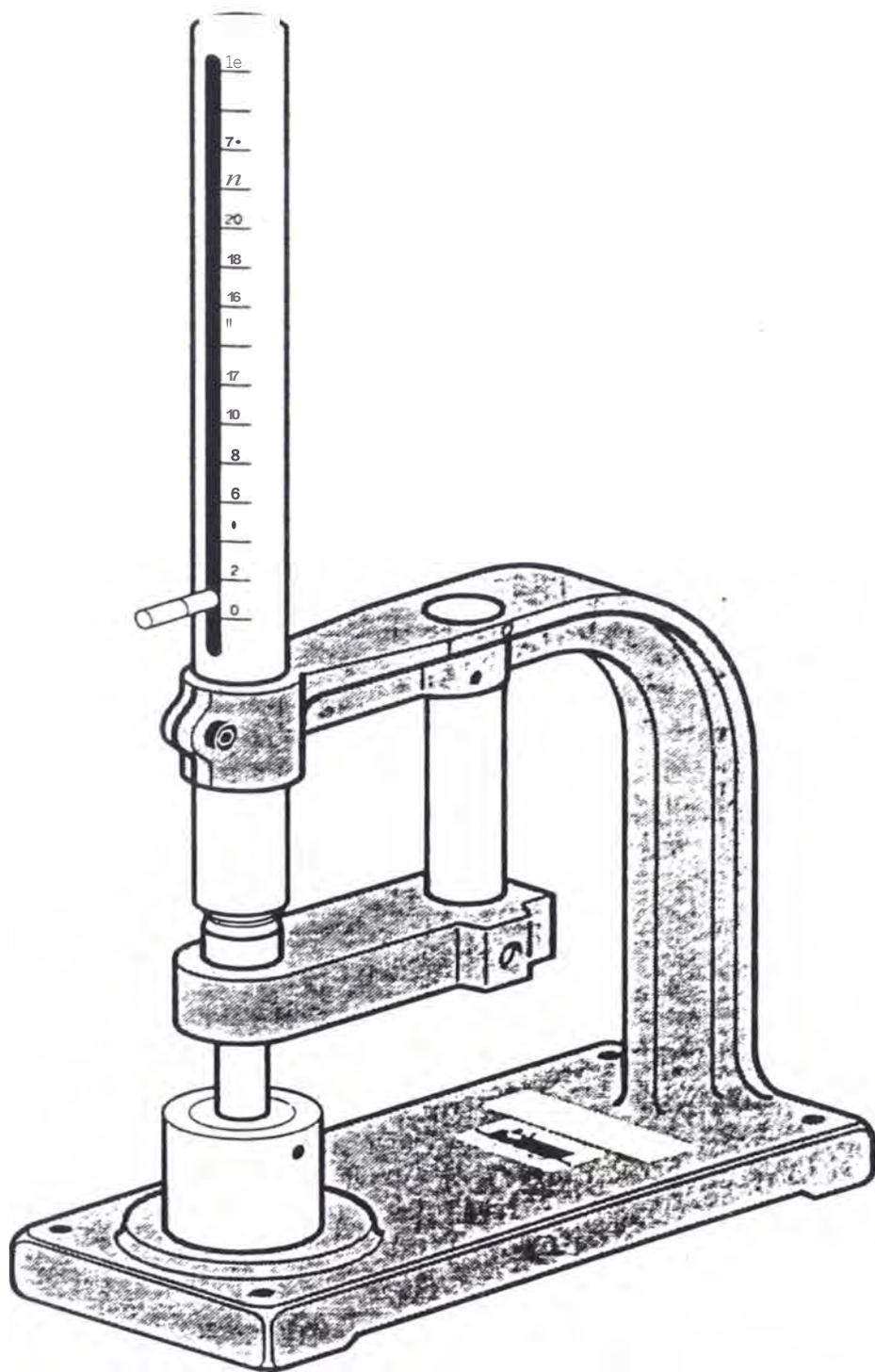
segunda lámina en forma similar desde alturas menores y cercanas al punto donde se observó la primera falla y se procede de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.3

7.6 Finalmente se determina la mayor altura a la cual no se presentan fallas en la película.

## 8. Reporte

8.1 Se reporta la resistencia al impacto multiplicando la altura por la masa de la pesa, y se expresa en cm-Kg ó su equivalente pulg-lb.

8.2 Se debe indicar el tipo de preparación de superficie y el espesor de película, así como las condiciones de curado del recubrimiento.



**Fig. 1** Equipo para Medir Resistencia al Impacto

## **VII Método de Ensayo de Niebla Salina**

### **1. Norma Referencial**

**ASTM B 117 - "Method of Salt Spray Fog Testing"**

**ITINTEC 319.178**

### **2. Alcances**

**2.1 El presente método establece las condiciones requeridas para el ensayo de niebla salina.**

**2.2 El método no establece el tipo de muestra a ensayar, los períodos de exposición ni la interpretación de los resultados.**

**NOTA 1: Este método es aplicable a metales ferrosos y no ferrosos, y es usado también para recubrimientos inorgánicos y orgánicos, etc., especialmente donde tales ensayos son la base para las especificaciones del material o producto.**

### **3. Principio del Método**

**3.1 El método consiste en someter una muestra a la acción de un ataque corrosivo acelerado, el cual se produce dentro de una cámara por la acción de un agente que se suministra a la cámara en condiciones dadas.**

### **4. Aparatos**

**4.1 Cámara salina, compuesta por una cámara de niebla, un recipiente que provee la solución salina, una fuente de suministro de aire a presión, boquillas de atomización, soporte para las muestras, colectores de la solución, fuente de calor, así como los aparatos de medida y control de temperatura y presión dentro de la cámara. El tamaño y detalles de la construcción de los aparatos son opcionales siempre y cuando las condiciones que se obtengan reúnan los requisitos del método.**

**4.2 La cubierta de la cámara debe construirse de tal forma que las gotas de rocío acumulados sobre la parte interior de la tapa no caigan sobre las muestras durante el ensayo. Las gotas de la solución que caen de las muestras no deben ser devueltos al recipiente de la solución para ser nuevamente pulverizadas.**

4.3 Los materiales empleados en la construcción de la cámara no deben alterar los efectos del rocío salino.

## 5. Reactivos

5.1 Solución Salina.- Se disuelve  $5 \pm 1$  partes en masa de cloruro de sodio en 95 partes de agua, de preferencia agua blanda que no contenga más de 200 ppm de sólidos totales.

5.1.1 La sal debe ser cloruro de sodio libre de níquel y cobre, con un contenido máximo en base seca de 0.1 por ciento de yoduro de sodio y 0.3 por ciento de impurezas totales; disuelto en agua destilada.

