

4

208.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ZARAGOZA"**

**EVALUACION DE PIGMENTO ANTICORROSIVO  
EN PINTURAS INDUSTRIALES**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A:  
JOSE FLORES SUAREZ**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A OIOS

## I N D I C E

		Pág.
CAPITULO I	INTRODUCCION	1
CAPITULO II	GENERALIDADES	4
CAPITULO III	METODOS PARA COMBATIR LA CORROSION	11
	3.1 Eliminación de agentes corrosivos	12
	3.2 Adición de inhibidores	12
	3.3 Eliminación de áreas donde puedan acumularse sustancias que favorezcan la corrosión.	13
	3.4 Materiales resistentes a la corrosión.	13
	3.5 Protección catódica	13
	3.6 Aislamiento entre medio ambiente y superficie por proteger.	15
	3.7 Pinturas	17
	3.7.1 Formadores de película	18
	3.7.2 Pigmentos	19
	3.7.3 Solventes	20
	3.7.3.1 Poder de disolución	21
	3.7.3.2 Velocidad de evaporación	21
	3.7.3.3 Olor	21
	3.7.3.4 Toxicidad	22
	3.7.3.5 Punto de inflamación	22
CAPITULO IV	RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	23
	4.1 Tipo de función que va a desempeñar	23
	4.1.1 Recubrimientos anticorrosivos	23
	4.1.2 Pinturas arquitectónicas	24

	Pág.
4.1.3 Pinturas para señalamiento	24
4.2 Procedimiento que requiere el recubrimiento para alcanzar sus propiedades.	24
4.2.1 De un solo componente de secado al aire	24
4.2.2 De dos componentes de secado al aire	24
4.2.3 Recubrimientos cuyo curado es a altas temperaturas.	25
4.3 Tipo de resina.	25
4.3.1 Alcídicos	26
4.3.2 Inorgánicos de zinc.	27
4.3.3 Orgánicos de zinc.	28
4.3.4 Fenólicos	29
4.3.5 Fenólicos horneados	29
4.3.6 Antivegetativos	30
4.3.7 Epóxicos	31
4.3.8 Vinílicos	32
4.3.9 De nule clorado	34
4.3.10 Furanos	35
4.3.11 Poliuretanos	36
4.3.12 Acrílicos	38
4.3.13 De silicón	38
4.3.14 Epoxi-alquitrán de nula.	40
4.3.15 Vinil-acrílicos	41
4.3.16 Vinil-epóxicos	41
4.3.17 Base aceite	42
4.3.18 Otros vehículos	42

	Pág.
CAPITULO V	
RECUBRIMIENTOS ALCIDICOS	44
5.1 Generalidades	44
CAPITULO VI	
PIGMENTOS	51
6.1 Clasificación	51
6.1.1 Anticorrosivos	51
6.1.2 Tipo barrera	51
6.1.3 Coloridos	51
6.1.4 Ampliadores ó extendedores	51
6.2 Propiedades	52
6.2.1 Color entero	52
6.2.2 Color reducido	52
6.2.3 Poder tintorial	53
6.2.4 Poder cubriente	53
6.2.5 Forma, tamaño y distribución	53
6.2.6 Facilidad de dispersión	53
6.3 Principales pigmentos inhibidores.	54
6.3.1 Plomo rojo	54
6.3.2 Plomo blanco	58
6.3.3 Cromato de zinc	60
6.3.4 Cromato de potasio y bario	62
6.3.5 Oxido de hierro	62
6.3.6 Oxido de zinc	63
6.3.7 Fosfato de zinc	64

	Pág.
6.3.8 Polvo de zinc metálico	67
6.3.9 Polvo de aluminio	69
6.3.10 Pigmentos de carbón	70
6.3.11 Otros pigmentos metálicos	72
6.3.12 Mica	73
6.3.13 Dióxido de titanio	73
6.4 Métodos de análisis para pigmentos.	74
6.4.1 Densidad relativa	75
6.4.2 Absorción de aceite	76
6.4.3 Sangrado	76
6.4.4 Resistencia a ácidos, álcalis y deter- gentes.	77
6.4.5 Brillo	78
6.4.6 Opacidad	78
CAPÍTULO VII PARTE EXPERIMENTAL	81
7.1 Fórmulas desarrolladas	82
7.1.1 Definiciones	82
7.1.2 Fórmulas aritméticas	86
7.1.3 Densidades	87
7.1.4 Instrucciones de fabricación	88
7.2 Recubrimiento alcaídico con minio.	91
7.2.1 Fórmula según especificación PEMEX.	91
7.2.2 Fórmula detallada	92
7.2.3 Fórmula de laboratorio	93

	Pág.
7.2.4 Datos de fórmula	94
7.3 Recubrimiento alcídico con cromato de zinc.	95
7.3.1 Fórmula según especificación PEMEX.	95
7.3.2 fórmula detallada	96
7.3.3 Fórmula de laboratorio	97
7.3.4 Datos de fórmula	98
7.4 Recubrimiento alcídico con fosfato de zinc.	99
7.4.1 Fórmula según especificación PEMEX.	99
7.4.2 Fórmula detallada	100
7.4.3 Fórmula de laboratorio	101
7.4.4 Datos de fórmula	102
7.5 Métodos de control de calidad producto terminado.	103
7.5.1 Secado al tacto y secado duro	103
7.5.2 Flexibilidad	104
7.5.3 Adherencia	106
7.5.4 Niebla salina	107
7.5.5 Densidad	109
7.5.6 Viscosidad	110
7.5.7 Finura	111
7.6 Resultados	115
7.6.1 Control de calidad a minio	115
7.6.2 Control de calidad a cromato de zinc	116
7.6.3 Control de calidad a fosfato de zinc	117



	Pág.
7.6.4 Tabla comparativa	118
CAPITULO VIII CONCLUSIONES	119
CAPITULO IX BIBLIOGRAFIA	121

CAPITULO I

## INTRODUCCION:

La aplicación de recubrimientos a base de pintura es el método más ampliamente utilizado en la protección contra la corrosión en metales. Según M. Morcillo (ref. 1), de cada 100 m<sup>2</sup> de superficie metálica expuesta a la corrosión, unos 85-90 m<sup>2</sup> están protegidos con recubrimientos de pintura, en el resto se ha utilizado protección catódica, recubrimientos metálicos, etc. La gran variedad de tipos de pinturas con diferentes características y resistencias, aplicación sencilla, diversidad de colores, costo relativamente bajo y posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos (galvanizado, cromado, etc.) son, entre otras, las principales ventajas que inducen al empleo de este tipo de protección. En una encuesta realizada en 1980 (1) entre numerosas industrias químicas, el 89% de ellas acudían a los recubrimientos de pintura como protección contra la corrosión de sus instalaciones y equipos.

En el pasado, el hecho de que un recubrimiento de pintura fallase al cabo de unos pocos años como resultado de su exposición a condiciones agresivas -por ejemplo en una industria química- se aceptaba como algo irremediable, en consonancia con la idea de que era utópico esperar que ningún sistema de pintura durara demasiado en tales condiciones. La tecnología moderna ha hecho cambiar esta postura y el continuo desarrollo de nuevos productos y formulaciones permiten hoy día conseguir protecciones eficaces a largo plazo en ambientes severos.

El objetivo de este trabajo es hacer un comparativo entre tres formulaciones de recubrimientos alclídicos variando el tipo de pigmento anticorrosivo para seleccionar aquel con el que se obtenga una protección mayor para el acero

al menor costo.

El contenido del trabajo es el siguiente:

En el capítulo II se da una breve explicación sobre la teoría electroquímica de la corrosión, así como un listado de diversas formas de la misma (por ataque uniforme, electroquímica, por celdas, etc.) enfatizando en los mecanismos de corrosión por oxígeno y corrosión ácida por ser los más comunes.

El capítulo III trata sobre los métodos para combatir la corrosión y se detalla sobre los componentes principales de una pintura.

El capítulo IV trata sobre los recubrimientos anticorrosivos. En esta sección se hace una clasificación de los mismos, por el tipo de función que van a desempeñar y por el procedimiento que requieren para alcanzar sus propiedades. Además, se hace un análisis extenso de los recubrimientos por el tipo de resina que los conforma mencionando, a su vez, ventajas y desventajas de los mismos.

El capítulo V se enfoca a las propiedades en detalle de los recubrimientos alcídicos. La razón de incluir este capítulo es que una resina alcídica será el mismo vehículo para los diferentes pigmentos que se analizarán.

El capítulo VI contiene una clasificación de los pigmentos anticorrosivos más importantes que incluye propiedades tales como: poder cubriente, poder tintorial, características, ventajas y desventajas así como los métodos de análisis en laboratorio de los mismos.

El capítulo VII es la parte experimental de este trabajo y aquí es donde

se lleva a cabo la formulación de los recubrimientos alcídicos de minio, cromato de zinc y fosfato de zinc. También se da una breve explicación sobre los métodos internacionales de control de calidad de producto terminado y una tabla comparativa de resultados; todo esto llevado a cabo en el laboratorio de Control de Calidad y Desarrollo de Nuevos Productos en Carolline, S.A. de C.V.

El capítulo VIII se refiere a las conclusiones obtenidas a partir de la tabla comparativa.

Por último, en el capítulo IX se dan las referencias bibliográficas que soportan el presente trabajo.

## CAPITULO II

## GENERALIDADES

La influencia que han tenido los metales en el progreso de la humanidad ha sido decisiva. Como no pueden utilizarse en su estado natural, las menas ó minerales que los contienen deben someterse a un proceso de enriquecimiento que a pesar de ser muy costoso, su rendimiento es bueno.

La acción de los agentes de la naturaleza, tales como el agua, aire y a veces en colaboración con otros factores como temperatura, concentración de sales, activación microbiana, etc., tienden a pasarlos a una forma más estable(óxidos).

La corrosión propiamente dicha se puede presentar de maneras muy diversas por lo que es muy conveniente clasificarla según la forma en la cual aparece.

A continuación se listan algunos de los diversos tipos de corrosión:

- Corrosión por oxígeno
- Corrosión ácida
- Corrosión por ataque uniforme
- Corrosión electroquímica
- Corrosión galvánica o bimetalica
- Corrosión por celdas
- Corrosión intercrystalina
- Corrosión por disolución selectiva (dezinquificación)
- Corrosión por grafitización
- Corrosión por desgaste
- Corrosión por tensión o esfuerzos
- Corrosión por fatiga

- Corrosión por daño por hidrógeno
- Corrosión-erosión
- Corrosión biológica

De éstos, solo se mencionan los siguientes por serlos más frecuentes:

- Corrosión por ataque uniforme. Este tipo es muy común y se caracteriza por una reacción sobre la superficie entera del material (substrato) reduciendo paulatinamente su espesor hasta llegar finalmente a la ruptura. Este desgaste es causado por la exposición a un medio agresivo determinado y representa el mayor porcentaje de destrucción de metales.
- Corrosión por disolución selectiva. Es un proceso en el cual uno de los elementos en una solución sólida o aleación se disuelve preferentemente dependiendo del medio en donde se encuentre, por ejemplo: se tiene la disolución selectiva del zinc en el latón llamada dezinquificación. Procesos similares ocurren en otros tipos de aleaciones en las cuales se disuelven los elementos aluminio, hierro, cobalto, cromo, etc.

Las ilustraciones siguientes (fig. 1 y fig. 2) muestran la corrosión por oxígeno y la corrosión ácida. Ellas difieren básicamente en el tipo de agente oxidante y éste a su vez de la reacción en áreas catódicas. En la corrosión por oxígeno, éste se reduce generalmente a iones OH disolviéndose a su vez los de Fe.

Además de estas dos reacciones, resulta el  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , el cual es oxidado en una reacción posterior a hidróxido de hierro trivalente el cual se denomina herrumbre. En la corrosión ácida, los iones hidroxilo son descargados a



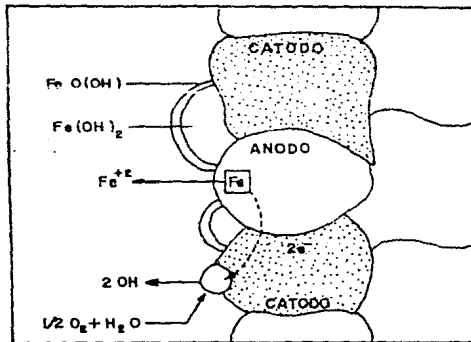
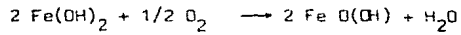
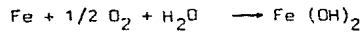
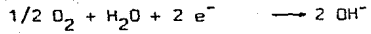
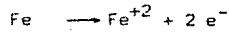


Figura 1.- Corrosión por Oxígeno

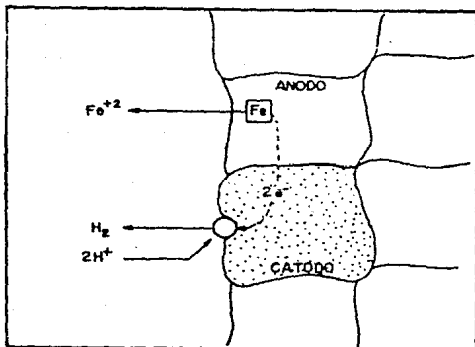
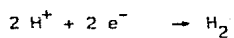
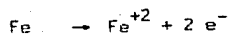
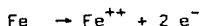


Figura 2. Corrosión Ácida.

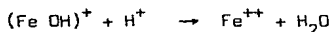
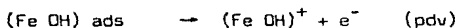
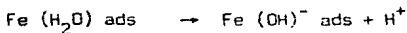
hidrógeno en las áreas catódicas.

Existen otras formas de corrosión y erosión en los diversos metales, pero de éstos, el acero al carbón es al que se ha estudiado con mayor interés por ser el más utilizado (aproximadamente un 80% del consumo mundial global), para comprender el porqué de su erosión y cómo protegerlo, (miles de millones de pesos se pierden al año en construcción de aleaciones de hierro que sufren corrosión en todas partes del mundo).

Hay muchas maneras de representar los diversos tipos de corrosión y un ejemplo es la del hierro que por la acción del medio ambiente se convierte en óxido de hierro. Así, un pedazo de metal que se sumerge en un recipiente que contenga agua, se llega a oxidar. La reacción se representa como:



La teoría electroquímica considera la participación del medio acuoso



ads:        adsorbido

pdv:        paso determinante de velocidad.

La disolución anódica del hierro en solución procede primero por una adsorción preliminar (ads) de una molécula de agua y después ocurre la reacción de transferencia del electrón. El paso determinante de velocidad (pdv) es la oxidación del complejo hidróxido de hierro absorbido (FeOH) ads. De manera que, el proceso de corrosión del hierro no es la reacción simple ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2e$ ) descrita como un metal que pasa a la solución en forma de ión.

Como puede verse, la corrosión de los metales es una tendencia natural e inevitable y es por ello que el trabajo del ingeniero en corrosión consiste en controlar al menor costo sus efectos destructivos.

El efecto de los pigmentos anticorrosivos y los inhibidores está basado en la actividad electroquímica y en la capacidad de reacción físico-química de la superficie metálica.

Los diferentes mecanismos de protección a la corrosión se pueden clasificar como electroquímico, químico y físico.

Mecanismo	Resultados
- Electroquímico	- Formación de altos potenciales estándar. Por medio de dispositivos externos impartiendo así potenciales eléctricos muy negativos.
- Químico	- Formación de capas protectoras sobre la superficie metálica. - Formación de jabones metálicos a partir de

óxidos o hidróxidos metálicos con los ácidos grasos de la resina. Estos jabones reducen la permeabilidad de la película.

- Físico
- Neutralización de sustancias agresivas.
- Influencia positiva de los recubrimientos en cuanto a flexibilidad, adherencia, abrasión y permeabilidad.

CAPITULO III

## MÉTODOS PARA COMBATIR LA CORROSION

Existen varios métodos para combatir la corrosión, siendo indispensable hacer un análisis racional para encontrar el más apropiado y económico en cada caso. Tanto para un problema existente como para un proyecto, conociéndose los agentes que concurren en él, se puede conocer y cuantificar la naturaleza del ataque corrosivo con lo cual se podrá definir el o los métodos de protección idóneos.

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas que le son características y ciertas áreas específicas donde su uso es más económico. Puesto que una planta industrial está compuesta por muchas áreas con problemas de corrosión diferentes, ningún método puede emplearse como una panacea. Cada caso debe estudiarse individualmente y tomarse una decisión de acuerdo a los paros programados, a la posibilidad de la obsolescencia del equipo, temperatura de operación, la apariencia, el ambiente, etc. Para cada problema de corrosión, es necesario balancear estos factores y seleccionar el mejor método de control que proporcione los medios más económicos para la protección.

Generalmente, con cualesquiera de los métodos citados a continuación se obtiene una protección bastante eficaz pero en caso necesario deberán utilizarse combinados. Además, la selección del método de protección debe hacerse en la etapa de diseño de una planta, de tal manera que es importante que el ingeniero en corrosión sea consultado durante este período.

