

6

2 Ejen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TRABAJO ESCRITO VIA EDUCACION CONTINUA

**“RESINAS EPOXICAS EN RECUBRIMIENTOS
DE PROTECCION”**

INGENIERO QUIMICO

SERGIO MARCIAL ALVARADO MARTIN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F., MARZO DE 1994.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

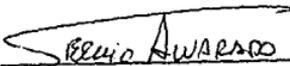
DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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.



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

Jurado Asignado:	
Presidente:	Prof.: JOSE MARIA GARCIA SAIZ
Vocal:	Prof.: DR. HELIO FLORES RAMIREZ
Secretario:	Prof.: JOAQUIN PALACIOS ALQUISIRA
1er. Suplente:	Prof.: MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO
2do. Suplente:	Prof.: MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ
Sitio donde se desarrollo el tema: Edificio "D" Facultad de Química	
Asesor del tema: DR. HELIO FLORES RAMIREZ	
 _____	
Sustentante: SR. SERGIO MARCIAL ALVARADO MARTIN	
 _____	

Quiero agradecer profundamente a mis padres su apoyo siempre incondicional y por haberme impulsado a superarme día con día, para tratar de ser un hombre honesto y justo.

A mis hermanos y sus familias, quienes siempre me han alentado y apoyado para ser un triunfador.

A mis amigos y compañeros porque han formado parte de mi vida.

A mis maestros quienes con su ejemplo y conocimientos me han permitido superarme.

Deseo sinceramente exhortar a todos aquellos alumnos y futuros colegas a que brinden siempre su mejor esfuerzo para su superación personal, familiar y profesional.

GRACIAS

"RESINAS EPOXICAS EN RECUBRIMIENTOS DE PROTECCION"

T E M A R I O

	Pág.
INTRODUCCION	2
CAPITULO 1.- CORROSION	4
CAPITULO 2.- FORMAS DE PROTECCION CONTRA LA CORROSION	20
2.1.- Selección de materiales	20
2.2.- Sobrediseño	20
2.3.- Cambio del medio o ambiente	21
2.4.- Protección catódica	21
2.5.- Recubrimientos	21
CAPITULO 3.- RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	30
3.1.- Clasificación de los recubrimientos por tipo de secado y sus características	30
3.2.- Clasificación de los recubrimientos por tipo de resina y sus características	36
3.3.- Importancia de la preparación de la superficie	39
CAPITULO 4.- FORMACION Y APLICACION DE UN RECUBRIMIENTO EPOXICO	52
4.1.- Materias primas para la obtención de las resinas epóxicas	52
4.2.- Estructura química de una resina epóxica	54
CAPITULO 5.- COMPARACION DE PROPIEDADES ENTRE UN SISTEMA EPOXI-AMINA Y EPOXI-AMIDA	59
5.1.- Características, ventajas y desventajas de un sistema Epoxi-Amina	59
5.2.- Características, ventajas y desventajas de un sistema Epoxi-Amida	62
CAPITULO 6.- CONCLUSIONES	73
CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFIA	77

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo primordial el análisis y el uso de las Resinas Epóxicas en la formulación y aplicación de un recubrimiento anticorrosivo, así como la comparación de propiedades entre un sistema epoxi-amida y un sistema epoxi-amina, para la protección contra la corrosión de equipos y estructuras en plantas industriales, así como la labor de prevención contra dicho fenómeno.

Para esto se mencionarán las diferentes formas de protección contra la corrosión y también se analizarán los diferentes tipos de recubrimientos anticorrosivos, con base en el tipo de resina y sus características principales, así como por el tipo de secado y sus características.

La decisión del uso y aplicación de las Resinas Epóxicas obedece a la versatilidad de éstas para ser formuladas con una amplia variedad de agentes de curado (crosslinking) y modificadores, dependiendo del uso final que se desee obtener.

Las características principales de los recubrimientos anticorrosivos en los que se emplean epóxicas son su excelente resistencia química, particularmente a medios alcalinos, su excelente adhesión a una variedad de sustratos, su alta resistencia a esfuerzos tensionantes, de compresión y flexionantes, su bajo encogimiento en el curado, sus excelentes propiedades eléctricas y retardamiento del

envejecimiento en la exposición en ambientes difíciles, su
remarcable resistencia a la corrosión y su alto grado de
resistencia al intemperismo, entre otras de sus bondades.