Algunas sales contienen aditivos que pueden actuar como inhibidores, por esta razón se debe dar especial atención al contenido químico de la sal.

Por acuerdo entre las partes interesadas se pueden hacer otros análisis y establecer otros límites para los elementos o compuestos no especificados en la composición química dada antes.

5.1.2 El pH de la solución debe ser tal que cuando se atomice a  $35^{\circ}\text{C}$ , la solución recogida tenga un pH entre 6.5 y 7.2

Antes de atomizar la solución esta debe estar libre de sólidos suspendidos (Nota 2)

La medición del pH debe hacerse electroquímicamente a  $25^{\circ}\text{C}$ , usando un electrodo de vidrio con un puente de cloruro de potasio saturado, o papel indicador de pH de intervalo corto.

NOTA 2: Para prevenir el atascamiento de la boquilla, la solución recientemente preparada puede ser filtrada o decantada antes de ser colocada en el reservorio, o al final del tubo que conduce la solución al atomizador, se puede cubrir con una doble capa de tela nylon.

NOTA 3: El pH puede ser ajustado por adición de una solución de ácido clorhídrico diluido o una solución de hidróxido de sodio.

## 6. Muestras de Ensayo

**6.1 El tipo y número de muestras de ensayo, así como el criterio para la evaluación de los resultados del ensayo, estará definido en las especificaciones del material o producto a ser ensayado o de otro modo acordado por las partes interesadas.**

## **7. Procedimiento**

### **7.1 Preparación de las muestras de ensayo**

**7.1.1 La limpieza será opcional dependiendo de la naturaleza de la superficie y de los contaminantes, excepto que no se usarán abrasivos o disolventes que sean corrosivos o depositen capas que sean corrosivas o protectoras.**

**El uso de una solución de ácido nítrico para la limpieza química o pasivado, es permisible cuando es acordado por las partes interesadas**

**Se debe evitar que las muestras se limpien o manipulen excesivamente antes del ensayo.**

**7.1.2 Las muestras recubiertas con pinturas o recubrimientos no metálicos no se deben limpiar o manipular excesivamente antes del ensayo.**

**7.1.3 Si se desea determinar el desarrollo de la corrosión en un área de corte de la película de pintura o recubrimiento orgánico, se hace antes del ensayo una línea de incisión con un instrumento cortante a través del recubrimiento para exponer el metal antes del ensayo.**

**7.1.4 A menos que se especifique otro modo, los bordes de las láminas y las áreas que contienen marcas de identificación o están en contacto con las gradillas o soportes, se deben proteger con un recubrimiento apropiado estable bajo las condiciones del ensayo, tal como cera.**

### **7.2 Posición de las muestras durante el ensayo**

**7.2.1 Las muestras se deben soportar o suspender entre 15° a 30° con respecto a la vertical y preferentemente paralelas a la dirección principal del flujo de rocío a través de la cámara.**

**7.2.2** Las muestras no deben estar en contacto unos con otros o con cualquier material capaz de actuar como conductor.

**7.2.3** Las muestras deben colocarse de tal forma que cada una reciba el rocío

**7.2.4** La solución salina de un material no deberá gotear sobre ninguna otra muestra.

**NOTA 4:** Los materiales apropiados para la construcción o recubrimiento de los soportes son el vidrio, jebe, plástico o madera adecuadamente recubierta. No se debe usar metal puro. Las muestras se deben sujetar preferentemente del fondo o de los lados. Tiras de madera ranurada son apropiadas para el soporte de las láminas de ensayo. La suspensión por ganchos de vidrio o cordel encerado se pueden usar para obtener la posición especificada.

### **7.3 Suministro de Aire**

**7.3.1** El suministro de aire comprimido por la boquilla para atomizar la solución salina, debe estar libre de aceite y suciedad (NOTA 5) y mantenerse entre 69 y 172 kN/m<sup>2</sup> (10 y 25 psi) (NOTA 6).

**NOTA 5:** El suministro de aire puede ser liberado de aceite y suciedad pasándolo a través de un limpiador de agua o a través de un material apropiado para limpiar tal como asbestos, lana de oveja, viruta, lana metálica o alúmina activada.

**NOTA 6:** La boquilla de atomización puede tener una "presión crítica" en la cual se produce un incremento irregular de la corrosión. Si la presión crítica de una boquilla no ha sido establecida con certeza se debe controlar la fluctuación en la presión de aire dentro de más o menos 0.7 KN/m<sup>2</sup> (0.1 psi), mediante la instalación de una válvula de regulación de presión que minimice la posibilidad de que la boquilla opere en su "presión crítica"

### **7.4 Condiciones en la Cámara de Niebla Salina**

10 cm<sup>3</sup> y se vierte a un plato de evaporación; se añade 40 cm<sup>3</sup> de agua destilada y 1 cm<sup>3</sup> de solución de 1% de cromato de potasio y se titula con una solución de 0.1 N de nitrato de plata hasta la primera aparición de una coloración roja permanente. Una solución que requiere entre 3.4 a 5.1 cm<sup>3</sup> de solución al 0.1 N de nitrato de plata, tendrá la concentración requerida de sal,

7.4.3 La boquilla o boquillas deben ser orientadas de modo que la solución atomizada no deba ser dirigida directamente sobre las muestras de ensayo

## 7.5 Continuidad del Ensayo

7.5.1 El ensayo debe realizarse en forma continua, esto es, la cámara debe permanecer cerrada y la atomización debe operar continuamente, excepto en las pequeñas interrupciones necesarias para inspeccionar, acomodar o retirar muestras; verificar y cambiar la solución del recipiente surtidor y hacer las lecturas de temperaturas; operaciones que se harán rápidamente en la forma y tiempo previamente establecido.

## 7.6 Tiempo de Ensayo

7.6.1 Con el objeto de controlar visualmente el desarrollo de la corrosión (forma, lugar, tamaño y distribución), el tiempo de ensayo y los períodos de examen intermedios deben ser indicados en la especificación del producto o material respectivo; los casos especiales o cuando no exista especificación, el tiempo será acordado por las partes interesadas.

NOTA 10: Los períodos de exposición recomendados, en la cámara de niebla salina son múltiplos de 24 horas.

## 7.7 Limpieza de las Muestras Ensayadas

7.7.1 Se retiran cuidadosamente de la cámara y se lavan suavemente con una corriente de agua a 38 °C con el objeto de retirar de su superficie los depósitos de sal, luego se secan inmediatamente.

7.7.2 Se realiza un examen inmediato y cuidadoso de la extensión de la corrosión sobre la muestra seca, o cualquier otro defecto.