Los principales métodos son:

- Eliminación de agentes corrosivos.
- Adición de inhibidores.
- Eliminación de áreas donde puedan acumularse sustancias que favorezcan la corrosión.
- Materiales resistentes a la corrosión.
- Protección catódica.
- Aislamiento entre medio y superficie por proteger.

### 3.1 Eliminación de agentes corrosivos.

En algunos casos se obtienen sustancias corrosivas como productos de un proceso que, con alguna variación en el mismo, como temperatura, presión, humedad, cambio de combustible, etc., se pueden eliminar sin necesidad de modificar básicamente dicho proceso. Por ejemplo, en el caso de la combustión de gases contaminados con ácido sulfhídrico que al contacto con las partes frías del equipo existe el riesgo de corrosión; al eliminar el ácido sulfhídrico por algún medio, desaparece dicho riesgo.

### 3.2 Adición de inhibidores.

Existen algunas sustancias que reducen o eliminan la acción corrosiva de algunos agentes. Para esto, basta determinar el tipo de inhibidores y la dosis adecuada, ya que existe una gran variedad de ellos. Como ejemplo se pueden citar los desecadores de silicio en radios de transistores, el nitrito de sodio en las pinturas de látex que actúa como inhibidor en la corrosión del fierro y



el bicarbonato de sodio para el latón y el cobre.

3.3 Eliminación de áreas donde puedan acumularse sustancias que favorezcan la corrosión.

La acumulación de polvo, gases, suciedad, etc., en algunos lugares, representan zonas expuestas a la corrosión que, generalmente rigen los costos de mantenimiento y determinan la vida útil de un equipo. Con un poco de cuidado al llevar a cabo los diseños del mismo, sin aumentar notablemente el costo inicial, pueden prevenir a tiempo daños muy costosos. Un ejemplo es: evitar cierto tipo de ángulos cerrados en estructuras en que el agua de lluvia pueda acumularse en su interior.

3.4 Materiales resistentes a la corrosión.

Al emplear materiales resistentes a la corrosión, tales como acero inoxidable, aluminio u otros, solamente el sacrificio de las propiedades físicas como resistencia, fatiga de trabajo, etc., y el factor económico determinarán el material más conveniente.

3.5 Protección catódica.

La corrosión en metales es un fenómeno electroquímico en el cual las áreas aniónicas en contacto con el electrolito se corroen y las catiónicas permanecen intactas. Esto equivale a una pila galvánica, lo cual se puede compensar con otra pila para invertir el sentido del flujo. Si se alteran con dispositivos externos

las características eléctricas del objeto que se desea proteger impartiendo potenciales eléctricos muy negativos que impidan el desprendimiento de iones positivos, las áreas que eran anódicas invierten la corriente iónica y se vuelven catiónicas recibiendo los iones positivos del electrolito sin perder más partículas de metal.

Por supuesto que este procedimiento aparentemente sencillo, requiere ciertas características tanto del objeto por proteger como del medio en que se encuentra. El objeto debe tener una continuidad eléctrica y sin áreas aisladas. En caso de que suceda lo contrario, es conveniente conectarlas eléctricamente. Lo mismo acontece con el electrolito: no se podrá proteger catódicamente una estructura si tan solo se encuentra salpicada por él, siendo necesario que esté sumergida totalmente. Cuando ésta se halla sumergida en tramos, la protección catódica se debe hacer en cada uno de ellos. El suelo puede ser un gran electrolito si contiene la humedad suficiente para que se tenga una continuidad eléctrica. Para alterar la corriente del flujo, en algunos casos se debe contar con una fuente de corriente continua y en otros basta conectar eléctricamente el objeto por proteger con un metal más noble que él, debido a la diferencia de potenciales que existe entre ellos. El zinc y el magnesio son los más usados por razones prácticas. Los cascos de los barcos son protegidos con este sistema desde hace muchos años.

La protección catódica es complicada y antes de instalarse es indispensable hacer un estudio minucioso para cuantificar los potenciales y densidades de corriente por unidad de superficie. Hay que prevenir, inclusive, los daños que se puedan causar a estructuras próximas no protegidas. En otras palabras, se necesita la colaboración de un verdadero experto en electroquímica para este tipo de protección. Este método se utiliza mucho para combatir la corrosión microbiana, aunque las pinturas también son un medio eficaz que pueden resistir el ataque de los micro-organismos.

Cuando la protección catódica se usa en combinación con la pintura, se corre el peligro de que ésta pierda fácilmente su adhesión o se amolle. Esto se puede evitar si se tiene un potencial constante y además, suministrando la mínima cantidad posible de corriente para evitar la corrosión y la máxima que resista la pintura. También se deberán utilizar pinturas resistentes a los álcalis, ya que la estructura es un cátodo y por lo tanto produce una condición alcalina.

### 3.6 Aislamiento entre medio ambiente y superficie por proteger.

En algunos metales este aislamiento se produce por medios naturales, como por ejemplo en el plomo, zinc, aluminio, cobre, etc; que forman óxidos en su superficie, en unos casos rápidamente y en otros lentamente, según la tendencia que tenga el metal a oxidarse y dependiendo también de las condiciones del medio. En el caso del aluminio al formarse su hidróxido, se oxida rápida-

mente y se adhiere a la superficie inhibiendo la corrosión.

Se puede obtener el aislamiento de un metal cuyo óxido no sea impermeable a los agentes productores de la corrosión, al recubrirlo con otro metal en el que su óxido sí lo sea. Un ejemplo es la lámina galvanizada en donde el hierro se recubre con zinc, ya que su óxido es impermeable a la humedad y al oxígeno no permitiéndoles llegar a la superficie del hierro e iniciar la corrosión.

En cambio, en el hierro desnudo, su hidróxido, que es un paso de la oxidación de él, se oxida fácilmente y empieza a deslizarse formando un producto esponjoso que en lugar de inhibir la corrosión hace las veces de almacén para el agua y el oxígeno, incrementándola así debido al volumen tan grande de sus cavidades. Algunas veces el óxido de hierro es algo impermeable al oxígeno y a la humedad, pero este tipo de óxido no se forma a temperatura ambiente. Esta es la capa de escoria llamada también "escoria de taller" que se forma cuando el hierro sale del horno y que permanece fuertemente adherida a la superficie. Esta es la razón por la cual las piezas del hierro fundido no se oxidan tan fácilmente, aunque esta capa es muy frágil y por cualquier fractura puede comenzar la corrosión.

Existen también otras sustancias que pueden aislar al sustrato del medio ambiente tales como el cromado, niquelado, pavonado,

etc., que son aplicadas por galvano-plastia.

Por último, existen otros medios para aislar las superficies susceptibles de corroerse, y éstos son las capas orgánicas impermeables o semi-impermeables a la humedad. Uno de los más conocidos y que más versatilidad ofrece, es la pintura, ya que puede encontrarse casi siempre con todas las cualidades necesarias.

### 3.7

#### Pinturas.

Se conoce con el nombre de pintura a la película adherida a una superficie la cual se conoce como sustrato, y tiene como funciones principales: aislar el sustrato del medio y decorarlo.

La pintura es una mezcla de varias sustancias, puede contener desde dos hasta veinte componentes, cada uno de los cuales le infiere ciertas propiedades específicas. Algunos de estos componentes pueden tener efectos muy significativos aún cuando sean usados en proporciones menores al 0.1%, en cambio en algunos otros su variación en un rango más amplio no causa efecto alguno.

Básicamente la pintura contiene 3 componentes principales y varios aditivos que proporcionan características tales como fluidaz, tixotropía, secado, nivelación, etc. Estos componentes son:

- Formadores de películas
- Pigmentos
- Solventes

La proporción de éstos, varía de acuerdo con el tipo de resina que sea utilizado en cada formulación y solo los dos primeros son los que forman la película, el tercero únicamente proporciona propiedades de aplicación.

### 3.7.1

#### Formadores de película.

Los formadores de película son las resinas (vehículo). Los vehículos son los que determinan las características principales en un recubrimiento. La función de la resina es formar una película homogénea la cual es responsable de la adherencia a la superficie (sustrato), resistencia a las condiciones climáticas y resistencia química y mecánica.

Antiguamente, los vehículos estaban hechos de diferentes aceites tanto vegetales como animales pero esos materiales eran de secado lento; la polimerización de esos materiales se llevaba a cabo en presencia de oxígeno atmosférico y se lograba alguna aceleración en el secado con el uso de diferentes complejos metálicos, tales materiales son conocidos como secantes. Recientemente, las pinturas basadas en este tipo de materiales están en su totalidad sustituidos por la edición de modernos polímeros sintéticos y son también por lo regular, de secado conveniente para mantener la pintura en buen estado.

En la actualidad, existen diferentes y muy variados tipos de resi-

nas de las cuales las más comunes son las: alcídicas, epóxicas vinílicas, de hule clorado, etc., y otras de uso más específico como: inorgánicas, de silicones, de cumarona - indeno, etc.

### 3.7.2 Pigmentos.

Un pigmento puede definirse como un sólido pulverizado, que es insoluble o sustancialmente insoluble en el vehículo en que se incorpore. Imparte color por absorción selectiva de la luz visible y afecta la opacidad del medio en que se dispersa, por su contribución a la dispersión de la luz. Al mismo tiempo, altera las propiedades reológicas o de flujo del sistema que se pigmente, así como su durabilidad. Una función importante del pigmento es la de decorar u oscurecer la superficie a la cual va a ser aplicada la pintura. Una segunda función es la de proteger la superficie del deterioro del tiempo y los elementos, siendo un caso raro cuando la durabilidad de un vehículo orgánico no es aumentada por la adición de un pigmento.

Entre otras razones para la incorporación de pigmentos en una pintura se pueden mencionar las de dar consistencia y textura, controlar el grado de penetración del vehículo en el sustrato y dar un espesor de película adecuado (utilizando pigmentos seleccionados para este fin).

### 3.7.3

#### Solventes.

Las principales funciones de los solventes son: disolver las resinas, proveer el medio de dispersión de los pigmentos y proporcionar las características adecuadas para una buena aplicación.

Aunque no permanecen en la película una vez que ha secado ésta, son necesarios para el proceso de aplicación, que incluye entre otras cosas: consistencia, tiempo de secado y fluidez; esto se debe a que los solventes son los que principalmente varían la viscosidad, las propiedades reológicas y la velocidad de secado. También influyen en el grado de solubilidad de las resinas con lo cual afectan, además de la viscosidad, el brillo, la dispersión de los pigmentos y las propiedades fundamentales del secado de la película, como son: flexibilidad, dureza y durabilidad.

Como los solventes son básicamente un material no recuperable, su costo es muy importante, por lo que una pintura para conseguir las propiedades deseadas a un precio competitivo, usa más de un solvente, y en algunos casos llega a hacer uso de mezclas de hasta media docena de solventes. Todo esto hace que la industria de las pinturas sea el consumidor más grande de solventes industriales.

Los solventes se pueden clasificar por su composición química, procedencia, características generales o por sus propiedades físicas. La clasificación más generalizada es la de su composición



química y comprende seis grupos: terpenos, hidrocarburos, oxigenados, furanos, nitroparafinas y clorados.

Entre estos grupos se encuentran en particular los siguientes: la trementina, dipenteno, gas nafta, acetato de etilo, acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona, "cellosolve" ( $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{O CH}_2 \text{CH}_2 \text{OH}$ ), butanol, isopropanol, etc.

Las propiedades que deben tenerse en cuenta para la adecuada selección de los solventes son:

- 3.7.3.1 Poder de disolución. Este es la capacidad que tiene cada solvente para disolver una resina, por esta razón es la propiedad más importante de los solventes.
- 3.7.3.2 Velocidad de evaporación. La volatilidad de un solvente es una de las principales características ya que es la que gobierna la velocidad de evaporación, y con ésto, en la mayoría de los casos, el tiempo de secado de una pintura.
- 3.7.3.3 O l o r. Como los solventes se evaporan una vez aplicados, contaminan el aire a su alrededor. Estos olores pueden ser desagradables especialmente cuando las pinturas se aplican en interiores y con una ventilación deficiente. Existe la tendencia a utilizar solventes inodoros en pinturas para interiores o para conservación.

3.7.3.4 Toxicidad. La toxicidad de los vapores emitidos por los solventes es de mucha importancia, ya que pueden causar una enfermedad o una fuerte indisposición a la gente que trabaja con ellos. Debido a ésto, algunos disolventes que podrían ser útiles, no se emplean en recubrimientos.

3.7.3.5 Punto de inflamación. Los valores del punto de inflamación indican las temperaturas atmosféricas a las cuales los vapores entran en ignición con chispas estáticas, por la acción de llamas, chispas producidas por golpes de herramientas, zapatos o equipo eléctrico. Todos los solventes, excepto los clorados, son inflamables.

CAPITULO IV

## RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

En términos generales, un recubrimiento anticorrosivo puede definirse como una dispersión relativamente estable de uno o más pigmentos finamente divididos en una solución perfectamente probada, tal que al ser aplicada y estar seca la película resultante representa una buena barrera flexible, adherente y con máxima eficiencia de protección contra la corrosión.

La eficiencia de protección contra la corrosión y el buen comportamiento de un recubrimiento dependen, además de su buena calidad, de otros factores igualmente importantes tales como: la preparación de la superficie donde será aplicado, la técnica de aplicación y de una adecuada selección del sistema de recubrimiento que va a ser aplicado en base a la naturaleza del medio corrosivo.

A la fecha han sido desarrollados una gran diversidad de recubrimientos cuya formulación o composición obedece a la resolución de un problema específico. Enunciar todos y cada uno de los recubrimientos existentes resulta además de muy difícil, impráctico, por lo que se resumirá en la siguiente clasificación.

### 4.1 Tipo de función que va a desempeñar el recubrimiento una vez aplicado.

4.1.1 Recubrimientos anticorrosivos. Cuya finalidad es la de proteger un sustrato de un medio corrosivo por aislamiento. Estos recubri-

mientos, con fines de formulación, requieren del uso de resinas y pigmentos altamente resistentes que permitan una gran eficiencia contra los agentes corrosivos.

4.1.2 Pinturas arquitectónicas. Se utilizan esencialmente con fines decorativos para embellecer y proteger superficies interiores y exteriores, pisos, albercas, etc.

4.1.3 Pinturas para señalamiento.  
Como su nombre lo indica se usan en los señalamientos preventivos, de prohibición, etc.

4.2 Procedimiento que requiere el recubrimiento para alcanzar sus propiedades o características de operación o comportamiento.

4.2.1 Recubrimientos de un componente de secado al aire. La primera etapa de este proceso considera una eliminación de solventes por evaporación a temperatura ambiente y posteriormente, por una interacción con el aire, las moléculas de la resina o agente aglutinante se unen o polimerizan en forma entrelazada dando lugar a películas relativamente continuas de resina-pigmento. Ejemplos de este tipo son los recubrimientos alcídicos, vinílicos y acrílicos.

4.2.2 Recubrimientos de dos componentes de secado al aire.  
En este tipo, la primera etapa es nuevamente una eliminación de

solventes a temperatura ambiente desarrollándose simultáneamente una reacción de enlazamiento tridimensional entre las resinas de cada uno de los componentes, uno de los cuales se denomina agente curante. El tiempo requerido para que se lleve a cabo la reacción de polimerización o curado es del orden de 3 a 7 días, dependiendo de las condiciones a las que estarán expuestos; este tiempo es superior a la etapa de eliminación de solventes, por lo cual el recubrimiento no debe ponerse en operación, exponerse a medios corrosivos fuertes o inmersión antes de tiempo. Los recubrimientos epóxicos, poliuretanos y fenólicos entre otros, secan y curan de esta forma.

#### 4.2.3 Recubrimientos cuyo curado es a altas temperaturas.

En este caso, la primera etapa considera la eliminación de solventes a temperatura ambiente y ante la incapacidad de la resina para reaccionar con el aire a bajas temperaturas, es necesario exponer los recubrimientos a temperaturas superiores a los 100°C lográndose en esa forma el entrelazamiento o curado requerido para alcanzar las características adecuadas de operación o protección como los recubrimientos a base de poliéster.

#### 4.3 Tipo de resina o agente aglutinante formador de película usado en la formulación de los mismos.

A continuación se detalla una clasificación de los recubrimientos de este tipo.

- Alcídicos
- Inorgánicos de zinc
- Orgánicos de zinc
- Fenólicos
- Fenólicos horneados
- Antivegetativos
- Epóxicos
- Vinílicos
- Hule clorado
- Furanos
- Poliuretanos
- Acrílicos
- Silicón
- Epoxi-alquitrán de hulla
- Vinil-acrílicos
- Vinil-epóxicos
- Base aceite
- Otros

#### 4.3.1

##### Recubrimientos alcídicos.

Son muy económicos, y en los últimos 30 años se han convertido en el "caballito de batalla" de los recubrimientos para conservación o mantenimiento industrial en condiciones de exposición normales ya que su durabilidad es buena en exposiciones de intemperismo normal. Tienen buena retención de brillo, resistencia a medios ambientes secos o húmedos sin salinidad o gases corrosivos, presen-

tan gran adherencia y poder humectante, secan por evaporación de solventes e interacción con el aire.