CAPITULO 1

CORROSION

Las primitivas teorías electroquímicas no explicaban el carácter local y aparentemente caprichoso de la corrosión. No consiguieron explicar por qué la corrosión produce, a veces, en sus primeras fases, un estrato compacto y continuo que detiene el ataque, en tanto que en otras ocasiones el producto resultante es de naturaleza porosa o flocculenta y parece estimular el ataque. Las primitivas teorías dejaron de registrar el fenómeno del picado; no demostraron por qué se produce aquélla con más rapidez en el fondo de un pozo profundo, que en otras partes, pues tal lugar, cabía esperar fuera inaccesible al oxígeno y otros agentes corrosivos. Cuando se sumergen en un mismo líquido dos fragmentos de hierro, y se expone uno de ellos a la acción del oxígeno disuelto, al mismo tiempo que se protege al otro con una capa de óxido húmedo, el electrodo protegido se convierte en ánodo. Se ha mostrado que los pares galvánicos pueden originarse por una aireación diferencial de muchos metales. Así se encuentra la explicación al hecho de que la corrosión se produzca en mayor escala en aquellos lugares a los cuales el oxígeno tiene el mínimo de acceso directo. Cuando se sumerge en agua un metal y se exponen algunas de sus partes a la acción del oxígeno disuelto, al paso que se protegen otras, se producen, en la región a la cual tiene acceso el

oxígeno, delgadas películas de óxido o hidróxido, que protegen o dan carácter catódico a aquella parte de la superficie. Se establecen entonces corrientes eléctricas entre otras partes de la superficie metálica, a las que no tiene acceso el oxígeno, y las más aireadas. Aquéllas constituyen el ánodo y son corroídas, en tanto que las protegidas o catódicas resultan relativamente inmunes al ataque.

El término corrosión se aplica a la alteración destructiva de materiales por reacción química con una sustancia cualquiera, sólida, líquida o gaseosa. El metal puede corroerse uniformemente por toda su superficie, como ocurre en el enmohecimiento del hierro en la atmósfera. Puede sufrir un ataque tan sólo superficial que no afecte seriamente a la tenacidad del metal o aleación pero cambie el color de su superficie, como le ocurre a la plata en la atmósfera, que solamente se desluce. La corrosión puede desarrollarse en zonas localizadas sobre una superficie, originando posteriormente el picado o corrosión alveolar que puede, en algunos casos producir una pronta rotura por perforación. Una aleación puede ser atacada de manera que se eliminen uno o varios de sus constituyentes, dejando un residuo débil de elementos no atacados con propiedades metálicas más pobres, como ocurre en la deszincificación de latón amarillo o en la grafitación del hierro colado. Puede

producirse una corrosión excesiva en zonas localizadas en que la propia endeblez de la forma dada al objeto tiende a agravar las condiciones de corrosión, como ocurre en las grietas bajo remaches, pernos y superficies juntas. Cuando se juntan dos metales diferentes, puede ocurrir que el más activo ataque fuertemente al otro en la unión. Los esfuerzos mecánicos intensos junto con las condiciones corrosivas específicas pueden dar lugar a la rotura del metal debida a la corrosión a lo largo de trayectos críticos.

Los productos de la corrosión pueden ser solubles en el medio corrosivo, observándose un ataque muy rápido. En la mayoría de los casos, los productos de corrosión son insolubles y forman escamas poco adherentes sobre la superficie del metal o bien forman películas protectoras estrechamente adheridas y que sofocan el proceso de corrosión.

El proceso fundamental es la cesión de electrones de los átomos del metal a otros átomos o iones. Procesos análogos se presentan en la oxidación a temperatura elevada y con algunos agentes orgánicos corrosivos. La corrosión es un proceso electroquímico, por cuanto la destrucción química va acompañada de circulación de electricidad.

En el ánodo se corroe un ion de metal por cada electrón que circula a través del metal hacia el cátodo. Por tanto, la corrosión y la corriente obedecen a la ley de Faraday.