## **8. Reporte**

8.1 Se debe reportar el tipo de sal y agua utilizada en la preparación de la solución salina.

8.2 Volumen de la solución colectada en  $\text{cm}^3$  por hora por  $80 \text{ cm}^2$ .

8.3 Concentración o densidad relativa a  $35^\circ \text{C}$  de la solución colectada y pH de la solución.

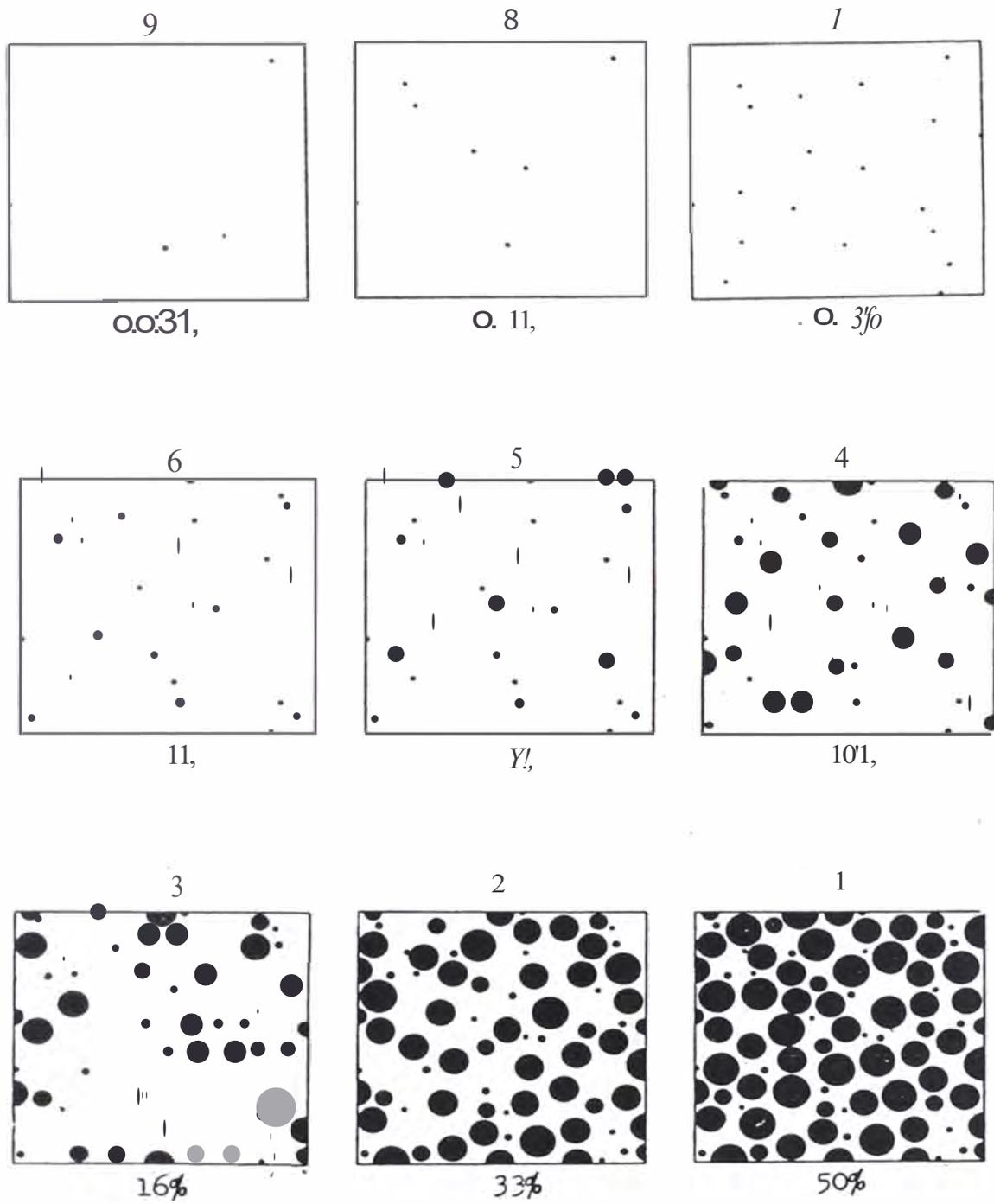
8.4 Tipo de muestra y dimensiones, número o descripción de las mismas.

8.5 Método de limpieza de las muestras antes y después del ensayo.

8.6 Período de exposición

8.7 Resultado de todas las inspecciones como corrosión, ampollamiento, adhesión, etc.

Grado de Oxidación	Descripción	Referencia Fotográfica <b>ASTM-SSPC</b>
5	Oxidación hasta la extensión del 3% de área oxidada	No tiene
4	Oxidación hasta la extensión del 10% de área oxidada	No.4
3	Aproximadamente 1/6 de área oxidada	No tiene
2	Aproximadamente 1/3 de área oxidada	No tiene
1	Aproximadamente 1/2 de área oxidada	No tiene
0	Aproximadamente 100% de área oxidada	No es necesario



**Fig. 1 Ejemplos de Porcentajes de Area**

## **IX. Determinación del Grado de Ampollamiento**

### **1. Norma Referencial**

**ASTM D 714 - "Evaluating Degree of Blistering of Paints"**

### **2. Alcances**

**2.1 Este método emplea referencias fotográficas para evaluar el grado de ampollamiento que puede desarrollarse cuando un sistema de pinturas está sujeto a condiciones agresivas que causarán este problema.**

**Cuando estas referencias son usadas como especificación de performance, el grado permisible de ampollamiento debería establecerse por mutuo acuerdo entre los interesados.**

### **3. Referencias Standard**

**3.1 Las figuras del 1 al 4 son reproducciones que ilustran dos características: tamaño y frecuencia**

**3.2 Tamaño.- Las referencias han seleccionado cuatro etapas de tamaño sobre una escala numérica de 10 a 0, en la cual el No. 10 representa que no hay ampollamiento. El No. 8 representa el tamaño de ampolla más pequeño observado con facilidad por el ojo humano. Los Nos. 6, 4, y 2 representan progresivamente tamaños más grandes.**

**3.3 Frecuencia.- Las referencias han seleccionado cuatro etapas de frecuencia en la cual cada paso es designado como:**

**Denso, D,**

**Medio Denso, MD,**

**Medio, M, y**

**Poco, F**

### **4. Procedimiento**

**4.1 Someter a la película del recubrimiento a las condiciones especificadas. Luego, evaluar la película por comparación con las referencias fotográficas estándar en las figuras 1 a 4.**