Sus limitaciones son su baja resistencia a solventes fuertes como los aromáticos (benceno, xileno, etc.), cetonas (acetona, metil etil cetona, etc.), éteres, alcoholes, ésteres y solventes clorados, aún cuando presentan regular resistencia a los solventes alifáticos. No son recomendables para servicio de inmersión continua, su resistencia química es pobre y especialmente mala en condiciones alcalinas ante las cuales se saponifica y destruye.

#### 4.3.2 Inorgánicos de zinc.

Estos recubrimientos han sido de los más usados en la protección del acero. Tienen una excelente resistencia a los solventes y a la intemperie en lo que superan a cualquier recubrimiento anticorrosivo. No contienen materia orgánica y pueden ser empleados en inmersión de cualquier solvente, incluyendo materiales clorados. La vida media de estos recubrimientos en servicio de intemperismo severo no se ha establecido, pero existen aplicaciones hechas hace más de 20 años que aún proporcionan protección completa a la superficie del acero. Las principales desventajas de los silicatos inorgánicos de zinc son su resistencia química limitada y sus propiedades críticas de aplicación. Otra es que una aplicación acertada requiere una preparación de superficie minuciosa con chorro de arena a metal blanco. Puesto que las películas contienen zinc,



estos recubrimientos no son adecuados para exposición a ácidos o álcalis fuertes.

Las propiedades más relevantes de los inorgánicos de zinc son:

- Excelente resistencia a los productos del petróleo y a solventes químicos.
- Excelente resistencia a condiciones de exposición en intemperismo severo.
- No son susceptibles a corrosión bajo película aún después de 10 años de exposición.

Es interesante hacer notar que la dureza y resistencia a la abrasión de las películas de inorgánico de zinc aumentan con el tiempo, indudablemente como resultado de su contacto con el dióxido de carbono atmosférico.

Se han empleado películas de inorgánico de zinc formuladas adecuadamente en servicios de inmersión en agua fresca durante periodos que exceden a los 8 años sin mostrar signos de falla del recubrimiento.

#### 4.3.3

Orgánicos de zinc.

Algunos recubrimientos ricos en zinc son hechos combinando polvo de zinc con una resina orgánica o elastómero. Típicamente estas resinas son: epóxicas, de hule clorado, vinílicas, acrílicas, epoxi-ésteres, fenólicas y silicones orgánicos. No hay reacción química

entre el polvo de zinc y la resina; las cargas normales de pigmento de zinc alcanzan un 95% en peso o hasta 70% en volumen. Los primarios orgánicos ricos en zinc han sido usados en forma acertada pero los ligantes orgánicos pueden envolver a las partículas de zinc de tal manera que limitan la cantidad de protección galvánica a la cantidad de zinc libre en la formulación.

#### 4.3.4

##### Fenólicos.

Son recubrimientos duros, brillantes y muy adherentes; en términos generales su resistencia a los solventes, medios ácidos y alcalinos es de buena a excelente por lo que se recomiendan para inmersión continua. También es excelente para la inmersión en petróleo crudo hasta temperaturas de 50°C. Su eficiencia de protección contra la corrosión es superior a la de los epóxicos. En síntesis estos productos son los más recomendados para la mayoría de los ambientes corrosivos pero su costo es elevado debido a que su formulación incluye materias primas de importación que por el momento no es posible sustituir con la tecnología existente en México.

#### 4.3.5

##### Fenólicos horneados.

Sin excepción, los recubrimientos fenólicos horneados exhiben una excelente resistencia a los ambientes ácidos y al agua. Muchos materiales de este tipo también muestran excelente resistencia a los solventes fuertes. Como grupo en sí, estos materiales son muy débiles en ambientes alcalinos. Mientras que su costo de

producción es bajo, su costo de aplicación es alto puesto que requieren de una preparación de superficie excepcional así como de un horneado a altas temperaturas. Estos productos son difíciles de reparar en el campo.

#### 4.3.6

##### Antivegetativos.

Son recubrimientos desarrollados para prevenir el crecimiento de organismos marinos en superficies sumergidas por largos periodos. En su formulación intervienen resinas vinílicas, brea y óxido cuproso o tóxicos organometálicos que permiten esta acción de inhibición. Requieren de una formulación muy cuidadosa a fin de que los tóxicos cuproso u organometálicos abandonen el reclutamiento paulatinamente en cantidad suficiente para inhibir el crecimiento de organismos marinos.

Deben tener características muy especiales y entre ellas se requiere una buena adhesión de la pintura a la superficie (por ejemplo en el caso de una embarcación) y al mismo tiempo una cohesión relativamente baja de la película en sí, con el objeto de que los organismos marinos muertos, en contacto con el óxido cuproso, puedan desprenderse de la superficie y no quedarse adheridos a ella.

La brea seca o colofonia hace que la película sea más soluble en el agua de mar y por lo tanto, aumenta su efectividad tóxica.

El empleo de este tipo de recubrimientos es muy delicado y deberán tomarse grandes medidas de seguridad en el momento de su aplicación a fin de evitar problemas de envenenamientos.

#### 4.3.7

##### Epóxicos.

Estos son productos de dos componentes envasados por separado. Uno de estos componentes es la resina epóxica y el otro es el agente curante, por lo que generalmente se les conoce como epóxicos catalizados; los componentes se mezclan perfectamente hasta el momento de su aplicación.

El agente curante está constituido por una solución de resinas amínicas o poliamídicas, lo que significa que los productos pueden diferir grandemente entre sí; sin embargo, sus propiedades características caen dentro de un área general. Las películas finales tienen buenas propiedades tales como: resistencia al calor, a la humedad, excepcional resistencia a los medios ácidos y alcalinos, a los solventes (hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, etc.), a la intemperie y a la abrasión. Presentan un alto grado de impermeabilidad permaneciendo inalterables ante la exposición e inmersión en agua dulce, salada y vapor de agua.

En general, el nivel de adherencia, dureza, flexibilidad y resistencia a los medios corrosivos de los recubrimientos epóxicos no es superado por ningún otro tipo de los existentes. Pueden

aplicarse sobre superficies de concreto, metálicas, galvanizadas o sobre inorgánico de zinc.

La principal limitación de estos productos considera la degradación superficial conocida como caleo sin mayores inconvenientes a sus propiedades de película, así como su alto costo relativo; además, a largo plazo tiende a fragilizarse. Resisten muy poco a los ácidos oxidantes y a los ácidos orgánicos concentrados. El contacto prolongado con cetonas o solventes clorados reblandecen las películas de estos recubrimientos.

#### 4.3.8

##### Vinílicos.

Estos productos están hechos a base de resinas que son copolímeros de cloruro y acetato de vinilo. Para un tipo de recubrimiento se disuelven copolímeros con un 87% de cloruro de vinilo y 13% de acetato de vinilo aproximadamente en solventes muy enérgicos del tipo cetona apoyados por hidrocarburos aromáticos y se pigmentan y modifican con plastificantes adecuados. No son tóxicos y son muy durables. Superan a los recubrimientos alclídicos en conservación del brillo y en duración. Son muy resistentes a la abrasión y resisten la inmersión continua en agua dulce o salada, soluciones diluídas de la mayor parte de los ácidos orgánicos e inorgánicos, incluyendo el ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido cítrico, etc. No son afectados por derivados del petróleo tales como gasolina, diesel,

petróleo crudo, etc. A temperatura normal resisten soluciones de hidróxido de sodio hasta el 40%, carbonato de sodio, hidróxido de calcio e hidróxido de amonio hasta el 10%.

Los recubrimientos vinílicos proporcionan una superficie que va desde mate (sin brillo) hasta semi-brillante con una alta resistencia a la intemperie aún en condiciones altamente húmedas y corrosivas. Como su resistencia al agua es excelente, pueden usarse para servicio de inmersión continua en la misma.

Entre sus limitaciones principales están su baja resistencia a solventes del tipo éter y cetona, a la inmersión prolongada en alcoholes, ésteres, hidrocarburos clorados y solventes con más de 30% de aromáticos. Con el paso del tiempo, los recubrimientos son afectados por los rayos del sol presentando un caleo superficial. Las resinas vinílicas son también termoplásticas y se descomponen a temperaturas elevadas por lo que se recomienda que la temperatura de exposición de este tipo de recubrimientos sea menos de 65°C para servicio permanente.

Los recubrimientos considerados aquí son vinílicos base solvente.

Las pinturas llamadas vinílicas son emulsiones vinílicas base acuosa que cumplen solamente funciones decorativas.

La película de los recubrimientos vinílicos seca por evaporación de solventes. Su secado es muy rápido por lo que se recomienda aplicarlos por aspersión.

#### 4.3.9

De hule clorado.

Los recubrimientos de este tipo tienen como base resinas que se obtienen por cloración del hule natural. Las resinas de este tipo constituyen un polvo fino de color blanco que al ser disuelto en solventes adecuados, generalmente de tipo aromático, proporcionan una película muy inerte, transparente y resistente a las bacterias. El uso de resinas de hule clorado está dedicado en un 75% a la industria de pinturas, y entre sus aplicaciones se puede mencionar su uso para pinturas de tráfico, de mantenimiento industrial, medios marinos, instalaciones costeras, etc.

Hay dos tipos de recubrimientos con base en resinas de hule clorado. Uno de ellos está constituido por una solución de resina de hule clorado modificada con plastificantes clorados y el otro es una mezcla de hule clorado con resinas alcídicas u otros plastificantes saponificables (esto los hace mucho menos sensibles a la contaminación entre capas que los recubrimientos vinílicos).

Estos recubrimientos no deberán ser usados en ambientes altamente corrosivos tales como el interior de tanques para almacenamiento de ácidos. La razón es que aunque el recubrimiento es resistente

a los agentes químicos puede ocurrir un ataque inmediato bajo película en alguna discontinuidad de la película del mismo. No se recomiendan para contacto directo con álcalis y ácidos, sólo para lugares donde hay derrames ocasionales. Como secan por evaporación, no son resistentes a la mayoría de los solventes. Se ablandan y plastifican con aceites y grasas vegetales y animales. Resisten temperaturas hasta 60 - 70° C. Tienen la ventaja de brindar un fácil mantenimiento ya que las superficies pueden ser repintadas con el tiempo sin problemas debido a que el solvente penetra a la capa vieja ablandando la película, permitiendo que se adhiera la otra. Este proceso es más difícil en cualquier otro recubrimiento. Los recubrimientos de hule clorado tienen la tendencia a calearse, especialmente en climas tropicales. Debido a la rapidez de su secado se recomienda aplicarlos por aspersión.

#### 4.3.10

##### Furanos.

Estos recubrimientos se encuentran entre los más versátiles y de película orgánica más resistente descubiertos a la fecha, pero debido a problemas en la aplicación, no han sido aceptados ampliamente en la industria. Las resinas son mezcladas con un ácido fuerte como catalizador que hace imposible aplicarlas directamente a las superficies de acero y limita su adherencia sobre cualquier recubrimiento primario. Una vez que ha curado, la película se vuelve extremadamente dura y es virtualmente imposible darle mantenimiento.



#### 4.3.11 Poliuretano.

Estos recubrimientos se ofrecen en una variedad amplia de formulaciones que varían desde barnices para superficies de madera hasta materiales multicomponentes para servicio industrial. Poseen muchas cualidades deseables que pueden ser aprovechables para mejorar las características de la protección anticorrosiva.

En el pasado, el uso de estos materiales fue muy limitado debido a la alta toxicidad de uno de sus componentes (los isocianatos) pero gracias a que en los últimos años se han podido obtener isocianatos que no representan ningún peligro y a que en general la industria de recubrimientos se está familiarizando con el uso de productos de dos componentes, estos materiales están despertando un gran interés.

Las resinas usadas para la fabricación de este tipo de recubrimientos son por lo general poliésteres saturados de bajo índice de acidez que endurecen por la adición de un isocianato en una proporción de mezcla adecuada a las características finales que se desean.

Los poliuretanos pueden ser aplicados por cualesquiera de los métodos usados normalmente para aplicar recubrimientos: brocha, rodillo, aspersión, inmersión, etc. Secan y curan a temperatura ambiente a una velocidad que depende del tipo de resina e isocianato usados aunque las condiciones atmosféricas juegan un papel importan-

te; se estima que el secado al tacto se lleva a cabo en un período de 6 horas como máximo y el tiempo necesario para curar totalmente a temperatura ambiente es por lo general de 7 días. Hasta este punto las propiedades generales de resistencia mejoran, pero después, la curva resistencia-tiempo desciende y ya no se puede obtener ningún mejoramiento. Por lo tanto, se recomienda dejar secar los acabados durante 7 días completos por lo menos antes de someterlos a la intemperie o al ataque con sustancias químicas. El curado de estos materiales puede ser acelerado con altas temperaturas siendo las más comunes 100 - 120° C lo que permite obtener un curado completo en un tiempo de 30-60 minutos.

Otra de las ventajas de los acabados de poliuretano es su adaptación en comportamiento físico a las condiciones de la superficie, como por ejemplo: dureza y elasticidad. Esto se realiza por un lado con la selección de los poliisocianatos correspondientes y por el otro, con la selección de las combinaciones adecuadas del componente que contiene los radicales hidróxilo.

Los recubrimientos de poliuretano poseen en general propiedades de resistencia excelentes a una amplia gama de productos químicos, solventes, soluciones salinas, aceites vegetales y minerales. También resisten el ozono y poseen buenas características de resistencia a la abrasión y a temperaturas elevadas hasta de 175°C. Sus propiedades de retención del color al ser expuestas a la luz

solar o a la luz ultravioleta son inferiores en comparación con muchos otros recubrimientos.

#### 4.3.12 Acrílicos.

Son productos que secan por simple evaporación de solventes. Poseen una muy buena retención del brillo y resistencia al caleo, no se recomiendan para exposiciones en atmósferas industriales donde haya salpicaduras y derrames de productos industriales como ácidos y álcalis, agentes oxidantes y solventes. Tienen buena resistencia a la abrasión y dureza pero limitada estabilidad al calor. Estos productos pueden usarse sin problema en ambientes húmedos y lluviosos.

#### 4.3.13 De Silicón.

Los recubrimientos de silicón tienen una gran resistencia al calor, al agua, electricidad y a las atmósferas corrosivas, además de que poseen excelente durabilidad. Este tipo de recubrimientos es muy especial y su utilización está reservada para aplicaciones donde se requiere una alta estabilidad térmica (540°C de temperatura continua y 640°C de temperatura intermitente) de tal manera que la película de recubrimiento resultante es muy resistente a la intemperie.

Las resinas de silicón han sido desarrolladas debido al interés en encontrar productos intermedios en propiedades mecánicas y resis-

tencia al calor entre el vidrio y las resinas orgánicas. Debido a su fácil incorporación y características inertes son de gran aplicación en la tecnología actual de los recubrimientos.

La práctica general incluye ya sea el norneado o el calentamiento gradual de las superficies protegidas con estos productos ya que cuando secan al aire, resultan películas de recubrimiento muy suaves, y no curan. Con respecto a este efecto, las resinas de silicón curan en un tiempo mínimo de 60 minutos a 250°C para lograr sus propiedades óptimas. Responden también a la catálisis con lo cual el tiempo de curado puede ser reducido a 30-60 minutos a 200°C. Los catalizadores más comúnmente usados son en realidad secantes metálicos del tipo naftenato, octoato y nuxtra de metales tales como zinc, fierro, cobalto, plomo, estaño, calcio, manganeso y cobalto.

La mayoría de las resinas silicón son suministradas como soluciones en solventes de hidrocarburos aromáticos. Los solventes alifáticos y los alcoholes pueden también ser usados mientras que las cetonas y ésteres no son recomendados por su carácter altamente oxidante. La resistencia al calor es directamente proporcional a la cantidad de resina silicón.

Los silicónes acrílicos tienen un alto brillo y amplia protección contra ampollamiento y descrapelamiento de la película de recu-

brimiento. Pigmentados, estos productos duran de 10 a 15 años. Como acabados claros son mucho menos durables pero muestran mejores propiedades de película que los barnices alquidáticos o que las resinas fenólicas. Como recubrimiento claro, quedaría en segunda posición en durabilidad con respecto a los fluorocarbonos.

#### 4.3.14

##### Epoxi-alquitrán de hulla.

Como su nombre lo indica, los recubrimientos epoxi-alquitrán de hulla son mezclas de alquitrán de hulla y resinas epóxicas de bajo peso molecular. En términos más simples, son una combinación de resinas termoplásticas y resinas termoestables. Las formulaciones comunes contienen hasta un 35% de resina epóxica.