La circulación de electrones del ánodo al cátodo a través del metal es función de las diferencias de potencial entre las zonas anódica y catódica. Estas pueden hallarse sobre metales diferentes en contacto, o pueden ser zonas diferentes sobre la misma superficie metálica. La diferencia de potencial puede originarse a causa de la falta de homogeneidad de la superficie respecto a la variación de las películas sobre el metal, de los diferentes componentes metalúrgicos, de las inclusiones en forma de impurezas, de distribuciones no uniformes de esfuerzos, de gradientes de temperaturas, de diferencias de concentración en ciertas partes de la solución o de velocidad en zonas diferentes. Las corrientes de corrosión pueden deberse a un generador exterior, como es el caso de las corrientes parásitas o de las tensiones aplicadas en los sistemas catódicos de protección. La magnitud de la corrosión será proporcional a la intensidad de la corriente que circula entre las zonas anódica y catódica. La intensidad viene regulada por los procesos que tienen lugar en las superficies anódica y catódica. Estos procesos en los electrodos se hallan fuertemente influenciados por factores tales como la acidez de la solución, la fuerza electromotriz, la presencia de agentes oxidantes, la temperatura, la velocidad, los inhibidores y la concentración y por otros factores físicos.

Esta tendencia de los metales a corroerse desprendiendo

hidrógeno viene indicada de manera general por sus posiciones en la serie de fuerzas electromotrices de los elementos. Estos datos se aplican solamente a condiciones reversibles termodinámicamente. No incluyen factores determinativos de velocidad como otras concentraciones de los iones. Cuando más negativo sea su potencial, tanto mayor es la tendencia del metal a pasar a la solución y tanto mayor es su actividad. Las variaciones de concentración de los iones, el carácter de éstos o el pH, pueden alterar las posiciones relativas de estos elementos.

La serie de las fuerzas electromotrices no proporciona una base para predecir la corrosión. Con el metal descubierto, pueden producirse reacciones secundarias que mantengan o aceleren la corrosión. El cobre no desplaza al hidrógeno del ácido acético desprovisto de aire y por tanto, no se corroerá cuando esté sumergido en dicho ácido. El aluminio tiende a desplazar al hidrógeno de las soluciones, pero en las más neutras adquiere una película protectora de óxido que impide, en seguida, la corrosión.

En el exterior de los botes de lata, el hierro es anódico respecto al estaño y el bote se oxidaría si el recubrimiento fuera poroso. La gran ventaja del bote de lata es que en el interior, al no haber aire, el estaño es anódico respecto a hierro.

La circulación de corrientes de corrosión entre los

ánodos y cátodos que comprenden las pilas locales sobre una superficie metálica y la aparición de reacciones secundarias ocasionan, frecuentemente, un cambio en el potencial de electrodo del metal que, por tanto, alcanzará un valor distinto del reversible consignado en la serie de fuerzas electromotrices. Este nuevo valor que se observa cuando existe corrosión, es el llamado potencial de corrosión del metal.

La ordenación de metales y aleaciones según los potenciales que desarrollan, mientras se corroen libremente, darían una serie galvánica. Las posiciones relativas en la serie galvánica, que es una función del potencial, no predicen las velocidades de corrosión que son función de la intensidad de la corriente.

La serie galvánica relativa para numerosos corrosivos y para muy diversas condiciones de exposición. Los valores numéricos de los potenciales variarán de un electrólito a otro. También estarán influenciados por las condiciones físicas de la exposición a la corrosión.

Los potenciales de corrosión y las velocidades de corrosión no se corresponden. Las corrientes entre ánodos y cátodos locales originan la formación de productos en el ánodo, cambios de iones en el cátodo y cambio de iones y concentración en la solución. Estos cambios introducen resistencias a la corriente y alteran los potenciales de los

ánodos y cátodos locales. Los cambios son tales que hacen disminuir las corrientes de corrosión. El potencial del ánodo tiende a acercarse al valor del cátodo y éste varía acercándose al del ánodo, al intensificarse la corriente. Estos cambios de potencial, incluyendo las caídas óhmicas de tensión (IR), constituyen la polarización.

El oxígeno y otros agentes oxidantes pueden afectar a las velocidades de corrosión de los metales aumentando la velocidad de ataque al mantener las reacciones en el cátodo, o bien pueden hacer disminuir la corrosión si crean películas protectoras sobre la superficie del metal. Las variaciones de concentración de los agentes oxidantes sobre una superficie metálica pueden originar corrosiones localizadas muy severas.