### **5. Reporte**

**5.1 Reportar el ampollamiento como el ejemplo de la Nota 1, indicando el tamaño y la frecuencia.**

5.2 Se pueden incluirlas etapas intermedias por interpolación.

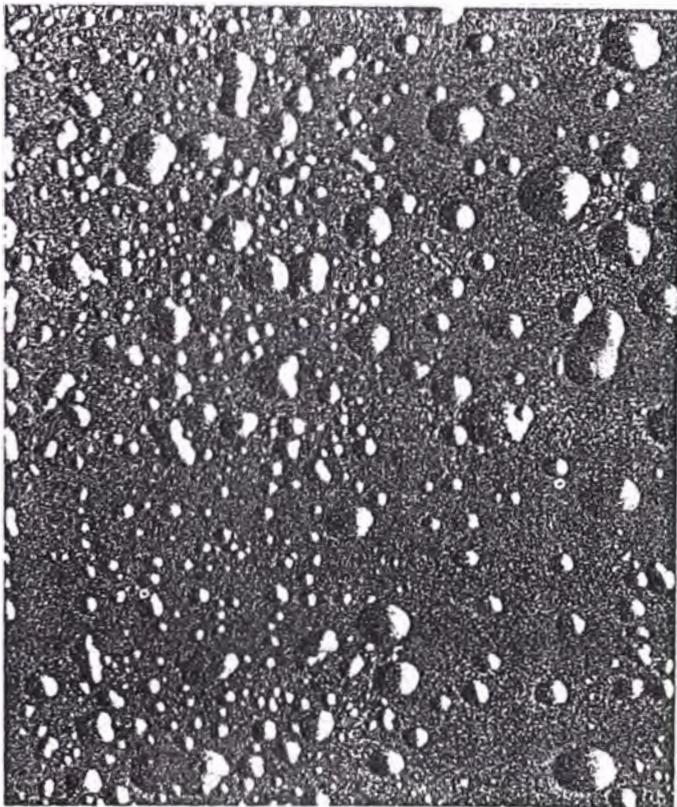
Nota 1.- El número se refiere al mayor tamaño de ampolla que es representativa de la muestra. Por ejemplo, el estándar fotográfico No. 4, "Densol", contiene ampollas que se encuentran en tamaño entre el No. 7 al No. 4, inclusive.