Son recubrimientos que han sido desarrollados específicamente para resolver los problemas de deterioramiento prematuro del acero por inmersión continua en agua salada por un largo tiempo y en el cual se combina la alta resistencia y características de un recubrimiento epóxico con la alta impermeabilidad del alquitrán de hulla; se recomienda también para inmersiones continuas en petróleo crudo. El producto no resiste el contacto continuo con solventes y cuando se expone por mucho tiempo a la acción de los rayos del sol tiende a cuartear y calentarse por influencia del alquitrán de hulla. A pesar de que estos recubrimientos nunca son recomendados para servicio de inmersión en álcalis fuertes, muestran buena resistencia a derrames de caústicos débiles. Al

igual que los recubrimientos epóxicos, existen dos tipos de estos; uno de ellos catalizado con aminas y el otro catalizado con poliamidas.

#### 4.3.15 Vinil-acrílicos.

En este tipo de recubrimientos se combina la alta resistencia mecánica y a la abrasión de los acabados vinílicos con la excepcional resistencia al intemperismo y a la acción de los rayos del sol de las resinas acrílicas para obtener un producto con el mejor poder de retención de brillo y color de todos los recubrimientos desarrollados hasta la fecha, por lo que, además de ser resistentes a medios salinos, ácidos y alcalinos dando lugar a una alta eficiencia de protección contra la corrosión, presenta magníficas características decorativas. La presencia de la resina acrílica disminuye la resistencia a los solventes de tipo aromático, cetonas, ésteres y alifáticos por lo que no se recomiendan para inmersión continua en los mismos.

#### 4.3.16 Vinil-epóxicos.

Estos recubrimientos cuando son formulados adecuadamente empleando pigmentos inhibidores e inertes apropiados dispersados en un vehículo vinílico con modificación de resina epoxi, tienen una excelente adherencia, una gran compatibilidad con diversos recubrimientos, excelente capacidad para detener la corrosión bajo película; son resistentes a los ambientes húmedos con o sin salini-

dad, a los gases derivados del azufre y a la inmersión en agua potable.

#### 4.3.17 Base aceite.

Las pinturas base aceite no son satisfactorias en muchos medio ambientes químicos industriales. Algunas de las razones son: .

- Secado lento. Pueden depositarse polvos y otros materiales entre las capas de recubrimiento debido a que cada una tarda 24 horas o más en secar antes de que se pueda aplicar una capa de recubrimiento sobre la primera. Esto aprisionamiento de químicos entre capas provoca que la pintura se deteriore rápidamente y permite el ataque químico sobre el acero a través de capas de primario delgadas.
- Falta de resistencia a los agentes químicos. Muchos agentes químicos destruyen los pigmentos y vehículos de pinturas base aceite, volviendo vulnerable a la superficie cubierta con éstas.
- Solubilidad del aceite. Los líquidos de limpieza ordinarios y los aceites lubricantes disuelven a las pinturas base aceite; esto hace que los equipos o estructuras cubiertos con estas pinturas carezcan de atractivo y además se destruyen las cualidades de protección de los recubrimientos.

#### 4.3.18 Otros vehículos.

La lista de recubrimientos anterior no incluye a los esmaltes alcídicos comunes, acrílicos base agua, pinturas basadas en emulsio-

nes de acetato de polivinilo y muchos acabados más considerados generalmente para ser usados como recubrimientos arquitectónicos. Estas pinturas encuentran un uso muy amplio en las industrias químicas de proceso en su construcción general y en aquellos servicios que no se localicen en medio ambientes agresivos.

Además, existen los fluorocarbonos, copolímeros de polivinilo y polivinilideno, materiales bituminosos, poli-fluoroetileno, polietileno, polisulfuros, poliésteres y nylon.



**CAPITULO V**

## RECUBRIMIENTOS ALCIDICOS

### 5.1 Generalidades.

Las resinas alcídicas constituyen el 60% de las utilizadas - - en recubrimientos anticorrosivos. Desde su introducción hace 50 años aproximadamente, las formulaciones alcídicas han sustituido en forma progresiva a los acabados de tipo oleoresinoso.

Estas resinas son usadas en una gran variedad de acabados industriales, especialmente para automóviles, equipos de cocina y aplicaciones eléctricas.

Las resinas alcídicas son esencialmente ésteres poliméricos de ácidos polibásicos y alcoholes polihídricos. La naturaleza resinosa de tales ésteres ya se conocía hace un ciento de años. Cuando el ácido ftálico pudo producirse a un precio razonable a partir de la oxidación catalítica del naftaleno, allá por los años 70's, se hizo factible la producción comercial de este tipo de compuesto. Rápidamente se descubrió que las propiedades del polímero ftalato glicérido duro y quebradizo, podían ser modificadas en forma marcada, sustituyendo los ácidos grasos monobásicos por parte del ácido polibásico dando así productos más adecuados para los recubrimientos. Entre otros, los ácidos polibásicos pueden ser: oleico, linoleico, ricinoleico, etc. Así, se pueden esterificar uno o dos hidróxilos en el glicerol (alcohol trihídrico) por medio de un ácido monobásico para dar polímeros con propiedades intermedias

entre la resina ftalato y el aceite secante mismo. La proporción de ácido polibásico y monobásico en una resina alcídica se conoce algunas veces como relación alquidal. Más comúnmente, la resina se especifica en términos del porciento de ácido polibásico como por ejemplo, porciento de anhídrido ftálico. Muchos recubrimientos alcídicos caen dentro del intervalo relación alquidal de 75 a 25, los acabados de horneado emplean altas composiciones de alquidales y las formulaciones de secado al aire emplean los valores más bajos. Los alquidales modificados con aceite pueden ser descritos también en términos de la longitud del ácido graso, como: cortos, medios y largos. Los intervalos de composición de estas clases son como sigue:

Tipo de resina	Contenido de anhídrido ftálico	Contenido de ácido graso
Cortos	38% mínimo	40% máximo
Medios	30 - 38%	41 - 52%
Largos	30% máximo	50% mínimo

Puesto que estos alquidales modificados grasos secan por condensación y auto-oxidación, son adecuados para su uso en acabados horneados y de secado al aire. Sus propiedades pueden variar ampliamente de tal manera que se pueden obtener desde películas duras y quebradizas hasta suaves y flexibles.

El tipo de resina alcídica de cadena recta y modificada con ácidos

grasos, constituye la mitad del total de alquidálicos consumidos en la industria de los recubrimientos. El balance incluye una variedad de tipos ftalato modificados con brea seca o ácidos de alquitrán y alquidales hechos a partir de otros ácidos polibásicos. De éstos, los ácidos maleico y fumárico son los más ampliamente usados y dan productos que se parecen a los ésteres ftalatos. Los ácidos succínico, adípico y sebásico son usados en cantidades más pequeñas para producir alquidales de carácter algo más flexible.

Alrededor del 90% del total de anhídrido ftálico usado en resinas alquidálicas es el que se produce por la oxidación del naftaleno. Una fuente bastante grande de este producto es el xileno que se obtiene en grandes cantidades por la reformación catalítica de la nafta. El ortoxileno previa oxidación da anhídrido ftálico y el metaxileno que es el isómero más abundante da anhídrido isoftálico.

Los ftalatos más recientemente ofrecidos a la industria de recubrimientos son los compuestos tetrahidro obtenidos por medio de la hidrogenación de ácido ftálico. Aunque son más costosos que el anhídrido ftálico, estos compuestos permiten la producción de alquidales de color más claro y de mayor solubilidad.

Volviendo nuevamente al componente polialcohólico de los poliésteres, es interesante saber que el 60% de los alquidales y ésteres

de brea seca (o colofonia), están basados en el glicerol, el 30% son ésteres de pentaeritrol y el 10% restante utiliza otros alcoholes polihídricos tales como : glicoles, sorbitol, manitol, etc. Los alquidales de pentacritrol y sorbitol son de secado más rápido y dan mayor cuerpo al recubrimiento que el correspondiente éster-glicérido debido a la mayor funcionalidad de estos alcoholes. Por esta razón, es de práctica común en la tecnología de recubrimientos usarlos en forma de ésteres mezclados con alquidales glicéridos y glicol.

Los alquidales también se hacen reaccionar con el estireno para producir dos clases de resina de gran importancia; los alquidálicos de cadena recta y los modificados con ácido graso son usados para este propósito y dan como resultado acabados de secado muy rápido y cualidades de sedimentación que encuentran aplicación como sustitutos de lacas espesas de una capa. El contenido de estireno va del 30 al 60%. Los alquidales estirenados han sido probados como excelentes plastificantes, lacas amino, vinílicas y de nitrocelulosa. En general, se puede decir que los alquidales estirenados son adecuados para acabados industriales en donde se deseen cualidades de secado rápido y de buena protección.

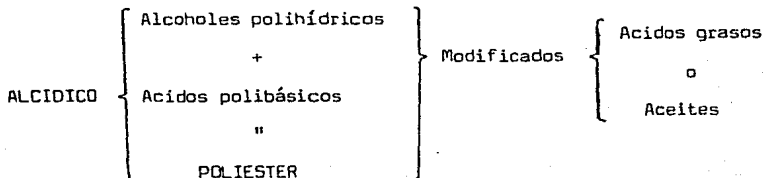
Las resinas alcídicas son modificadas rápidamente ó mezcladas con muchas otras resinas. Entre estas están las fenólicas, ureas, melaminas, ésteres de colofonia, resinas naturales, etc. La suavi-

dad de los alquidales del tipo de relación de alquidal bajo los hace particularmente adecuados para usarlos como plastificantes para nitrocelulosa, resinas vinílicas y para muchas resinas duras o quebradizas. También, como una clase, este tipo de resinas se hacen notar por su durabilidad bajo un amplio rango de condiciones de exposición. Los de tipo de secado por horneado retienen el brillo y color. Muchos alquidales son poco afectados por las grasas, muchos químicos, temperaturas moderadas e intemperismo. Como los alquidales son ésteres, son menos resistentes a los álcalis y a la exposición prolongada a la humedad. Los alquidales de pentaeritrol son superiores a los ésteres glicéridos en este aspecto y son en general más durables. Se dice que la estirenación de los alquidales mejora su resistencia química y a la humedad debido a un aumento gradual en los enlaces químicos de sus moléculas.

A continuación, se presentan algunas características más de los recubrimientos alcídicos.

#### ALCIDICOS

Resinas sintéticas modificadas con aceites extraídos de semillas de árboles o plantas.



### Alcídicos cortos y medianos

#### Ventajas

- 1) Durabilidad al exterior
- 2) Propiedades de aplicación
- 3) Adherencia a muchas superficies.
- 4) Películas de espesor moderado.
- 5) Buen brillo y retención del color.
- 6) Costo
- 7) Temperaturas bajas de aplicación.
- 8) Secado rápido y duro

#### Limitaciones Principales

- 1) Resistencia limitada a químicos- y solventes.
- 2) Resistencia regular al agua
- 3) Flexibilidad sobre maderas al exterior.
- 4) Se saponifica en:
  - Concreto
  - Galvanizado

### Alcídicos largos.

#### Ventajas

- 1) Facilidad de aplicación
- 2) Durabilidad al exterior
- 3) Cualidades de humectación y penetración.
- 4) Flexibilidad
- 5) Película de espesor moderado.

#### Limitaciones principales.

- 1) Secado lento
- 2) Película suave-baja resistencia- a la abrasión.
- 3) Regular resistencia al caleo y al decoloramiento.
- 4) Resistencia química limitada
- 5) Resistencia pobre a solventes

6) Costo

7) Temperaturas bajas de aplicación.

6) Resistencia pobre al agua

7) Se saponifica en:

- Concreto

- Galvanizado



CAPITULO VI

## PIGMENTOS

### 6.1 Clasificación.

Los pigmentos pueden dividirse en los siguientes tipos: anticorrosivos, tipo "barrera", coloridos, ampliadores o extendedores.

6.1.1 Pigmentos anticorrosivos. Su función primordial es la de prevenir la corrosión de metales, pudiendo ser ésta, de manera química o electroquímica. Entre los principales se mencionan: El minio de plomo, cromato de zinc, fosfato de zinc, zinc metálico, etc.

6.1.2 Pigmentos tipo barrera. Los más comunes son las hojuelas de aluminio y el óxido de hierro micáceo. Estos materiales se usan frecuentemente en forma conjunta, para que el aluminio "blanquee" el gris oscuro (casi negro) del óxido de hierro micáceo.

6.1.3 Pigmentos coloridos. El más común de los pigmentos coloridos es el dióxido de titanio que es el blanco universal. Otros son amarillo y naranja toluidina, amarillos azo níquel, rojos litol, rojos rubí, azul dianisidina, aminacridonas, violeta carbazol dioxazina, óxidos de hierro naturales y sintéticos, pigmentos de cadmio, verdes cromo, inorgánicos de cromo, hierro, zinc, etc.

6.1.4 Ampliadores o extendedores. Debido a los avances de la tecnología, estos pigmentos han adquirido gran importancia, siendo en la actualidad componentes imprescindibles en la formulación de un gran

número de pinturas. Se ha demostrado que los ampliadores dan cuerpo a la película lo cual es de gran importancia en la aplicación, secado y durabilidad de la pintura, aparte de rebajar el costo de la misma, pues generalmente son de bajo precio.

Otras características de estos pigmentos son: carencia de color, resistencia química y al agua, retención y uniformidad de color, estabilidad de flujo; no obstante, ningún pigmento ampliador, en forma aislada, posee todas las propiedades requeridas para una pintura. Estos pigmentos son también conocidos como "cargas". Entre estos, el más utilizado es el carbonato de calcio y le siguen el talco (silicato de magnesio), caolín (silicato de aluminio), baritas (sulfato de bario), mica (orto-silicato de aluminio y potasio).

## 6.2 Propiedades.

Las propiedades principales de los pigmentos son:

6.2.1 Color entero. Se refiere al color que se observa en un pigmento al ser dispersado en una resina, es el complementario de la longitud de onda absorbida.

6.2.2 Color reducido. Se refiere al color que se observa al reducir el tono del pigmento, cuando se mezcla con un pigmento blanco, y dispersarlo en una resina.

- 6.2.3 Poder tintorial. Está relacionado con el color reducido, se obtiene al mezclarlo con un pigmento blanco en una relación preestablecida. Es una característica importante porque a menor cantidad de poder tintorial, mayor será la cantidad de pigmento necesario para lograr el tono deseado.
- 6.2.4 Poder cubriente. Es la capacidad del pigmento para reflejar la luz, depende principalmente del tamaño de partícula y del grado de dispersión.
- 6.2.5 Forma, tamaño y distribución de las partículas. Estas tres características varían ampliamente. Hay pigmentos que tienen forma esférica, ariculares, fibrosos, micáceos, etc. El tamaño de partícula va de 0.4 a 44 micrones aunque hay otros que pueden rebasar estos límites. La distribución de las partículas puede ser en forma de aglomerados.
- 6.2.6 Facilidad de dispersión. Esta varía de acuerdo a los pigmentos y los vehículos en que se dispersen. Los procesos de dispersión no disminuyen el tamaño de partícula, lo que hacen es romper las aglomeraciones, de modo que cada partícula se humecte totalmente con el vehículo. Las fuerzas de cohesión varían desde floculados unidos hasta agregados de partículas que están casi cementados.

Existen también otras propiedades, como son: estabilidad a la luz,

resistencia a la humedad y a reactivos químicos, a agentes atmosféricos, etc., las cuales se detallan en cada uno de los pigmentos listados a continuación:

### 6.3 Principales pigmentos inhibidores.

Los principales pigmentos inhibidores de la corrosión son:

- Plomo rojo
- Plomo blanco y otros pigmentos de plomo
- Cromato de zinc o amarillo zinc
- Cromato de potasio-bario
- Óxido de hierro
- Óxido de zinc
- Polvo de zinc metálico
- Polvo de aluminio
- Pigmentos de carbón
- Otros pigmentos metálicos
- Mica
- Dióxido de titanio

#### 6.3.1 Plomo rojo (Minio)

De todos los pigmentos que se usan en primarios, el plomo rojo es el de mejor historial. Se conoce desde hace 2000 años y ha

estado en uso constante alrededor de un siglo. En todos los estudios hechos sobre pinturas, este pigmento ha ocupado la mejor posición. Esto no significa que no haya otro pigmento para primarios mejor que el plomo rojo, porque indiscutiblemente hay otros que dan mejor protección en circunstancias específicas. Sin embargo, este es el único pigmento para primarios que da buenos resultados tanto en pruebas como en la práctica. Se usan alrededor de 25,000 toneladas al año de este en recubrimientos anticorrosivos.

El plomo rojo se hace tostado litargirio ( $PbO$ ) a temperaturas entre 300 y 350°C. Dependiendo de la estructura del litargirio y de las condiciones del tostado, se forma un plomo rojo que contiene cantidades variables de  $Pb_3O_4$ . El ASTM ha estandarizado tres grados de plomo rojo (85, 95 y 97%) los cuales significan contenido mínimo de  $Pb_3O_4$ . El máximo de impurezas debe ser 1.0% y el resto es litargirio.