Los procesos de corrosión requieren la reducción de elementos o iones en las zonas catódicas, tal como la reducción de hidrogeniones, oxígeno u otro agente oxidante que pueda estar presente. Cuando se reducen los hidrogeniones, se retardará la corrosión si no se extrae el hidrógeno, ya sea por desprendimiento o por reacción para formar agua, peróxido de hidrógeno o iones oxhidrilo. Las reacciones de corrosión que implican la reducción directa del oxígeno u otro agente oxidante no se podrán mantener si no puede disponerse de un suministro adecuado de estos reactivos a las zonas catódicas. Por tanto, en muchas reacciones de

corrosión, la ausencia de agentes oxidantes hará disminuir mucho la corrosión, mientras que su presencia la acelerará.

La velocidad de corrosión crece con la temperatura. Los efectos secundarios variables con la temperatura pueden hacer disminuir la velocidad de corrosión.

De las aguas o soluciones pueden depositarse, en función de la temperatura, depósitos insolubles en forma de escamas las cuales hacen disminuir la velocidad con depósitos insolubles en forma de escamas, las cuales hacen disminuir la velocidad con que se transmite el calor.

Al aumentar la velocidad de circulación de un líquido corrosivo sobre una superficie metálica aumentará, en general, la velocidad de corrosión. Puede evitarse la formación de películas protectoras de productos de la corrosión. Con mayor velocidades de circulación puede alcanzarse el régimen turbulento en el cual se forman cavidades en el líquido; éstas caen sobre la superficie del metal y desarrollan una forma de ataque mecánico y químico o erosión por cavidades. Las velocidades elevadas pueden iniciar la corrosión por erosión. Si sobre la superficie del metal se desarrollaran velocidades no uniformes, podrían desarrollarse pilas galvánicas locales a causa de las diferencias locales de concentración del oxígeno o de ciertos iones en el medio corrosivo. Cuando algún componente de la solución pueda ocasionar pasividad en el metal o aleación

formando una película protectora. El aumento de velocidades pueda, también, acentuar la corrosión galvánica entre metales diferentes.

Los metales y aleaciones que precisan de un suministro de oxígeno o agente oxidante para mantener la película protectora, suelen presentar menores velocidades de corrosión a velocidades de circulación mayores. En las soluciones estancadas en las que el oxígeno y los agentes oxidantes entran en contacto con el metal sólo por difusión lenta, el metal sufrirá corrosión local en las grietas o se picará en aquellas zonas en las que no se mantiene la película protectora. Los aceros inoxidable se pican en el agua del mar, mientras que en aguas quietas o que se muevan lentamente se corroen en las grietas; resisten muy bien cuando la velocidad del agua del mar se mantiene sobre 1,2-1,5 m/s, límite superior al que se encuentra suciedad. Los equipos de acero inoxidable diseñados con hendiduras podrán sufrir corrosión por grietas en el agua del mar aun cuando las velocidades de circulación sean grandes sobre la mayor parte de su superficie.

El aumento de velocidad del corrosivo acentuará la corrosión galvánica y, en algunos casos, imposibilitarán el empleo de ciertas combinaciones bimetalicas que podrían emplearse en caso de velocidades menores. La corrosión de pares bimetalicos viene regulada por la velocidad de reacción

en el cátodo, requiriendo oxígeno. El movimiento de la solución tenderá a sacar el hidrógeno de las superficies catódicas, llevando oxígeno a ellas.

Inhibidores. Los inhibidores químicos, cuales son los agentes oxidantes que forman y mantienen películas pasivas, o algún otro tipo de reactivo formador de película, incrementan la polarización de los ánodos o cátodos locales, reduciendo así las corrientes de las pilas locales de corrosión.

Pilas de concentración. Si a medida que se desarrolla la corrosión cambian de un lugar a otro las zonas anódicas, puede tener lugar una corrosión uniforme. Esta se debe, principalmente, a las diferencias entre los constituyentes del metal. Los potenciales de disolución de los ánodos y cátodos locales pueden venir influidos por factores externos de manera que la reacción anódica se concentre en zonas locales restringidas.

Pilas de concentración de ion metálico. La disolución de un metal viene influenciada por la concentración de iones de dicho metal en la solución en íntimo contacto con la superficie del metal. Cuanto más baja sea la concentración del ion metálico tanto mayor será el potencial de disolución del metal y su tendencia a disolverse o a la corrosión. Si las condiciones son tales que la concentración de los iones metálicos en una solución en un punto de una superficie metálica es diferente de su concentración en otro punto de la

misma superficie, las dos zonas desarrollarán potenciales de disolución diferentes aun cuando los constituyentes de la superficie puedan ser idénticos en cuanto a composición y estructura física. La diferencia de potenciales hará que circule la corriente entre las dos zonas mientras haya gradiente de concentración.