Fcw



Mcdium

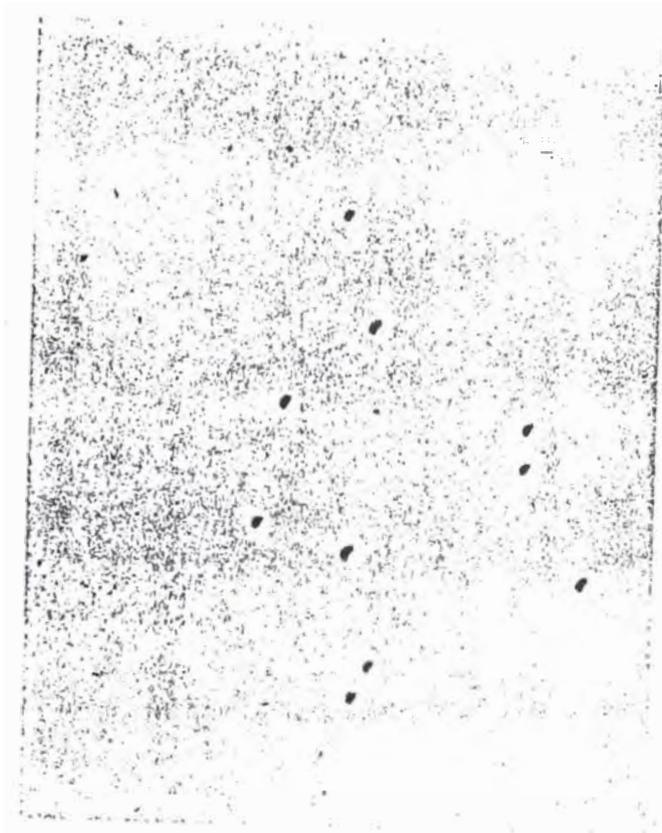


Medium Dense

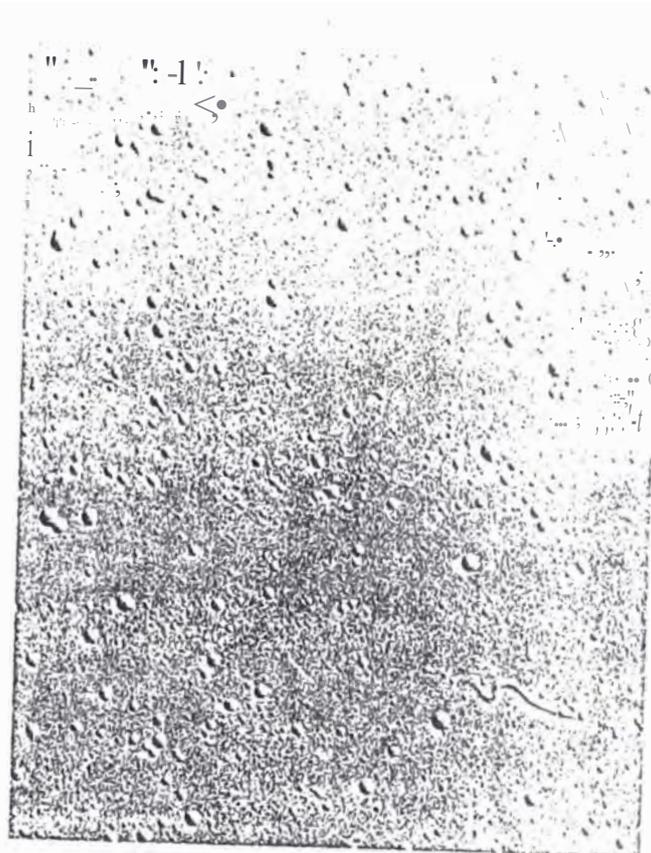


Dense

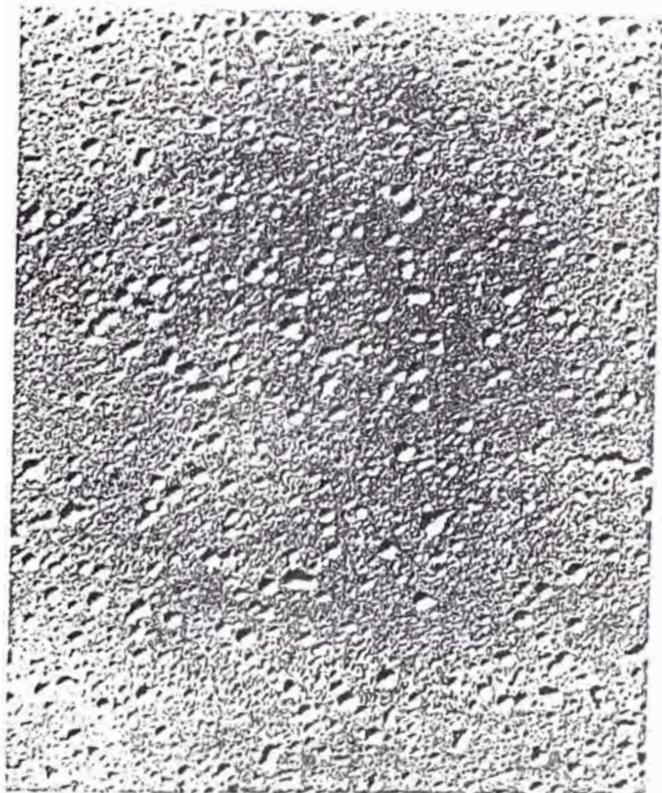
Fig. 1 Tamaño de Ampolla N° 2



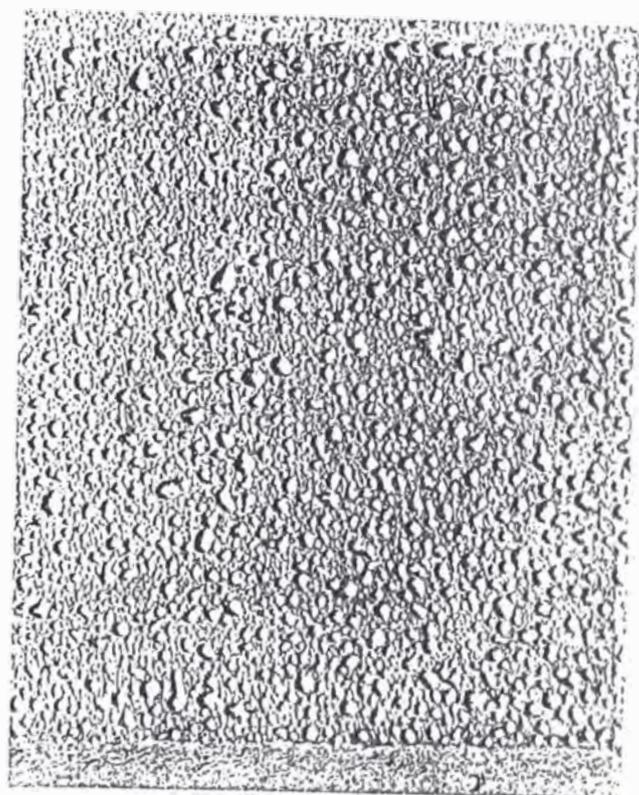
Few



Medium

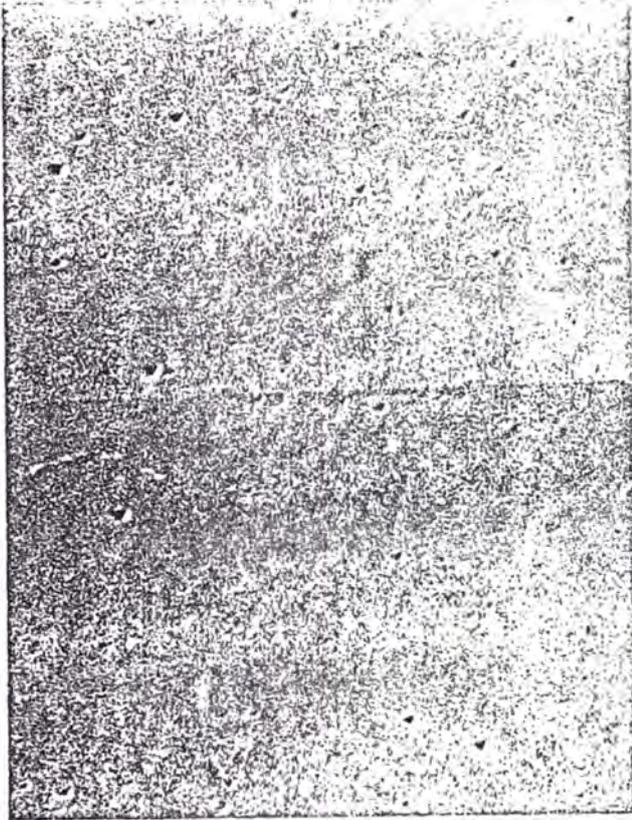


Medium Dense

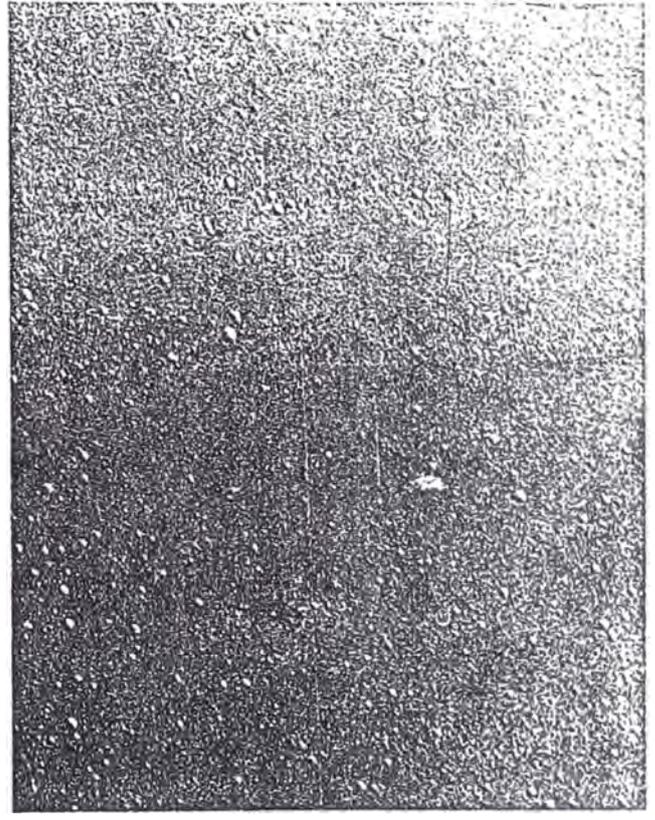


Dense

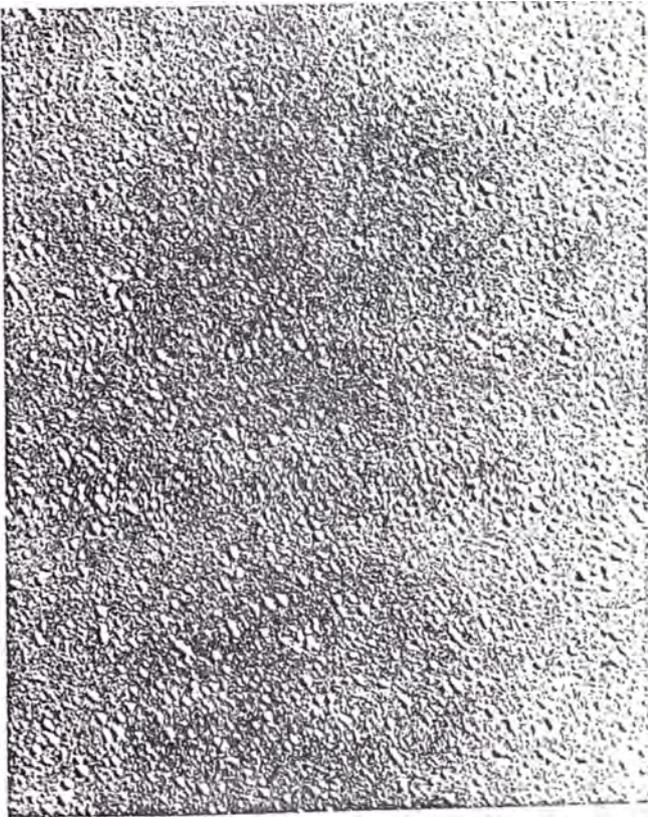
**Fig. 2** Tamaño de Ampolla N° 4



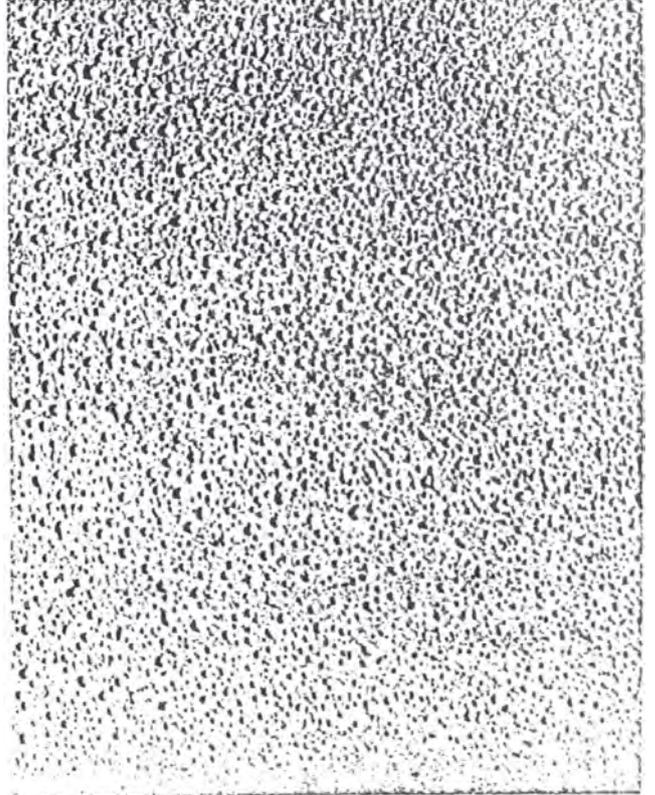
Fcw



Mcdium

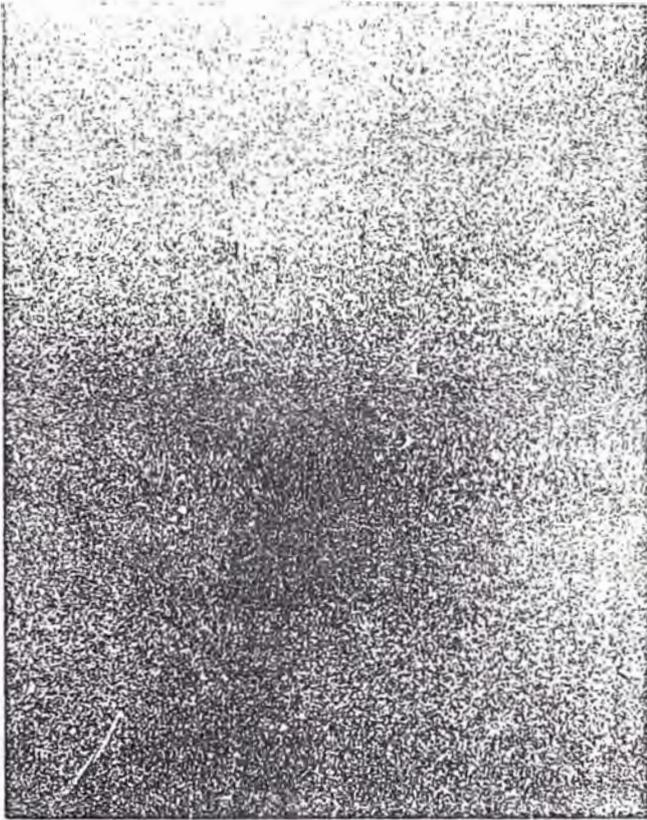


Medium Dense

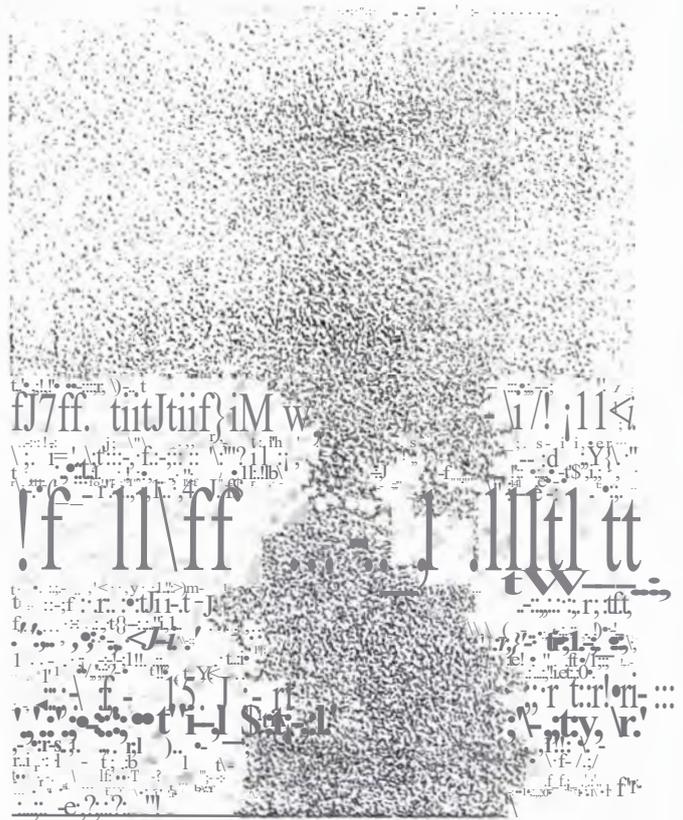


Dense

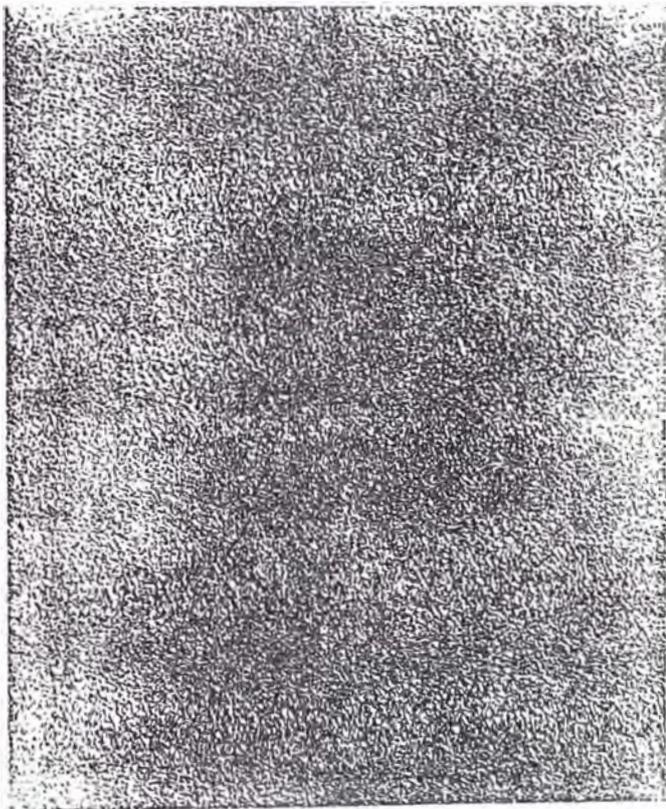
**Fig. 3** Tamaño de Ampolla N° 6



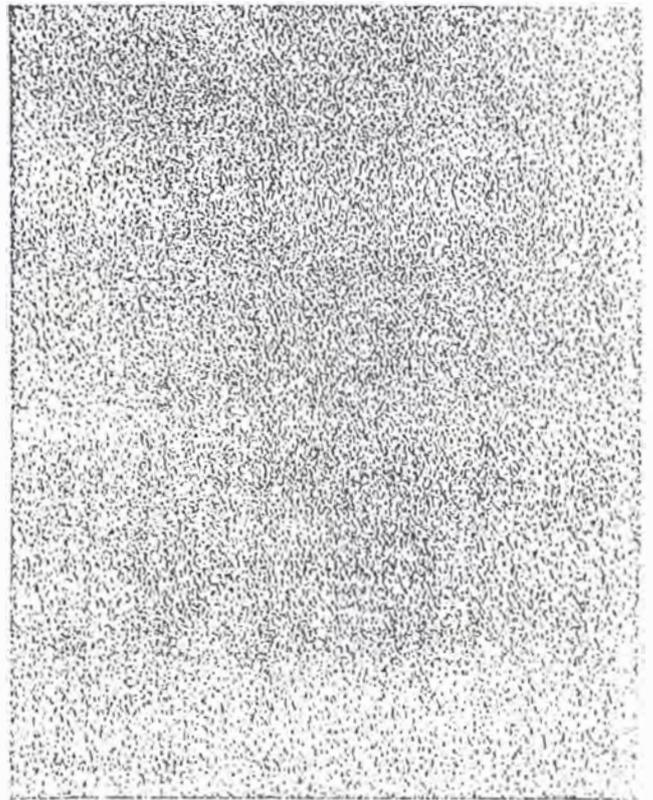
Few



Medium



Medium Dense



Dense

Fig. 4 Tamaño de Ampolla N° 8

- X. Método de Evaluación de la Resistencia a la Inmersión en Agua**
- 1. Norma Referencial**  
ASTM D 870 - "Testing Water Resistance of Coating Using Water Immersion"
  - 2. Alcances**
    - 2.1** Este método se emplea para evaluar la resistencia al agua de recubrimientos inmersos parcial o totalmente en agua destilada o desmineralizada a temperatura ambiente o elevada.
    - 2.2** Este método está limitado a obtener y controlar las condiciones y procedimientos de las pruebas de inmersión en agua. No se especifica tipo de preparación de las muestras, condiciones de prueba ó evaluación de los resultados.