En la industria mexicana se obtiene generalmente minio de 3 tipos:

Composición:

25 -  $Pb_3O_4$  - 25% mínimo, resto litargirio ( $PbO$ )

85 -  $Pb_3O_4$  - 85% mínimo, resto litargirio ( $PbO$ )

95 -  $Pb_3O_4$  - 95% mínimo, resto litargirio ( $PbO$ )

Usos Industriales:

25 y 85 - Esmaltes y fritas cerámicas, placas para acumuladores,  
cristal de plomo.

95 - Recubrimientos anticorrosivos.

ESPECIFICACIONES.

	25	85	95
Valor Scott(Densidad en g/in <sup>3</sup> )	24-28	24-26	20-23
Indice de absorción de ácido (g/100 g óxido).	6.25	7	7-8
Indice de absorción de agua (cm <sup>3</sup> /lb de óxido).		55	
Plomo metálico libre	Nada	Nada	Nada
Minio (Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	25-26%	85% mín	95% mín
Fierro	0.003% máx	0.003% máx	0.009% máx.
Retenido en malla No. 200	0.2% máx	0.2% máx	0.2% máx
Retenido en malla No. 325	0.5% máx	0.5% máx	0.5% máx

ANALISIS TIPICO DE IMPUREZAS

Plata	0.0010%
Cobre	0.0008%
Zinc	0.0006%
Arsénico	0.0001%
Antimonio	0.0002%
Bismuto	0.0250%

Conforme aumenta el contenido de litargirio, aumenta también la reactividad del pigmento con el vehículo orgánico. Esto da como resultado un espesamiento y sedimentación de la pintura irreversibles de tal manera que con un alto contenido de litargirio, solamente serán posibles tiempos cortos de almacenamiento de la pintura. Por el contrario, un plomo rojo del 95-97% es muy estable en su dispersión dentro de un vehículo.

Se han estudiado las reacciones del plomo rojo y el litargirio con el medio orgánico y se han aislado un buen número de productos intermedios de reacción con constituyentes ácidos y glicéridos en el aceite secante. Aumentando el porcentaje de litargirio, disminuye la permeabilidad a la humedad y endurece la película. Al mismo tiempo, esto también provoca un sacrificio apreciable en la estabilidad química de la pintura de minio, carbonatos y quizás otras sales que están siendo formadas durante la exposición.

Aquí como en otras pinturas, es esencial la dispersión fina del pigmento en el vehículo. El tamaño de partícula de los pigmentos de plomo rojo más comerciales va de 2 a 10 micrones. El grado de partícula más fina se conoce como "humo" y tiene un área superficial de 5.4 metros cuadrados por centímetro cúbico de pigmento, el tamaño medio o grado "regular" tiene un área superficial de 2 metros cuadrados y el más grande o grado "mineral naranja" tiene-



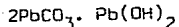
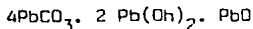
un área de 1.5 metros cuadrados por centímetro cúbico respectivamente.

La relación pigmento-vehículo es un factor importante en el funcionamiento de las pinturas, aunque es menos crítico para pigmentos inhibidores tales como plomo rojo que para los más inertes. En general, un recubrimiento primario que lleve plomo rojo en su formulación deberá contener la cantidad máxima de pigmento bien dispersado y acorde con buenas características de brocheabilidad. El carácter fuertemente inhibidor del plomo rojo permite cierta reducción del pigmento con extendedores inertes sin provocar una pérdida excesiva de la calidad protectora. Como extendedores a usar con el mínio, se recomiendan la barita, el óxido de hierro o carburo de silicio entre otros.

### 6.3.2

Plomo blanco y otros pigmentos de plomo.

El plomo blanco o carbonato básico de plomo es uno de los pigmentos blancos de más uso para recubrimientos de acabado. El producto comercial consiste de tres compuestos que tienen la composición:



y se dice que reacciona con productos de descomposición ácida de las películas de pintura dando compuestos insolubles. Mientras que el plomo blanco ha sido usado en recubrimientos primarios

para superficies metálicas así como de madera, su reactividad es de menor que la del plomo rojo. Lo mismo se puede decir del plomo azul sublimado. Sin embargo, estos pigmentos son alcalinos en su naturaleza y varios investigadores han reportado un buen comportamiento de los mismos en la protección metálica. Parece ser que la resistencia al intemperismo de estos pigmentos depende de la formación de jabones básicos de plomo.

Una adición reciente a la familia de los pigmentos inhibidores de plomo es la de sal calcificada de plomo conocida como plumbato de calcio. Pruebas de intemperismo acelerado muestran que este pigmento tiene propiedades anticorrosivas y antiempollantes de un orden bastante alto cuando se usa en un primario aplicado sobre acero sujeto a inmersión en agua salada.

Se cree que el plumbato de calcio inhibe las áreas catódicas de la superficie del acero y previene así la acumulación de hidrógeno-descargado que de otra manera podría dar como resultado el ampollamiento. Este pigmento es similar al plomo rojo en lo que se refiere a compatibilidad con los vehículos. El cromato básico de plomo debido a su naturaleza alcalina y oxidante ha sido usado en cierto grado en recubrimientos primarios sobre superficies de acero.

Los amarillos cromo son cromatos de plomo o combinaciones de este

producto con otras sales del mismo metal. Dependiendo de su preparación, el tono puede variar desde amarillo verdoso hasta un amarillo rojizo. En general, su poder tintorial y solidez a la luz mejoran en los tonos rojizos. Estos pigmentos tienen como característica sobresaliente, su bajo costo en relación a su rendimiento, además limpieza de tono, baja absorción de aceite, buen poder tintorial y magnífico poder cubriente. Están exentos de sangreo, su película es durable en lacas y esmaltes, y poseen solidez a la decoloración causada por la luz solar. Tienen tendencia a oscurecerse en grado variable en exposiciones exteriores. No se recomienda su empleo donde existen gases sulfurados, en pinturas emulsionadas, debido a su baja solidez a los álcalis, y cuando se precisa alta resistencia a un medio ácido.

### 6.3.3 Cromato de zinc o amarillo de zinc.

Cercano al plomo rojo, el cromato de zinc ha sido también de los pigmentos inhibidores de la corrosión, más ampliamente usados. Este es particularmente adecuado para usarlo en los recubrimientos primarios para metales ligeros, aplicaciones para las cuales el plomo rojo no puede ser usado.

Debido a su costo relativamente alto, el cromato de zinc se usa generalmente en combinación con pigmentos extendedores y con óxido de fierro. Este pigmento tiene un buen funcionamiento en exposiciones marinas. Por ejemplo, se usó para proteger plataformas de

perforación en el Golfo de México.

El cromato de zinc ha sido estandarizado por la ASTM. Se tienen especificados dos tipos de pigmento que difieren solamente en el porcentaje máximo permitido de sulfatos y cloruros. Para el tipo I, el sulfato, calculado como  $\text{SO}_3$ , y el cloruro, como  $\text{Cl}$ , no deberán exceder de 0.20 y 0.10% respectivamente. Para el tipo II, este puede tener 3.0% de sulfato y 0.8% de cloruro o el 1.0% total, si ambos están presentes. El material con menor contenido de óxido de zinc corresponde a la fórmula:  $4 \text{Zn O.4 Cr O}_3 \cdot \text{H}_2 \text{O.3 H}_2\text{O}$ .

El cromato de zinc debe sus propiedades inhibitoras a su contenido de cromato soluble y a su naturaleza alcalina suave. Anteriormente, en el uso del pigmento, el álcali aceleraba la deterioración del agente ligante, pero los modernos vehículos, particularmente las resinas fenólicas, son suficientemente resistentes y sobrepasan esta dificultad. Además, este pigmento no es adecuado para primarios de horneo, ya que se descompone con el calor; ocurre una reacción exotérmica arriba de  $180^\circ\text{C}$  y se autoprorroga arriba de los  $250^\circ\text{C}$ .

Los pigmentos de cromato de zinc son algo sensibles a los ambientes ácidos. En atmósferas altamente industrializadas, cantidades apreciables de  $\text{SO}_2$  pueden ser absorbidas en la pintura, produciendo

ácido sulfuroso en la interfase metal-pintura. Esto a su vez hace que se deposite una capa adsorbida de hidrógeno en áreas catódicas. Bajo estas circunstancias, los cromatos oxidan al hidrógeno y despolarizan los cátodos estimulando la corrosión.

#### 6.3.4 Cromato de potasio-bario.

Este producto es un nuevo pigmento inhibidor de la corrosión. Se ha dejado en un campo de pruebas durante ocho años y ahora está disponible comercialmente a un costo razonable. Se prepara calentando dicromato de potasio con ácido crómico y haciendo reaccionar esta mezcla con carbonato de bario a 650°C. Parece ser que este es uno de los complejos de cromato más efectivo, puesto que su solubilidad es tal que lo hace disponible a una velocidad controlada de una mayor concentración de iones cromato que otros pigmentos de cromo.

El cromato de bario-potasio puede ser usado en una variedad de vehículos para acabados de secado al aire o por horneado. Puede ser usado en combinación con otros pigmentos tales como plomo-rojo o fosfato dibásico de plomo en primarios lavables.

#### 6.3.5 Óxido de hierro.

El óxido de hierro fue probablemente el pigmento más antiguo conocido por el hombre y en los tiempos modernos es uno de los más ampliamente usados en primarios para metales. Hay óxidos naturales y sintéticos. Los naturales se obtienen a partir de diferentes

minerales de hierro por métodos que dependen del tipo de mineral.- Hay tres tipos sintéticos: óxido rojo, óxido amarillo y óxido negro ( $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Fe}_3 \text{O}_4$  respectivamente). Estos se obtienen ya sea por la calcinación de sales de hierro, tales como sulfato ferroso, o por precipitación a partir de soluciones salinas.

El óxido de hierro es opaco a la luz ultravioleta y tiende a producir películas duras de gran durabilidad. Este no es un pigmento-inhibidor de la corrosión pero es ampliamente usado con pigmentos-reactivos tales como los cromatos, plomo rojo y óxido de zinc para mejorar las características de la película. En general los pigmentos de óxido de hierro son más usados en recubrimientos de acabado.

#### 6.3.6 Óxido de zinc.

El óxido de zinc es ampliamente usado en pinturas. Con su índice de refracción relativamente alto (2.08) y su opacidad a la luz ultravioleta arriba de  $3600 \text{ \AA}$ , presenta un buen poder cubriente y protección contra las reacciones de deterioración fotoquímica.- El óxido de zinc es ligeramente alcalino y tiende a neutralizar a los ácidos absorbidos de atmósferas industriales y a los productos de descomposición ácida del ligante. Su propiedades inhibidoras se deben a su carácter básico.

El óxido de zinc se hace por dos procesos conocidos como el Francés

y el Americano. En el proceso Francés el metal se recupera primero a partir del mineral, fundiéndolo con antracita o con coke, y después es volatilizado y oxidado en estado de vapor a 900-1000°C. En el proceso Americano, el óxido es recuperado directamente volatilizándolo por medio de calentamiento una mezcla de mineral y hulla sobre una rejilla de hogar abierto.

El producto obtenido por el proceso Francés es más puro y por lo regular de menor tamaño de partícula que el del proceso Americano. Este último tipo va de 0.5 a 5 micrones en tamaño de partícula y ha sido estandarizado por la ASTM. Las principales impurezas de este pigmento son plomo y azufre derivados de los minerales. Los óxidos de zinc que contienen proporciones sustanciales de plomo son utilizados para pinturas en exteriores.

Las pinturas pigmentadas con óxido de zinc obtenido del proceso Americano por lo regular dan menor caleo que los óxidos obtenidos por el proceso Francés.

#### 6.3.7

Fosfato de zinc.

Es un pigmento anticorrosivo hidratado puro de fórmula general  $Zn(PO_4)_2 \cdot x H_2O$  que no contiene elementos tóxicos ni contaminantes del ambiente por lo que su empleo en recubrimientos anticorrosivos modernos va en aumento día a día.

Ventajas y aplicaciones.

Su baja, prácticamente nula, solubilidad en agua y su elevadísima pureza, ya que no contiene sales solubles, permiten su uso en primarios anticorrosivos para sistemas en inmersión continua o intermitente en agua y soluciones salinas o en ambientes con alta humedad. Otros pigmentos anticorrosivos con mayor solubilidad, como el cromato de zinc o de estroncio, en condiciones similares, presentan frecuentemente problemas de "aburujamiento" del sistema en que se usan. Esta misma baja solubilidad del fosfato de zinc en agua y su estabilidad química lo hacen recomendable para usarse en primarios solubles en agua: electroforéticos, para inmersión y en emulsión, en los cuales no causa inestabilidad del producto en el envase y mejora las características de protección contra la corrosión.

El fosfato de zinc puede ser formulado en sistemas: alquidáticos, fenólicos, epoxi, epoxi éster, hule clorado, vinílicos, acrílicos, tanto en sistemas de disolventes orgánicos como medios acuosos. Se emplea en primarios y recubrimientos automotrices, para protección y mantenimiento industrial y marino, primarios de uso doméstico o industrial. Una aplicación creciente es su uso en primarios-enlace, o rellenos en la industria automotriz. La no toxicidad del fosfato de zinc permite que la operación de lijado del primario-enlace o relleno se efectúe sin riesgos para la salud de los operarios.



El acero recubierto con primarios a base de este pigmento, puede ser soldado o cortado con soplete sin que se produzcan gases tóxicos originados por el pigmento anticorrosivo.

El fosfato de zinc es un polvo blanco, que no imparte color al vehículo en el que se dispersa por lo que permite la formación de primarios en cualquier color deseado.

También, debido a su baja solubilidad en agua, no desarrolla una actividad electroquímica significativa a corto plazo por lo que las evaluaciones rápidas, por ejemplo en la prueba de cámara salina, los recubrimientos que contienen este pigmento presentan un comportamiento aparentemente más desfavorable que los que contienen pigmentos más solubles y consiguientemente más eléctricamente activos como el cromato de zinc. Sin embargo, en evaluaciones prolongadas de exposición a la intemperie y en la práctica muestran que tienen una capacidad anticorrosiva similar.

#### Características Típicas.

Color:	Blanco
Densidad:	3.10 g/ml
Densidad aparente:	0.78 g/ml
Residuo en malla 325:	0.5% máx
Humedad:	1% (4% máx)
Pérdida de ignición:	10% máximo
pH (extracto acuoso):	7

Tamaño de partícula: 0.8 micras (6 unidades Hegman)

Absorción de aceite: 60 gramos / 100 gramos

Resistencia específica: 20 000 ohm - cm (mín)

#### Evaluación en Aplicación Técnica.

- Suficiente protección a la corrosión en uso práctico; los resultados en pruebas aceleradas no son buenos.
- Amplio rango de aplicaciones potenciales y compatibilidad en varios ligantes.
- Fácil dispersión
- En muchos casos, combinando con inhibidores de corrosión sustituye al cromato de zinc.

#### Toxicidad.

El fosfato de zinc es considerado como un polvo prácticamente no tóxico. La dosis letal media ( $DL_{50}$ ) para roedores es mayor de 1500 mg/Kg. El nivel máximo permisible (NMP) en el ambiente laboral es de 10 mg/m<sup>3</sup>. Además, no es flamable ni explosivo. Tampoco es un producto oxidante ni reductor.

#### 6.3.8

##### Polvo de zinc metálico.

El uso de polvo de zinc como pigmento para pinturas fué propuesto hace más de 100 años, pero hace solo 45 años que se empezó a usar en recubrimientos primarios para inhibir la corrosión. Se obtiene por medio de la condensación de vapor de zinc bajo condiciones

que previenen la coalescencia. El contenido metálico libre es de alrededor del 95%. La especificación estándar del polvo de zinc establece un valor máximo del 4% para óxido de zinc. El rango del tamaño de las partículas metálicas va de 5 a 10 micrones. El polvo de zinc metálico es dispersado regularmente justamente antes de usarlo en un vehículo de valor ácido bajo para prevenir la generación de hidrógeno. Como máximo se puede agregar un 20% de óxido de zinc a la pintura de polvo de zinc para mejorar las características de aplicación y formación de película. La acción protectora del polvo de zinc se debe presumiblemente a su relación anódica electroquímica con el hierro.

Algunas pruebas hechas empleando pinturas ricamente pigmentadas con polvo de zinc han mostrado buena protección en la atmósfera y en agua de mar. El principal obstáculo en esta última exposición ha sido la tendencia al ampollamiento. Se dice que las áreas desnudas del fierro resultantes de defectos al recubrir o daños, serán protegidos catódicamente por el pigmento de zinc. También, las pinturas con polvo de zinc son adecuadas para aumentar la protección de recubrimientos galvanizados ya que muestran una adherencia excelente a tales superficies. Los pigmentos de zinc en hojuelas han mostrado un comportamiento superior que los de polvo de zinc debido a su mayor impermeabilidad a la humedad. Aplicadas a una superficie caliente, las hojuelas de zinc tienden a formar una aleación con la superficie. En un vehículo basado-

en resina de silicón, el polvo de zinc tiene un buen comportamiento como recubrimiento resistente al calor.