Pilas de concentración de oxígeno. La diferencias de concentración del oxígeno de la solución en diferentes puntos de una superficie metálica pueden originar potenciales de disolución diferentes. El metal en contacto con la solución de menor contenido de oxígeno tenderá a corroerse o disolverse más que el metal en contacto con la solución más oxigenada.

Esta clase de corrosión va asociada frecuentemente a las grietas y depósitos en donde haya una pequeña superficie metálica blindada contra la solución oxigenada que está en contacto con la superficie plenamente descubierta del metal adyacente a la grieta o depósito. La zona anódica o de corrosión con potencial de disolución más activo se hallará en el interior de la grieta o bajo el depósito, donde la concentración de oxígeno es pequeña.

Esfuerzos. Cuando en un medio particular, la presencia de esfuerzos internos o la aplicación de esfuerzos externos pueda afectar la velocidad de corrosión, a la acción combinada se le da el nombre de corrosión por esfuerzo. En

los casos en que pueda ocasionar rotura, al proceso se da el nombre de rotura por corrosión de esfuerzo. Los esfuerzos internos incluyen a los esfuerzos residuales desarrollados en el equipo durante su fabricación y que en él quedaron. Estos esfuerzos pueden estar uniformemente distribuidos o no y en muchos casos pueden estar asociados con deformaciones internas, como ocurre en el laminado en frío. Los esfuerzos aplicados son los que se producen durante el trabajo.

Corrosión galvánica. Cuando dos metales distintos sumergidos en un electrólito se hallan en contacto, la diferencia entre sus potenciales de disolución tenderá a hacer circular una corriente de un metal al otro a través de la solución, volviendo dicha corriente al primer metal a través del contacto metálico. Esta corriente incrementará la corrosión en un metal, haciéndola disminuir algo en el otro. El metal o aleación que sufre el aumento de corrosión es el más activo o ánodo y tiene el potencial de disolución mayor (más electronegativo). El otro, más noble, tiene un potencial más electropositivo y es el cátodo. La intensidad de la corrosión galvánica viene influida por la posición relativa de los metales y aleaciones en la serie galvánica y por la magnitud de la diferencia de potencial. Aun cuando la magnitud de la diferencia de potencial entre dos metales no constituye una medida de la corrosión galvánica que pueden desarrollar al acoplarlos, la serie galvánica puede servir,

dentro de ciertos límites, como guía cualitativa para seleccionar metales diferentes que puedan utilizarse puestos en contacto. Como norma general, aquellos metales y aleaciones contenidos en un grupo dado cualquiera pueden utilizarse en contacto con toda seguridad. No será aconsejable, en general, el acoplo de metales pertenecientes a dos grupos muy separados.

Otro factor que influye sobre la corrosión galvánica es la conductibilidad del circuito. Si los metales diferentes estuvieran separados por un separador de gran resistencia, entre ellos no circularía corriente alguna. Si el contacto eléctrico o el conductor tuvieran una resistencia baja o moderada, podría circular la corriente galvánica si bien, en muchos casos, no sería tan intensa como cuando los metales estuvieran en contacto directo. La conductibilidad de los metales diferentes suele ser mayor que la necesaria para conducir cualquier corriente que pueda generarse en las superficies metálicas. La propia conductibilidad de la solución puede influir sobre la naturaleza de la pila galvánica. En las aguas de baja conductibilidad eléctrica, la acción galvánica se restringirá a las zonas inmediatamente adyacentes a la unión de los metales. Esto suele originar una mayor corrosión del metal más activo a lo largo de la unión, sin aumento sustancial en las zonas alejadas. En las soluciones de gran conductibilidad eléctrica las zonas más

alejadas pueden entrar en la acción galvánica y el resultado será, corrientemente, una distribución más uniforme de la corrosión galvánica sobre la superficie del metal activo.