  - 3. Resumen del Método**
    - 3.1** Las muestras pintadas son parcial o totalmente inmersas en agua en un recipiente que resista a la corrosión. Las condiciones de exposición son variadas: (a) La temperatura del agua, y (b) la duración de la prueba.
    - 3.2** La permeabilidad del agua a través del recubrimiento dependerá de las características del recubrimiento y la temperatura del agua. Cualquier efecto tal como cambio de color, ampollamiento, pérdida de adhesión, ablandamiento, o quebrantamiento será observado y reportado.
  - 4. Significado y Usos**
    - 3.3** La inmersión en agua puede causar la degradación del recubrimiento. Conocer la resistencia a la inmersión en agua es útil para predecir su tiempo de vida. Las fallas en la prueba de inmersión pueden ser causados por un número de factores incluyendo deficiencia en el recubrimiento mismo, contaminación del substrato, o inadecuada preparación de superficie.
    - 3.4** Esta evaluación es útil en el desarrollo de recubrimientos, especificaciones de performance, fabricación y control de calidad. Estas pruebas típicamente se determinan en pasa o falla, pudiendo

ser medido. Un recubrimiento pasa si es que no hay evidencia de falla después de un período de tiempo especificado.

3.5 Las evaluaciones de corrosión de un recubrimiento con corte sobre un substrato ferroso no es práctico en pruebas de inmersión debido a que los productos de corrosión tienden a contaminar el baño de agua.

## 5. Aparatos

5.1 Tanque resistente a la corrosión, si se requiere con unidad de calentamiento preferiblemente localizado externamente al tanque.

5.2 Sistema para circulación de agua con aire presurizado y agitador.

5.3 Soporte para las muestras, construido de un material no conductor para mantener las muestras alejadas de las paredes y del fondo del tanque una distancia de 3 cm.

## 6. Preparación de Muestras

6.1 Este método no indica la preparación de las muestras. La composición del substrato y la preparación de la superficie, la preparación de las muestras y el número de muestras deberían establecerse antes de la evaluación.

6.2 Se recomienda por lo menos dos réplicas por cada muestra.

## 7. Procedimiento

7.1 Llenar el tanque con agua hasta una profundidad de aproximadamente tres cuartos de su longitud.

7.2 Calentar el agua con el sistema de circulación hasta la temperatura deseada. Si no fuera especificado, calentar hasta 38<sup>o</sup> C. Mantenerlo durante la prueba.

7.3 Ubicar las muestras en el tanque. Proteger de la corrosión los filos; el reverso de las planchas y las superficies que no serán evaluadas.