#### 6.3.9 Polvo de aluminio.

Este pigmento es uno de los más ampliamente usados para recubrimientos anticorrosivos. Los acabados con aluminio tienen la ventaja de combinar una buena apariencia con propiedades anticorrosivas.- El polvo de aluminio se manufactura en molinos de pisón los cuales reducen al metal en espesor y aumentan su dureza hasta que se rompe en partículas cada vez más pequeñas y en forma de hoja.- El ácido esteárico se usa generalmente como lubricante en el proceso y forma una protección sobre las partículas. Otro proceso emplea un molino de bolas y usa un lubricante y espíritus minerales. El producto de esta operación es una pasta que contiene partículas muy finas y en forma de hoja también.

De acuerdo con esto, comercialmente se dispone de varios grados de polvo de aluminio, que varían esencialmente en el tamaño promedio de partícula y esto a su vez afecta la apariencia de la pintura, las partículas más pequeñas dan una superficie más suave.- Además, los polvos de aluminio más finos contienen un gran número de partículas por unidad de peso, y por consiguiente son más efectivos para excluir la humedad.

Los intervalos de los valores para los pigmentos de polvo de alumi-

no son:

libras/galón	=	20.6	-	21.25
Densidad relativa	=	2.5	-	2.55
Galón / libra	=	0.048	-	0.047

Los valores para las pastas dependerán del contenido de polvo seco y del tipo de solvente.

Los pigmentos de aluminio en hojuelas tienen un gran poder cubriente debido a que el metal es opaco. Un cubrimiento completo se obtiene fácilmente con una capa de pintura de aluminio debido a que la acción de "hojeo" (leafing) de esta produce una capa continua de metal. Puesto que la capa metálica también es opaca a la luz ultravioleta, esta protege al ligante de la degradación por efecto de la luz, proporcionando así una durabilidad excelente en exposiciones al exterior.

El aluminio es medianamente resistente a los ácidos y a vapores corrosivos pero como resiste muy poco a los álcalis, no deberá usarse en recubrimientos que requieran una resistencia buena a los mismos.

### 6.3.10

#### Pigmentos de carbón.

El uso de estos pigmentos en tintas y pinturas se remonta a tiempos prehistóricos. El negro carbón obtenido haciendo incidir

una flama de gas contra una superficie fría es el pigmento más fino que se hace, y su tamaño de partícula va de 0.001 a 0.03 micrones. El negro canal es un negro carbón que se llama así porque se recolecta en canales de fierro que pasan sobre la flama hasta el punto de colección del carbón depositado. El negro térmico obtenido por el cracking del gas natural o acetileno sobre una superficie caliente es un poco mayor en tamaño promedio de partícula. El negro de horno se obtiene quemando gas en un sistema cerrado y el negro de humo se obtiene quemando aceites - dentro de un suministro restringido de aire y recolectando carbón a cierta distancia de la flama. Estos dos últimos carbonos son relativamente más gruesos y el tamaño promedio de partícula es de 0.1 micrones. Los negros carbonos contienen proporciones variables de fragmentos de hidrocarburos y oxígeno, el contenido de carbono va de 90 a 98%. El negro de hueso se produce incinerando los huesos de ovejas y ganado en retortas sin tener acceso de aire y después moliendo el producto hasta obtener polvo muy fino. Este es bajo en poder cubriente y en absorción de aceite.

Para usarse en pinturas, el negro carbón es seguido del negro - de humo y el grafito en este orden. Tanto el grafito natural como el sintético se usan en recubrimientos diseñados para soportar gases corrosivos, ácidos y álcalis. En general, el uso de pigmentos de carbón está restringido a recubrimientos de acabado puesto que en contacto directo con el metal, se puede estimular la corrosión porque los pigmentos actúan catódicamente.

### 6.3.11

#### Otros pigmentos metálicos.

Se ha recomendado el uso de varios metales adicionales al aluminio y al zinc como complemento en pigmentos para recubrimientos anticorrosivos. En general, los polvos metálicos requieren una cantidad mínima de aceite para dar una buena dispersión y por consiguiente se obtienen películas de pintura compuestas en gran parte de metal. Se han probado en los pigmentos las aleaciones de plomo conteniendo un 13% de antimonio y 2% de hojalata y se ha llegado a la conclusión de que dan buenos resultados en ambientes corrosivos.

Existen también polvos de bronce que son referidos como bronce dorados pero no son hechos de bronce u oro. En apariencia van del cobre rojo brillante al amarillo y verde dorado y tienen aproximadamente la siguiente composición:

C o l o r	% Cobre	% Zinc
Rojo a rosa	100	-
Oro pálido	90	10
Oro pálido rico	85	15
Oro rico	80	20
Verde dorado	70	30

Estos pigmentos son usados principalmente por su valor decorativo. Puesto que son polvos metálicos, tienen un alto poder cubriente y protegen al ligante de la luz ultravioleta en los recubrimientos.

Su resistencia química está relacionada directamente con el tipo de metal que contienen. Tienden a oscurecerse rápidamente en exposiciones al exterior.

#### 6.3.12 Mica.

Las partículas de la mica son excesivamente delgadas y puesto que son inertes, es factible agregarlas como pigmentos extendedores a casi cualquier formulación de pintura para mejorar la estabilidad al calor y propiedades físicas así como resistencia a la humedad.- El porcentaje óptimo de mica que puede adicionarse, varía, por ejemplo para el plomo blanco, el 20 a 25% del volumen total del pigmento puede ser mica. Es difícil moler mica en proporciones mayores al 25%. El uso de un extendedor micáceo en las proporciones antes mencionadas en pinturas alquídicas, ha mostrado que proporciona una mayor protección a las superficies de acero contra la humedad y nieblas salinas.

#### 6.3.13 Dióxido de titanio.

Este es el pigmento blanco más ampliamente usado a la fecha. Debido a su gran poder cubriente es el que resulta más económico que cualquier otro pigmento blanco. Debido a que es inerte y se puede formular brillante u opaco y fácil de dispersar, el dióxido de titanio es usado universalmente en el negocio de las pinturas.- Hay dos tipos de pigmentos de bióxido de titanio disponibles:-  
1. Dióxido de titanio rutílico. Este es el más ampliamente usado-



Su resistencia química está relacionada directamente con el tipo de metal que contienen. Tienden a oscurecerse rápidamente en exposiciones al exterior.

#### 6.3.12 Mica.

Las partículas de la mica son excesivamente delgadas y puesto que son inertes, es factible agregarlas como pigmentos extendedores a casi cualquier formulación de pintura para mejorar la estabilidad al calor y propiedades físicas así como resistencia a la humedad.- El porcentaje óptimo de mica que puede adicionarse, varía, por ejemplo para el plomo blanco, el 20 a 25% del volumen total del pigmento puede ser mica. Es difícil moler mica en proporciones mayores al 25%. El uso de un extendedor micáceo en las proporciones antes mencionadas en pinturas alquidálicas, ha mostrado que proporciona una mayor protección a las superficies de acero contra la humedad y nieblas salinas.

#### 6.3.13 Dióxido de titanio.

Este es el pigmento blanco más ampliamente usado a la fecha. Debido a su gran poder cubriente es el que resulta más económico que cualquier otro pigmento blanco. Debido a que es inerte y se puede formular brillante u opaco y fácil de dispersar, el dióxido de titanio es usado universalmente en el negocio de las pinturas.- Hay dos tipos de pigmentos de bióxido de titanio disponibles:-

1. Dióxido de titanio rutilico. Este es el más ampliamente usado-

y tiene el mayor poder cubriente. El  $\text{TiO}_2$  rutilico es usado virtualmente en todas las pinturas desde mates hasta de alto brillo y de látex a sistemas con solventes.

2. Dióxido de titanio anatásico. Este pigmento es usado principalmente en pinturas en las que se desea una velocidad controlada de caleo.  $\text{TiO}_2$  anatásico tiene poder cubriente ligeramente menor al del rutilico.

#### 6.4 Métodos de análisis para pigmentos.

Sabiendo que el color y propiedades de los pigmentos son influenciados por la variedad de vehículos, procedimientos de molienda, métodos de aplicación y otros factores, dichos pigmentos se presentan en términos generales de acuerdo con los métodos descritos a continuación. Aunque los datos proporcionados indican las características generales de los pigmentos, es esencial que el usuario verifique el comportamiento de los mismos en las condiciones reales de proceso y aplicación.

Los métodos de prueba empleados para clasificar las propiedades de los pigmentos son tomados en la mayoría de los casos de las siguientes fuentes:

- Especificaciones ASTM. Sección 20 y 21 (1966)
- Paint Testing Manual - Gardner - Sward (1974)
- Colour Index (1971)

6.4.1 Densidad relativa (ASTM-153-54-C).

Material necesario.

- Bureta 100 ml
- Matraz graduado de 100 ml con tapón esmerilado
- Llaves de vidrio de 3 vías
- Bomba de vacío
- Manómetro
- Termómetro
- Petróleo

Procedimiento.

En el matraz previamente tarado se pesa una cantidad de pigmento que sea suficiente para alcanzar el cuello del recipiente, pero de tal manera que el material ocupe un volumen menor de 25 ml cuando el aire ha sido extraído del sistema. A continuación se agrega al matraz el petróleo contenido en la bureta, cerrando simultáneamente el sistema de vacío y teniendo cuidado de evitar burbujas de aire en las paredes del recipiente; cuando el petróleo alcanza la marca de aforo en el matraz se pesa este y para determinar la densidad relativa del pigmento se emplea la fórmula:

$$P.E. = \frac{S}{k - x}$$

donde: P.E. = Densidad relativa

S = Peso de pigmento

k = Volumen de petróleo necesario para llenar el matraz-vacío.

X = Volumen de petróleo necesario para matraz con pigmento.

#### 6.4.2 Absorción de aceite (ASTM D 281-31).

Sobre un vidrio despulido y previamente tarado se pesa 1 g de pigmento, adicionando gota a gota aceite de linaza de acidez 1 a 3 mezclando con una espátula en forma tal que se obtenga una pasta que al ser frotada forme un rizo sin romperse.

A continuación se pesa nuevamente el vidrio con la pasta de pigmento y la diferencia entre las lecturas será la cantidad de aceite empleado expresado en kg aceite/kg pigmento.

#### 6.4.3 Sangrado.

Impropriadamente llamado así ya que se refiere a la solubilidad del pigmento en el solvente. Para efectuar esta prueba se coloca 1 g de pigmento en una "bolsa" de papel filtro, sumergiendo esta en un frasco que contiene el solvente; esta inmersión se mantiene durante 24 hs observando después si el solvente se encuentra "coloreado". El grado de solubilidad se indica comparativamente empleando una escala numérica de 1 a 5 en la que el número 5 indica máxima resistencia.

Forma de calificar el sangrado.

- 5. No coloreado
- 4. Débilmente coloreado

3. Algo coloreado
2. Coloreado
1. Fuertemente coloreado

#### 6.4.4 Resistencia a ácidos, álcalis y detergentes.

Se prepara una laca con el pigmento por comprobar, aplicando ésta a un vidrio plano; cuando la pintura está seca (o bien 24 hs más tarde) se gotea una pequeña cantidad de ácido, álcali y/o detergente a las concentraciones indicadas, cubriendo estas soluciones con un vidrio de reloj para reducir la evaporación. Esta solución se deja durante una hora y sin frotar se lava con agua destilada, haciendo la observación cuando la pintura o impresión está seca. El grado de resistencia se indica comparativamente con una escala de 1 a 5 en donde 5 indica máxima resistencia.

La calificación se hace en la siguiente forma:

5. Excelente: cuando el acabado resiste el ataque sin alteración de la solución al 10% de NaOH o HCl.
4. Muy bueno: cuando el acabado resiste el ataque sin alteración de la solución al 1% de NaOH o HCl.
3. Bueno: cuando el acabado resiste el ataque sin alteración de una solución al 0.1% de NaOH o HCl.

2. Mediana: cuando el acabado resiste el ataque de una solución al 0.01% de NaOH o HCl.
1. Escasa: cuando el acabado no resiste el ataque de una solución al 0.01% de NaOH o HCl.

#### 6.4.5 Brillo (ASTM D 523).

Material necesario:

- Placa de vidrio
- Esmalte alquidálico con un contenido de pigmento equivalente a 10% PVC.
- Reflectómetro Electro Selenio de ángulo variable de 45° y 60°.

Procedimiento:

Sobre la placa de vidrio se aplica una película de pintura de 75 micrones (0.003 pulgada) de espesor húmedo y 24 horas más tarde o bien cuando la película se encuentre seca, se coloca en el reflectómetro que ha sido previamente calibrado a 100% con el tipo o estándar que forma parte del aparato, obteniendo las lecturas a 45° y 60°.

#### 6.4.6 Opacidad (Poder cubriente).

Material necesario:

- Placa de vidrio
- Esmalte alquidálico con un contenido de pigmento equivalente a 10% PVC.
- Reflectómetro de electro selenio tipo vertical.
- Muestra patrón de carbonato de magnesio.
- Hoja de celulosa (celofán).
- Placas de vidrios ópticos, blanco y negro.

**Procedimiento:**

Sobre el papel celofán se aplica una capa de pintura de 75 micrones de espesor y cuando la aplicación ha secado, se coloca sobre la placa de vidrio óptico blanco, haciendo la medición de opacidad con el instrumento, que ha sido calibrado previamente a 100% con referencia al carbonato de magnesio. A continuación se cambia la aplicación a la placa negra repitiendo la lectura. Esta última lectura corresponde al % de poder cubriente de la pintura (pigmento).

**Nota.-** La opacidad o poder cubriente proporcionado a un acabado por el pigmento depende de 3 propiedades ópticas.

1. El índice de refracción. Un pigmento con índice de refracción notablemente más alto que el del vehículo en que se emplea resulta opaco y por lo tanto cubre al sustrato.
2. La capacidad de absorción de radiación visible: Un pigmento que absorbe toda la energía de la luz (negro) es completamente

opaco, ya que impide la llegada de los rayos al sustrato.

3. Las frecuencias de radiación reflejadas y/o absorbidas. Un pigmento ideal será el que absorbe toda la radiación menos las frecuencias correspondientes a su tono, las cuales refleja completamente.

De estas bases resulta que pigmentos de muy distinto carácter óptico pueden dar lecturas de opacidad similares, ya que su eficiencia como opacificante puede resultar tanto de reflexión como de absorción.



## CAPITULO VII

## PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la parte experimental se llevó a cabo en los laboratorios de Carboline, S.A. de C.V. empresa en el ramo de los recubrimientos anticorrosivos a escala mundial.

La sección 7.5 Métodos de Control de Calidad para producto terminado está soportada por los métodos de prueba de la ASTM (American Society for Testing and Materials) Tomos 27, 28 y 29. (Ref. 11 Bibliografía).

Para la formulación de los recubrimientos primarios alcalinos con los diferentes pigmentos, se partió de las formulaciones que publica Petróleos Mexicanos en sus Normas de Calidad de Materiales y Equipo usados en obras públicas. Recubrimientos para protección anticorrosiva. Requisitos de calidad (1982). (Ref. 12, Bibliografía).

## 7.1

### Fórmulas desarrolladas.

#### 7.1.1

##### Definiciones.

A continuación se dan algunas definiciones que son de utilidad para los cálculos de las formulaciones.

a) Materia no volátil en peso (MNVP)

Es la suma de los pesos de los componentes sólidos (pigmento, resina, etc.) de un recubrimiento.

b) Materia no volátil en volumen (MNVV)

Es la suma de los volúmenes de los componentes sólidos de un recubrimiento, esto es; es la suma de los pesos de los componentes, cada uno dividido por su densidad.

c) Porcentaje de materia no volátil en peso (% MNVP).

Es la materia no volátil en peso (MNVP) dividida entre el peso total de los componentes de un recubrimiento.

d) Porcentaje de materia no volátil en volumen (% MNVV).

Es la materia no volátil en volumen (MNVV) dividida entre el volumen total de los componentes de un recubrimiento.

e) Concentración volumétrica de pigmento (CVP).

Este es un porcentaje del volumen de pigmento con respecto a la suma del volumen del pigmento en sí y el volumen de los sólidos en el vehículo. Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$CVP = \frac{\text{Volumen pigmento}}{(\text{Volumen pigmento} + \text{Volumen sólidos del vehículo})} * 100.$$

Muchas de las propiedades de un recubrimiento están determinadas por la concentración volumétrica de pigmento (CVP) de la película).

f) Concentración crítica volumétrica de pigmento (CCVP).

Cuando hay suficiente pigmento presente para asegurar que toda la resina ha sido completamente absorbida en la superficie, la concentración crítica volumétrica del pigmento (CCVP) ha sido obtenida. En este punto no existen espacios vacíos entre las partículas de pigmento.

Este valor es crítico porque arriba o abajo del mismo, las propiedades de la formulación cambia drásticamente. Arriba de este valor, la pintura empieza progresivamente a ser más frágil, más quebradiza y polvosa.