La intensidad de la corriente está regulada por la polarización del metal del cátodo. Una área anódica pequeña y una gran área catódica suelen ocasionar gran densidad de corriente en el ánodo y pequeña en el cátodo. La superficie del cátodo no se polarizará. El ánodo sufrirá una severa corrosión debida a la gran densidad de corriente. En un par de ánodo grande y cátodo pequeño la gran densidad de corriente en el cátodo lo polarizará de manera que podrá mantener una corriente galvánica intensa y la baja densidad de corriente del ánodo se refleja en un pequeño aumento de corrosión debida al acoplo galvánico.

Corrientes parásitas. Una corriente eléctrica parásita puede dar origen a una fuerte corrosión si no se conectan a tierra adecuadamente los generadores eléctricos. Si el retorno de la corriente presenta mayor resistencia que una estructura metálica próxima que podamos considerar en paralelo con dicho retorno, la corriente abandonará su camino y saltará a la estructura próxima y, eventualmente, volverá al generador. Esta corriente que circula por caminos paralelos al que debería seguir es una corriente parásita. Si es continua producirá corrosión en los puntos por donde salga. Si el generador fuera de corriente alterna, el

perjuicio dependerá del grado de rectificación del circuito de la corriente parásita, el cual se halla afectado, a su vez, por la naturaleza de los óxidos presentes en las estructuras.

En las líneas subterráneas, tales como las telefónicas, de potencia, conducciones de petróleo y ferrocarriles eléctricos, deberán regularse con cuidado las corrientes parásitas, ya que pueden hacerse muy intensas y originar serios perjuicios en poco tiempo. Los sistemas catódicos de protección de una línea subterránea pueden ocasionar corrosión por corriente parásitas de otra línea o estructura próxima. Una de las maneras más eficaces de regularlas es encintar juntas las estructuras, de manera que la corriente siga por el encintado metálico común en lugar de pasar de una estructura a otra a través de la tierra.

Protección catódica. La protección catódica entraña la aplicación de una corriente continua a una estructura, de manera que ésta constituya la parte catódica del circuito. El método no tiene valor alguno para proteger las estructuras o superficies que se hallen continuamente en la atmósfera o en líquidos no conductores. Las estructuras deben estar enterradas en el suelo o inmersas en soluciones conductoras.

La protección catódica puede describirse mediante diagramas que simbolicen las corrientes de acción local sobre un metal en corrosión y las corrientes aplicadas

exteriormente a esta superficie. La acción local genera corriente entre la zona del ánodo y las zonas catódicas adyacentes. Cuando se aplica una corriente procedente de un generador exterior disminuye la intensidad de la corriente de acción local.

Este sistema de electrodos se comporta como un par galvánico de metales diferentes. La introducción de este ánodo exterior produce el mismo efecto que aumentar el cociente entre las áreas del ánodo y del cátodo, que para una intensidad total dada procedente del cátodo dará una menor densidad de corriente sobre las superficies anódicas.

La aplicación de una corriente catódica externa de protección debilitará la corriente anódica local, desplazará el potencial anódica a lo largo de su curva de polarización hacia su valor en circuito abierto y hará crecer la polarización del cátodo local a lo largo de su curva de polarización al intensificarse la corriente pasando a valores más elevados. Estas variaciones de potencial de electrodos locales ocasionarán un cambio del potencial medido del metal que recibe la protección catódica. La magnitud de este cambio vendrá gobernada por los potenciales de electrodos locales y por las pendientes de las curvas de polarización del ánodo local y del cátodo local.

CAPITULO 2

FORMAS DE PROTECCION CONTRA LA CORROSION

2.1.- SELECCION DE MATERIALES.

La Selección de Materiales tiene un papel muy importante para tratar de obtener los máximos beneficios que se puedan obtener de los equipos que estemos pensando en proteger contra la corrosión, lo cual nos llevará a tener mayores tiempos de vida útil de los equipos a proteger contra la corrosión y por ende menos tiempos de paros de estos equipos con su consabida pérdida de productividad y el alto costo por mantenimiento de éstos. Por lo tanto es necesario que hablemos de algunos de los métodos y procedimientos que son utilizados para el control de la corrosión.

2.2.- SOBREDISEÑO

El Sobrediseño es un método con el cual contamos para prevenir la corrosión.

Este método nos sugiere el uso de Miembros Estructurales más pesados o placas más gruesas que las requeridas; prácticamente no tiene ventaja alguna el empleo de este método y por el contrario algunas de las principales desventajas son:

- No se puede predecir la vida de servicio del equipo y
- Representa un alto costo inicial.

2.3.- CAMBIO DE MEDIO O AMBIENTE.