7.4 Reemplazar el agua si se enturbiara. Se permite reemplazar el agua continuamente.

7.5 Concluir la prueba después del tiempo especificado o hasta que los efectos de la inmersión sea observado.

7.6 Limpiar la muestra y secarla. Evaluar la muestra entre 5 y 10 minutos después de retirarlas, debido a que los efectos pueden

cambiar dentro de un corto tiempo. Remover sólo las muestras que van a ser evaluadas.

7.7 El período de recuperación de las muestras para que alcancen el equilibrio de humedad con el aire del ambiente es generalmente de 12 a 24 horas. La evaluación después de este período permite observar los efectos permanentes de la exposición, siendo de especial importancia el color y brillo.

## 8. Reporte

8.1 Reportar las horas de duración de la prueba, la temperatura, los resultados de la evaluación y, las condiciones especiales o cualquier desviación de la norma.

## 12.2 APENDICE B: CALCULO DE LA RELACION ESTEQUIOMETRICA PARA RESINAS EPOXICAS Y AGENTES CURANTES

Cálculo del hidrógeno amino equivalente del agente curante (AHEW)

$$\text{AHEW} = \frac{\text{Peso Molecular de la Amina}}{\text{No. de Hidrógenos Activos}}$$

El peso equivalente de hidrógeno amino se refiere al peso de agente curante que contiene un hidrógeno amino activo. Siendo este último aquel directamente unido a los nitrógenos de la molécula.

En el caso de los epóxicos el peso equivalente epoxi (EEW) se refiere al peso de resina epóxica que contiene un grupo epoxi.

Cálculo del phr de los aminos (partes en peso por cien partes de resina)

La relación estequiométrica de la resina epóxica (no volátil) al amino (no volátil) será:

$$\text{EEW} = \text{AHEW}$$

De aquello:

$$\text{phr de la amina} = \frac{\text{AHEW} \times 100}{\text{EEW}}$$

3. Cálculo del EEW de una mezcla de resinas epóxicas  
En el diseño muchas veces se emplea más de una resina epóxica, en este caso es necesario calcular el peso equivalente de la mezcla de la siguiente manera:

Supongamos tres tipos de resina epóxica X,Y y Z con sus respectivos pesos equivalentes  $EEW_x$ ,  $EEW_y$ ,  $EEW_z$  y usados en los niveles  $ax, by$  y  $cz$

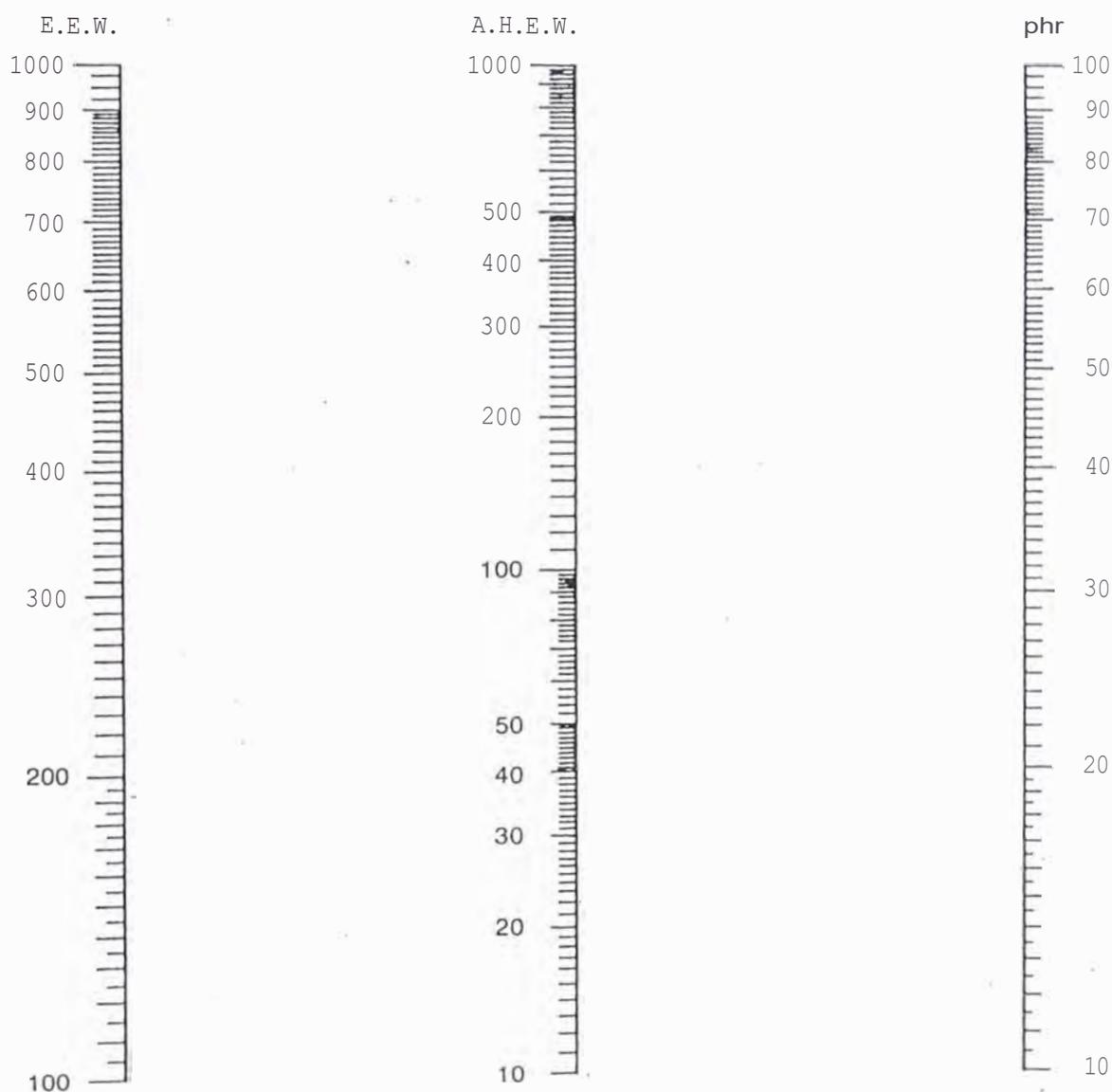
$$EEW_m = \frac{ax + by + cz}{\frac{ax}{EEW_x} + \frac{by}{EEW_y} + \frac{cz}{EEW_z}}$$

De igual manera se procede para obtener los hidrógenos activos de la mezcla de aminas.

## TABLA DE CONVERSION

### Nomograma del Nivel de Agente Curante

Extender una línea desde el EEW de la resina especificada hasta el AHEW del agente curante para obtener el phr del gráfico.



EEW : Peso Epoxi Equivalente

AHEW : Peso Hidrógeno Amino Equivalente

phr: Partes de Agente Curante por 100 partes de Resina Epóxica