El óptimo CVP para un recubrimiento primario se encuentra un poco abajo del CCVP, como puede verse en las siguientes figuras:

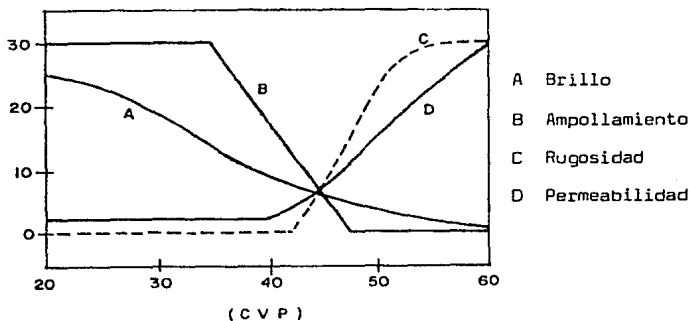


Figura 3. Concentración volumétrica del pigmento



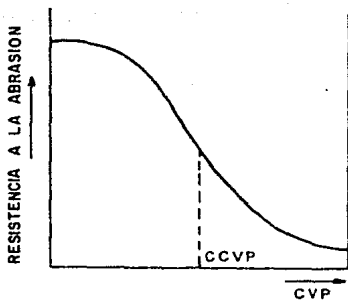


Figura 4.

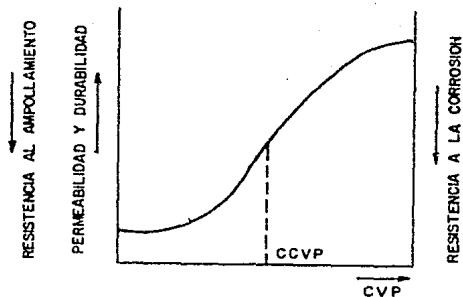


Figura 5.

A bajos valores de CVP la película tiene buena resistencia a la abrasión y a la corrosión, pero es propensa al ampollamiento, tiene baja permeabilidad y alto brillo. A valores altos de CVP, la resistencia al ampollamiento aumenta, así como también la permeabilidad, pero se deterioran otras propiedades.

Un acabado con valor de CVP de 10 a 20% posee un alto brillo. Los recubrimientos con un CVP de 20 a 35%, tienen generalmente un acabado semimate. Arriba de valores de 35%, los acabados son mates.

### 7.1.2 Fórmulas aritméticas para cálculo.

$$\text{Volumen} = \text{Masa} / \text{Densidad} \quad [ \text{L}^3 ]$$

$$\% \text{ MNVP} = (\text{MNVP} * 100) / \text{peso} \quad [ \text{adim.} ]$$

$$\% \text{ MNVV} = (\text{MNVV} * 100) / \text{volumen} \quad [ \text{adim.} ]$$

$$\text{Rendimiento} = (1000 * \text{MNVV}) / 25 \quad [ \text{M}^2 \text{L}^{-1} ]$$

$$\text{C V P} = \frac{\text{Vi pigmento}}{\text{MNVV}} \quad [ \text{adim.} ]$$

7.1.3 Densidad de materias primas empleadas en las formulaciones \*.

Producto	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Oxido de plomo	8.7
Estereato de aluminio	2.6
Resina alcídica	1.0
Gas nafta (solvente)	0.77
Aditivos (promedio)	1.1
Cromato de zinc	3.4
Oxido férrico	5.0
Silicatos	2.65
Fosfato de zinc	3.1

\* Datos obtenidos de los fabricantes de las materias primas, entre-  
otros:

- Pigmentos y Oxidos, S.A.
- Luisan Carber y Seasun
- Química Walchem
- Reichold
- Pemex
- Nuodex Mexicana
- De Mateo Compañía, etc.



#### 7.1.4 Instrucciones de Fabricación del Recubrimiento.

La fabricación de una pintura consiste en dispersar el pigmento en un vehículo y se puede dividir en 4 pasos principales que son:

I Premezclada. Es la mezcla del pigmento con un vehículo adecuado.

En este paso se considera principalmente lo siguiente:

- Preparación de un vehículo al 25% en sólidos para dispersión del pigmento.
- La cantidad del vehículo utilizado en la dispersión deberá ser de 2 a 3 veces el volumen del pigmento.
- La viscosidad de esta premezcla deberá ajustarse en un rango de 78 - 82 UK.

Estas consideraciones son tomadas en base a la teoría y experiencia, para lograr un tiempo mínimo de molienda y uso óptimo del equipo.

II Dispersión. Esta es la parte más importante en la fabricación debido a que una gran variedad de propiedades depende del grado de dispersión obtenido.

El grado de dispersión se mide generalmente en unidades-Hegman. Estas unidades nos dan una relación directa del-

tamaño de las partículas como de los aglomerados. Este grado de dispersión es específico de cada pintura y está basado en el método ASTM D-1210.

III Completar. En esta parte se adiciona lo restante de la resina, aditivos y parte del solvente.

IV Ajuste. Consiste en lograr las propiedades finales como son viscosidad, peso específico, color y propiedades de aplicación.

Para el recubrimiento alquidálico con cromato de zinc se siguen las siguientes operaciones:

- a) Cargar en tanque abierto con agitador de alta velocidad.  
20% Resina alquidálica  
10% Solvente (Gas nafta)
- b) Adicionar poco a poco con agitación los pigmentos (cromato de zinc).
- c) Ajustar viscosidad de pasta de dispersión con Gas nafta.
- d) Pasar pasta por molino hasta finura de 3 unidades Hegman
- e) Completar con  
80% Resina alquidálica  
90% Gas nafta  
Aditivos
- f) Verificar propiedades finales (viscosidad, densidad, etc.)
- g) Filtrar y envasar.

Su diagrama de flujo queda como sigue:

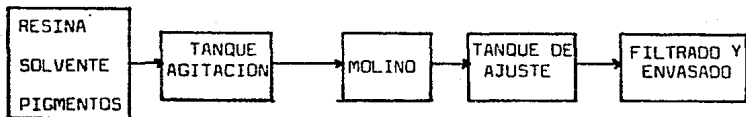


FIG. 6 : DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS.

En la misma forma se preparan los recubrimientos alquidáticos con minio y fosfato de zinc.

7.2 Recubrimiento alcídico con minio.

7.2.1 Fórmula según especificaciones PEMEX.

Composición	Mín	% Peso	Máx.
Cantidad de pigmento.	67		
- Minio (95-97% de pureza) sobre pigmento			
- Estereato de aluminio sobre pigmento			0.5
Vehículo			33
- Resina alcídica sólida (con aceite de linaza) sobre vehículo	40		
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcídica.	28		32
- Materia volátil sobre vehículo(gas nafta)			60
- Brea o derivados			0

7..2.2 Recubrimiento alcídico con minio.

Fórmula detallada.

Composición	% Peso
Cantidad de pigmento	67.00
- Minio (95-97% de pureza) sobre pigmento	66.50
- Estereato de aluminio sobre pigmento	0.50
Vehículo	33.00
- Resina alcídica sólida (con aceite de linaza sobre vehículo)	13.20
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcídica.	9.24-10.56
- Materia volátil sobre vehículo	19 80
- Brea o derivados	0.00

7.2.3 Fórmula de laboratorio.

Nombre del Producto: Primario alcidico minio.

Materia Prima	Densidad	Kg.	Lts.	MNVP	MNVV.
Oxido de Plomo	8.7	665	76.4	665	76.4
Estereato de aluminio	2.6	5	1.9	5	1.9
Resina alcidica	1.0	132	132.0	132	132
Solvente	0.77	193	250.6		
Aditivos	1.1	5	4.5	1	1
<b>T O T A L</b>		<b>1000</b>	<b>465.4</b>	<b>803</b>	<b>211.3</b>

Peso específico	MNVP	MNVV	PVC
2.148	80.3	45.4	37

7.2.4 Recubrimiento alcidico con minio.

Datos de fórmula.

	Estandar	B a s e
Peso específico	2.100 - 2.178	2.148
% MNVP	79 - 81	80.3
% MNVV	43 - 47	45.4
P V C	30 - 40	37
Pigmento	670	670
Cubriente		
Inhibidor		665
Inerte		5
Vehículo	- 330	330
Resina base		132
Aditivos		5
Solvente		193
	<hr/>	<hr/>
T O T A L	1000	1000

7.3 Recubrimiento al Alcídico con Cromato de Zinc.

7.3.1 Fórmula según especificaciones PEMEX.

Composición	% Peso	
	mín.	máx.
Cantidad de Pigmento	32	
- Cromato sobre pigmento	18	
- Oxido férrico sobre pigmento	36	
- Silicatos, sobre pigmento		46
Vehículo		68
- Resina alcídica sólida (con aceite de linaza) sobre vehículo	27.2	
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcídica.	40.8	
- Materia volátil sobre vehículo (gas nafta)		
- Brea o derivados		0



## 7.3.2

Recubrimiento alcídico con cromato de zinc.

Fórmula detallada.

Composición	% Peso
Cantidad de pigmento	32.00
- Cromato sobre pigmento	5.76
- Oxido férrico sobre pigmento	11.52
- Silicatos sobre pigmento	14.72
Vehículo	68.00
- Resina alcídica sólida con aceite de linaza sobre vehículo.	10.88
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcídica.	9.52
- Materia volátil sobre vehículo	47.60
- Brea o derivados	0.00

## 7.3.3

## Fórmula de laboratorio.

Nombre del producto: Primario alcídico cromato de zinc.

Materia prima	Densidad	Kg.	Lts.	MNVP.	MNVV.
Cromato de zinc	3.4	57.6	16.9	57.6	16.9
Oxido férrico	5.0	115.2	23.0	115.2	23.0
Silicatos	2.65	147.2	55.5	147.2	55.5
Resina alcídica	1.0	204.0	204.0	204.0	204.0
Solventes	0.77	471.0	611.7		
Aditivos	1.1	5.0	4.5	1.0	1.0
		<u>1000</u>	<u>915.6</u>	<u>525</u>	<u>300.4</u>

Peso específico	MNVP	MNVV	P V C
1.09	52.5	32.8	31.7

7.3.4 Recubrimiento alclídico con cromato de zinc.

Datos de fórmula.

	Estándar	B a s e.
Peso específico		1.09
% MNVP		52.5
% MNVV		32.8
P V C	30 - 40	31.7
Pigmento	320	320
Cubriente		115.2
Inhibidor		57.6
Inerte		147.2
Vehículo	- 680	680
Resina base		20.4
Aditivos		5.0
Solvente		471.0
	<hr/>	<hr/>
T O T A L	1000	1000

7.4 Recubrimiento alcidico con fosfato de zinc.

7.4.1 Fórmula según especificación PEMEX.

Composición	% Peso	
	Mín.	Máx.
Cantidad de pigmento	32	
- Fosfato sobre pigmento	18	
- Oxido férrico sobre pigmento	36	
- Silicatos, sobre pigmento		46
Vehículo		68
- Resina alcidica sólida (con aceite de linaza) sobre vehículo		
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcidica.		
- Materia volátil sobre vehículo(gas nafta)		
- Brea o derivados		0

7.4.2 Recubrimiento alcídico con fosfato de zinc.

Fórmula detallada.

Composición.	% Peso
Cantidad de pigmento	32.00
- Fosfato sobre pigmento	5.76
- Oxido férrico sobre pigmento	11.52
- Silicatos sobre pigmento	14.72
Vehículo	68.00
- Resina alcídica sólida (con aceite de linaza) sobre vehículo	10.88
- Anhídrido ftálico libre de brea y fenol sobre resina alcídica.	9.52
- Materia volátil sobre vehículo(gas nafta)	47.60
- Brea o derivados	0.00

7.4.3 Fórmula de laboratorio.

Nombre del producto: Primario alcídico fosfato de zinc.

Materia prima	Densidad	Kg.	Lts.	MNVP.	MNVV
Fosfato de zinc	3.1	57.6	18.5	57.6	18.5
Oxido férrico	5.0	115.2	23.0	115.2	23.0
Silicatos	2.65	147.2	55.5	147.2	55.5
Resina alcídica	1.0	204.0	204.0	204.0	204.0
Solventes	0.77	471.0	611.7		
Aditivos	1.1	5.0	4.5		
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
T O T A L		1000	917.2	525.0	302.0

Peso específico	% MNVP	% MNVV	P V C
1.09	52.5	32.9	32.1

7.4.4 Recubrimiento alcídico con fosfato de zinc.

Datos de fórmula.

	Estándar	B a s e
Peso específico		1.09
% MNVP		52.5
% MNVV		32.4
P V C	30-40	32.1
Pigmento	320-	320
Cubriente		115.2
Inhibidor		57.6
Inerte		147.2
Vehículo	-680	680
Resina base		20.4
Aditivos		5.0
Solvente		471.0
	<hr/>	<hr/>
T O T A L	1000	1000

## 7.5 Métodos de control de calidad para producto terminado.

### 7.5.1 Secado al tacto y secado duro (ASTM D 1640).

Este método cubre la determinación de las diferentes etapas y velocidades de formación de película durante el secado o curado de recubrimientos orgánicos analizados a condiciones de temperatura ambiente.

#### Procedimiento:

Se aplica el recubrimiento a ser analizado sobre probetas de vidrio y otro sustrato específico de dimensiones adecuadas. Para la determinación del secado al tacto, simplemente se apoya la yema de un dedo sobre el recubrimiento aplicado y se sitúa la misma yema en otro vidrio limpio. Si no hay recubrimiento transferido sobre el vidrio limpio, este momento, será el tiempo de secado al tacto. Para el secado duro, se apoya la yema del pulgar (sin girarlo) y se presiona de tal manera que al retirar el dedo, si éste no dejó huella, entonces se habrá conseguido el secado al tacto.



7.5.2 Flexibilidad de recubrimientos orgánicos con el aparato Mandril Cónico (ASTM D 522).

Este estándar cubre la determinación de la flexibilidad de recubrimientos orgánicos cuando estos son aplicados sobre placas metálicas planas y tersas, por medio del aparato mandril cónico.

El método es el siguiente:

- Se aplica el(los) recubrimiento(s) a ser muestreado(s) sobre una placa plana. Después de secado el material, se coloca la placa en el mandril cónico y se gira la palanca a 180° de tal manera que se doble dicha placa. El porcentaje de elongación se lee en una gráfica distancia a lo largo del eje contra por ciento de elongación.

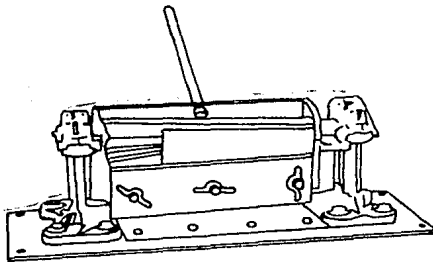


FIG. 7 APARATO MANDRIL CONICO.

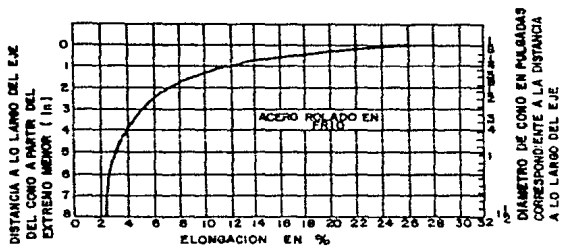


FIG. 8 DISTANCIA A LO LARGO DEL CONO Y TAMAÑO DEL MANDRIL CORRESPONDIENTE CONTRA PORCIENTO DE ELONGACION PARA PROBETAS DE ACERO ROLADO EN FRIO DE  $1/32$  in (0.79mm) DE ESPESOR.

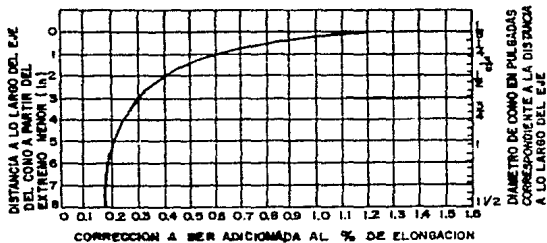


FIG. 9 CORRECCION POR ESPESOR DE PELICULA.

### 7.5.3 Adherencia de recubrimientos orgánicos (ASTM D 2197).

Este estándar cubre la determinación de la adherencia de recubrimientos orgánicos tales como pinturas, barnices y lacas cuando estos se aplican sobre probetas de acero al carbón planas y tersas. Son dos métodos los que describe este estándar.

- A. Por medio del aparato de rayado de varilla balanceada
- B. Por medio del aparato de ranuras paralelas.

En este trabajo, sólo se considera el primer método, el cual se sintetiza a continuación:

Los materiales a ser muestreados se aplican a un espesor uniforme sobre probetas planas de lámina metálica de superficie tersa y uniforme. Después de secar los materiales, se determina la adherencia haciendo pasar las probetas por debajo de una varilla redondeada sobre la que se colocan pesas de diferente magnitud hasta que el recubrimiento es levantado de la superficie de la probeta.

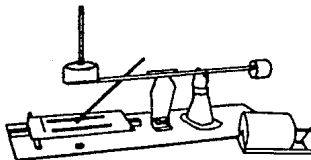


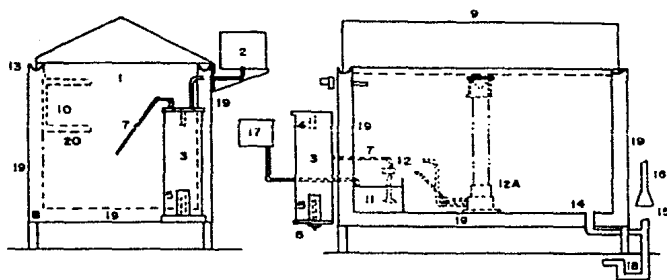
FIG. 10 BALANZA DE RAYADO.

7.5.4 Método de prueba de niebla salina sobre recubrimientos orgánicos.  
(ASTM B 117).

Este método establece las condiciones requeridas en la prueba de niebla salina para recubrimientos orgánicos cuando estos son aplicados sobre placas planas y tersas.

- Se aplica el recubrimiento a ser analizado sobre una probeta plana y tersa y se deja "curar" el tiempo que se mencione en su especificación. Después se coloca la(s) placa(s) dentro de la cámara de solución salina atomizada durante el tiempo que marque la especificación del recubrimiento. La aceptación o rechazo del producto dependerá de los problemas que presente este cuando sea sacado de la cámara salina (ampollamiento, burbujeo, levantamiento de la película, etc.).

Esta prueba representa un intemperismo acelerado lo que significa que la duración en horas del material a ser analizado representará años de servicio normal en ambientes agresivos.



1. TERMOMETRO Y TERNOSTATO PARA CONTROLAR AL CALENTADOR (8) EN LA BASE
2. DISPOSITIVO AUTOMATICO PARA NIVELAR EL AGUA
3. TORRE DE HUMIDIFICACION
4. REGULADOR AUTOMATICO DE TEMPERATURA PARA CONTROLAR AL CALENTADOR(5)
5. CALENTADOR EN INMERSION
6. ENTRADA DE AIRE DE ABERTURA MULTIPLE
7. TUBO DE AIRE PARA LA BOQUILLA DE ASPERSION
8. CALENTADOR EN LA BASE
9. CUBIERTA OPERADA HIDRAULICAMENTE O CONTRABALANZEADA
10. SOPORTES PARA LAS VARILLAS QUE SOSTIENEN A LAS PROBETAS
11. RECIPIENTE INTERNO
12. BOQUILLA DE ASPERSION ARRIBA DEL RECIPIENTE (BAFLEADA)
- 12A. BOQUILLA DE ASPERSION DENTRO DE LA TORRE DE DISPERSION (CENTRO DE LA CABINA)
13. SELLO DEL AGUA
14. COMBINACION DE SALIDA Y DESAGUE
15. SEPARACION PLENA ENTRE LA TUBERIA DE DESECHO DE CHORRO FORZADO (17) Y LA COMBINACION SALIDA-DESAGUE (14 y 15)
16. TUBERIA DE DESECHO DE CHORRO FORZADO
17. DISPOSITIVO DE NIVELACION AUTOMATICA PARA EL RECIPIENTE
18. TRAMPA DE DESECHOS
19. ESPACIO CON AIRE O CHAQUETA CON AGUA
20. RACK DE PRUEBAS

FIG. 11 GABINETE SALINO.

### 7.5.5

Método de prueba para la densidad de pinturas, lacas, barnices y productos relacionados. (ASTM D 1475).

Este método se utiliza para determinar la densidad de pinturas, barnices, lacas y componentes similares, diferentes de los pigmentos, cuando se encuentran en forma fluida. Es de particular aplicación cuando el fluido tiene una viscosidad alta o cuando el producto es demasiado volátil como para que una densidad relativa balanceada pudiera obtenerse.

Se emplea agua destilada a varias temperaturas para calibrar el volumen del recipiente. Después se pesa la pintura dentro de dicho recipiente a una temperatura estándar (P.E. 25°C) y la densidad se calcula en términos de gramos por mililitro.

Aplican las siguientes fórmulas:

$$V = (N - M) / \rho$$

$$D = (W - w) / V$$

V = Volumen del recipiente: ml

N = Peso del recipiente con agua: g

M = Peso del recipiente vacío: g

$\rho$  = Densidad del agua destilada a la temperatura específica: g/ml.

D = Densidad del recubrimiento: g/ml

W = Peso del recipiente con el recubrimiento: g

w = Peso del recipiente vacío: g

7.5.6 Método para determinar la viscosidad de materiales No-Newtonianos por medio del viscosímetro Brookfield. (ASTM D 2195).

Este método sirva para determinar la viscosidad aparente de recubrimientos midiendo el torque de una aguja que gira dentro del material.

Se emplea el viscosímetro Brookfield modelo LVF que tiene 4 velocidades de rotación.

Se deben hacer todas las mediciones tan cercano como sea posible a 25°C, o a cualquier otra temperatura que se tome como base. Se sitúa el instrumento en posición ajustable.

Se baja el viscosímetro hasta un nivel en el que la aguja quede a un nivel apropiado.

Se hace girar la aguja con el dispositivo del viscosímetro y se detiene la carátula del mismo en la cual se toma la lectura.

La viscosidad se obtiene como sigue:

$$V = fs$$

V = Viscosidad de la muestra (Cp)

f = Factor de la escala aplicado al tipo de aparato

s = Lectura de la carátula del viscosímetro

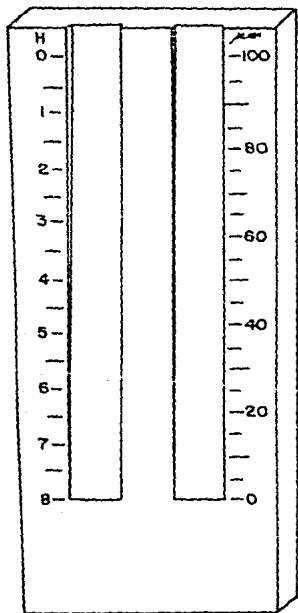
#### 7.5.7

Método de prueba para finura de dispersión de sistemas pigmento-vehículo (ASTM D 1210).

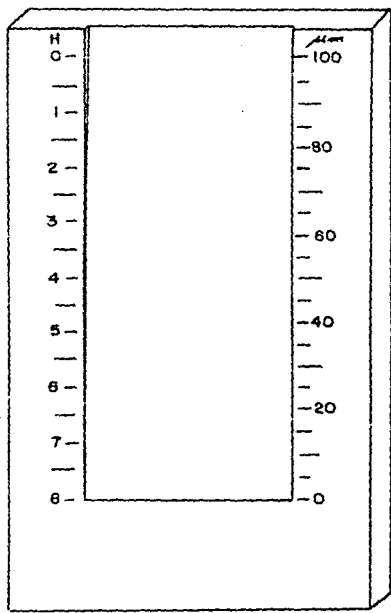
Este método establece la medida del grado de dispersión del pigmento (comúnmente referida como "finura de molienda") en un sistema pigmento-vehículo tal como como un recubrimiento líquido.

El producto (recubrimiento) se deposita sobre una placa ranurada y calibrada por medio de un raspador. En algún punto sobre esta trayectoria, llegan a ser visibles partículas o aglomerados o ambos. Se hace una lectura directa de la escala calibrada exactamente en el punto en el cual se ven los aglomerados. Dicha lectura es útil porque se puede conocer si aún le falta molienda al recubrimiento o si cubre los requerimientos dados en el estándar. El tamaño de partícula se obtiene en unidades Hegman o micras (ver escala).





MEDIDOR DE 2 GUIAS



MEDIDOR DE UNA GUIA

FIG. 13 MEDIDOR DE FINURA

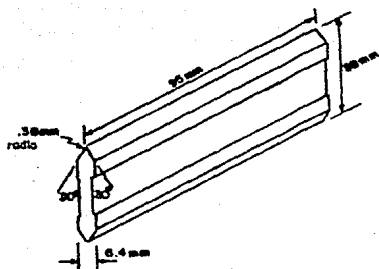


FIG. 23. RASPADOR

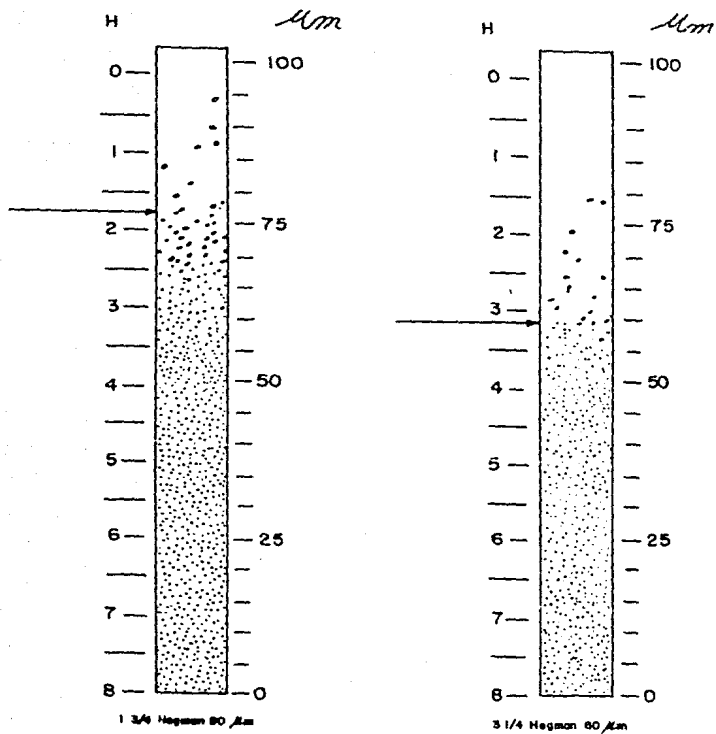


FIG. 14 MODELOS TÍPICOS DE FINURA.

## 7.6 Resultados.

### 7.6.1 Recubrimiento alcidico con minio.

Control de calidad.

TABLA 1

P r u e b a	Método (ASTM)	Mín	STD	Máx.
1 Secado al tacto (hs)	D-1640 D-1640	1/2	1	2
2 Secado duro (hs)	D-1640	4	8	24
3 Flexibilidad (% elongación)	D-522	10	1U	-
4 Adherencia (kg)	D-2197	3	6	-
5 Gabinete salino (hs)	B-117	200	200	-
6 Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	D-1475	2.1	2.2	2.4
7 Viscosidad (Cp)	D-2196	300	500	800
8 Finura (unidades Hegman)	D-1210	5	5	-
9 Poder cubriente (m <sup>2</sup> /l)	D-2805	16	18	-

7.6.2 Recubrimiento alcidico con cromato de zinc.

Control de calidad.

TABLA II

P r u e b a	Método (ASTM)	Min.	STD.	Máx.
1 Secado al tacto (hs)	D-1640	1	2.5	8
2 Secado duro (hs)	D-1640		20	24
3 Flexibilidad (% elongación)	D-522	10	12	
4 Adherencia (kg)	D-2197	4	4	
5 Gabinete salino (hs)	B-117	200	300	
6 Densidad (kg/l)	D-1475	1.09	1.09	1.3
7 Viscosidad (Cp)	D-2196	600	700	1500
8 Finura (unidades Hegman)	D-1210	3	3	5
9 Poder cubriente (m <sup>2</sup> /l)	D-2805	16	20	

7.6.3 Recubrimiento alcídico con fosfato de zinc.

Control de calidad.

TABLA III

P r u e b a	Método (ASTM)	Mín.	Std.	Máx.
1 Secado al tacto (hs)	D-1640	1	2	8
2 Secado duro (hs)	D-1640		18	24
3 Flexibilidad (% elongación)	D-522	10	10	
4 Adherencia (kg)	D-2197	4	6	
5 Gabinete salino (hs)	B-117	200	500	
6 Densidad (kg/l)	D-1475	1.09	1.09	1.3
7 Viscosidad (Cp)	D-2196	600	900	1500
8 Finura (U.H.)	D-1210	3	3	5
9 Poder cubriente (m <sup>2</sup> /l)	D-2805	16	18	

## 7.6.4

Comparación de resultados de los tres recubrimientos primarios.

TABLA IV

	Primario Alcídico		
	Minio	Cromato de zn	Fosfato de zn
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.2	1.09	1.09
Viscosidad (cp)	500	700	900
Gabinete salino (hr)	200	300	500
MNVP	80	52	51
MNVV	45	32	32
P v C	37	32	32
\$/kg	323.30	186.15	171.17
\$/l	694.45	202.9	186.60
\$/m <sup>2</sup>	38.6	15.5	14.2

Nota: Los precios unitarios de las materias primas (para el cálculo del costo por kilogramo de producto) son del tercer trimestre de 1985, estos pueden ser obtenidos rápidamente de los proveedores enunciados en la sección 7.1.3. de este trabajo.

CAPITULO VIII



## CONCLUSIONES

Como se hizo notar a través del desarrollo de este trabajo, es de gran importancia diseñar medios de protección al acero más eficaces debido a que el costo del mismo se eleva día a día teniendo en cuenta además que su uso es imprescindible.

De entre los pigmentos plomo rojo (minio), cromato de zinc y fosfato de zinc que se formularon cada uno con un vehículo alídico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gabinete salino. Esta es una de las pruebas más importantes que se hacen a un recubrimiento porque de acuerdo a las horas que éste resista dentro de la cámara salina, se puede extrapolar su duración en años de servicio dentro del ambiente en el que se instale el acero protegido con dicho recubrimiento. No existe una correlación matemática ni gráficas experimentales para confirmar lo anterior porque esta duración va a depender de la agresividad del medio ambiente. En este caso el recubrimiento con fosfato de zinc como pigmento anticorrosivo resistió 500 hs a diferencia del cromato de zinc (300 hs) y al minio (200 hs).

Costo por metro cuadrado. Este es el otro factor más importante para decidir sobre un determinado recubrimiento (es una relación entre el costo por litro y el rendimiento en metros cuadrados por litro). De la tabla IV se observa que el fosfato de zinc tiene un costo por metro cuadrado de \$ 14.2/m<sup>2</sup> a diferencia de \$ 15.5/m<sup>2</sup> (cromato de zinc) y \$ 38.6/m<sup>2</sup> (minio).

En cuanto a los demás resultados obtenidos, la densidad y viscosidad son propiedades que deben ser obtenidas ya que son parte de la especificación de cada recubrimiento y deben cumplir o ser lo más aproximadas que se pueda a lo que señalan dichas especificaciones. Los datos de materia no volátil en volumen (MNVV), materia no volátil en peso (MNVP) y concentración volumétrica de pigmento se obtuvieron, teóricamente con las fórmulas listadas en la sección 7.1.2. (capítulo 7).

Este tipo de pruebas son típicas en la decisión para la aplicación de un tipo de recubrimiento y para el desarrollo en la investigación de nuevos materiales cubrientes con propiedades anticorrosivas, que es necesario hacer para contar con una mejor tecnología para prevenir la corrosión.

Como conclusión, se tiene que un recubrimiento alféidico con fosfato de zinc como pigmento inhibidor de la corrosión resulta ser un buen primario en sistemas alféidicos para la protección anticorrosiva del acero. Además, las formulaciones hechas a base de fosfato de zinc resultan inofensivas para la salud a diferencia de las formulaciones con cromato de zinc y con minio que son en cierta medida dañinos para la salud. En Estados Unidos y Europa se está dando la tendencia a eliminarlos de la tecnología de recubrimientos.

## CAPITULO IX

## BIBLIOGRAFIA

1. Morcillo Manuel. Consideraciones técnicas y económicas en la protección por pintura de estructuras metálicas. UNAM. 1982.
2. BASF Mexicana, S.A. Anticorrosive pigments and corrosion inhibitors data sheet (1985).
3. Bennet P. Boffardi. Material performance Vol. 23, No. 11, Corrosion Control of Industrial Water Systems, P. 17-24, (1984).
4. Blanco Matas. Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos. Vol. II, Cap. 40, p. 1255 - 1258, (1974).
5. Burns and Bradley. Protective Coatings for Metals. 2nd. edition. Chapters, 13 and 14. Facultad de Química UNAM, (1959)
6. Cicero Rodríguez Gabriel. Tesis Profesional. Recomendación de sistemas de pintura para uso industrial. Facultad de Química, UNAM (1983).
7. Luisan, Carber y Season, S.A. Boletines Técnicos del Fosfato de Zinc (Delaphos).
8. Manual de Protección Anticorrosiva. Carboline, S.A. de C.V. (1980)
9. Pigmentos y Oxidos, S.A. Hojas Técnicas de los Pigmentos.
10. Weismantel, Guy E. Chemical Engineering. Paints and Coatings for Chemical Industries Plants and Equipment. P. 130-142. April 20 th. (1981).
11. Annual Book of ASTM standards  
Partes 27, 28 y 29  
American Society for Testing and materials.
12. Recubrimientos para protección anticorrosiva  
Requisitos de calidad, muestreo y pruebas, preparación de superficie, aplicación e inspección de recubrimientos.  
Petróleos Mexicanos (Normas para proyecto de obras)