La modificación del Medio o Ambiente es una forma de protección contra la corrosión, un ejemplo de este es el sistema de tratamiento de agua o en cisternas de circulación de agua.

La principal ventaja de este método es que es sumamente sencillo y la principal desventaja es que deben ser cuidadosamente controladas las cantidades y tipos de productos químicos a utilizar.

2.4.- PROTECCION CATODICA

La Protección Catódica es un método altamente utilizado para la protección contra la corrosión, algunos ejemplos típicos del uso de este método son en:

- Cascos de barcos abajo de la línea de flotación y
- Tuberías enterradas.

La gran ventaja de este método es que es:

- Sencillo y
- Efectivo en presencia de un buen electrólito.

Su desventaja principal es que:

- Tiene una utilidad limitada en áreas secas y
- Se requiere necesariamente una inmersión para aplicar este método.

2.5.- RECUBRIMIENTOS.

Este método es ampliamente utilizado como una forma de protección contra la corrosión. De hecho este trabajo esta

enfocado y orientado a los recubrimientos anticorrosivos y particularmente a los recubrimientos epóxicos.

Para esto, es necesario comentar que un recubrimiento esta compuesto, básicamente, de:

- Un vehículo o binder y
- Pigmentos.

A su vez un vehículo esta formado por la apropiada mezcla de:

- Resinas,
- Solventes y
- Aditivos.

Los pigmentos por su parte pueden clasificarse en:

- Pigmentos inhibidores,
- Cargas ó inertes y
- Pigmentos, colorantes ó entonadores.

Una Resina es un compuesto orgánico o inorgánico de tipo polimerico capaz de formar una película y que fija al pigmento con adherencia al sustrato metálico ó capa previa. Deben formar capas o barreras flexibles, durables, impermeables al medio ó ambiente, "curan" o polimerizan por secado al aire o por reacción química entre los ingredientes del recubrimiento.

Los Solventes son líquidos orgánicos de base alifatica ó aromática cuya función principal es la de disolver las resinas y aditivos dando un medio adecuado para la dispersión

del pigmento, cabe hacer la aclaración que "NO SON FORMADORES DE PELICULA" ya que se eliminan del recubrimiento a través del proceso de secado.

Algunas propiedades del recubrimiento tales como viscosidad, facilidad de aplicación y porosidad dependen del solvente.

Para la adecuada selección de un disolvente se requiere tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- poder de disolución,
- temperatura de ebullición,
- velocidad de evaporación,
- inflamabilidad,
- toxicidad y olor,
- naturaleza química y
- costo.

No existe una explicación completa para determinar la disolución de un polímero, pero hasta ahora se aceptan que son dos los factores o parámetros los que gobiernan el poder disolvente.

1º.- Capacidad de las ligaduras hidrógeno del líquido.

Los disolventes se clasifican de acuerdo a esto en tres grupos principales:

- a) Líquidos con ligaduras hidrógeno débiles, como ejemplos tenemos:
 - Hidrocarburos,

- Cloro y
- Nitroparafinas.

b) Líquidos con ligaduras hidrógeno moderadas,
como ejemplos tenemos:

- Cetonas,
- Esteres,
- Eteres y
- Alcohol-eteres.

c) Líquidos con ligaduras hidrógeno fuertes, como
ejemplos tenemos:

- Alcoholes y
- Agua.

2º.- Parámetro de solubilidad.

Para cada disolvente se calcula termodinámicamente, a partir del calor latente de evaporación y el valor de éste parámetro es una medida de las "fuerzas de atracción" entre las moléculas líquidas.

Los Aditivos: Son compuestos metálicos u organometálicos agregados en pequeñas cantidades que influyen grandemente en la viscosidad y estabilidad del recubrimiento líquido y en el poder de nivelación y apariencia de la película ya aplicada, y estos son tales como:

- Agentes Secantes: Estos tienen la propiedad de acelerar el proceso de oxidación y polimerización de la resina durante su secado a fin de obtener películas sólidas en

corto tiempo, como ejemplos tenemos a:

- naftenatos,
 - octoatos,
 - ftalatos de cobalto, plomo, manganeso y calcio.
- Agentes Antioxidantes: Tienen la finalidad o propiedad de inhibir o retardar la oxidación superficial del recubrimiento líquido que se manifiesta como una "nata" ya sea en recipientes abiertos y/o cerrados, algunos ejemplos de estos son:
- Etilmetilcetoxima,
 - Butiraldioxima.
- Agentes estabilizadores de la dispersión: Estos evitan el asentamiento o separación del pigmento manteniendo la dispersión durante tiempos razonales, algunos ejemplos de estos son:
- bentonitas,
 - lecitina,
 - thixina.
- Agentes Modificadores de Flujo y Viscosidad: Estos son productos que imparten al recubrimiento la "tixotropía" y poder de nivelación dando películas continuas y uniformes, algunos ejemplos de estos son:
- thixina,
 - bentonitas,
 - aceite de castor deshidratado,

- poliamida,
 - etil amina etanol y
 - mono oleato de glicerina.
- Agentes Surfactantes: Son compuestos orgánicos que facilitan la humectación y dispersión del pigmento, evitan la formación de espuma , aumentan la humectación del recubrimiento sobre el sustrato metálico, algunos ejemplos son:
- ácido oleico,
 - ácidos orgánicos,
 - aceite de pino,
 - jabones solubles en agua,
 - estearatos de aluminio y calcio.
- Agentes de Adición Especiales: Estos modifican otras propiedades del recubrimiento dándole efectos específicos tales como, poder biocida y biostático, plastificantes, absorción de rayos UV, ejemplo:
- óxido cuproso.

PIGMENTOS.

Son sustancias sólidas orgánicas o inorgánicas que reducidas a tamaños de partículas inferiores a 25.4 μm y dispersas en el vehículo imparten a la película seca del recubrimiento propiedades tales como:

- resistencia a la corrosión,
- resistencia mecánica,

- poder cubriente,
- protección a la resina contra rayos UV

Algunas de las características deseables de los pigmentos son:

- sin reactividad con el vehículo,
- facilidad de humectación,
- facilidad de dispersión,
- resistencia al calor, luz y agentes químicos.

CLASIFICACION DE LOS PIGMENTOS.

a) Pigmentos Inhibidores: Se caracterizan por inhibir en mayor o menor grado la corrosión sirviendo como "barrera" entre los agentes químicos y el sustrato metálico, por lo que deben formar barreras sin poros, algunos ejemplos de estos son:

- minio,
- subóxido de plomo,
- cromato básico de zinc,
- polvo de zinc,
- óxido de zinc,
- amarillo de zinc, etc.

b) Cargas o Inertes: Frecuentemente la cantidad pigmento inhibidor para dar la protección contra la corrosión y para la protección de la resina contra la acción degradante de la luz UV es inferior a la requerida por la formulación, por lo que es práctica común cubrir el

excedente con pigmentos o cargas inertes que abaten costos, algunos ejemplos son:

- silicato de magnesio,
- mica,
- talco,
- silica de diatomáceas,
- baritas y
- bentonitas.

c) Pigmentos Entonadores: Son compuestos solubles o fácilmente dispersables en el vehículo y que en menor proporción que los pigmentos inhibidores permiten lograr diferentes tonos y colores en el recubrimiento, algunos ejemplos son:

- azul de ftalocianina,
- rojo toluidina,
- naranja de dinitro anilina y
- naranja de molibdato.

Relación Resina-Pigmento.

Los efectos obtenidos de la "formulación-comportamiento" de un recubrimiento representa una de las variables más importantes puesto que el "pigmento" (inhibidor, entonador y carga) debe estar en cantidad suficiente para lograr las "propiedades" mecánicas y anticorrosivas "deseadas" pero sin estar en exceso tal que la "resina disponible no alcance a ocluirlo totalmente"

Esta relación se maneja a través del concepto PVC (pigmento concentración volumen) y determina la "concentración" de "pigmento" en "volumen" en la película seca.

Generalmente tenemos que:

PVC es menos al 35% para primarios.

PVC es menor al 26% para acabados.

Sin embargo el valor más adecuado en cada caso deberá determinarse EXPERIMENTALMENTE.

CAPITULO 3

RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS.

3.1.- CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS POR TIPO DE SECADO Y SUS CARACTERISTICAS.

Los recubrimientos anticorrosivos son sistemas líquidos, semilíquidos o sólidos (en forma de polvo), los cuales, al ser aplicados sobre una superficie deben perder su parte volátil (si es que la tienen) y depositarse continua y firmemente adherida al sustrato con el fin de que puedan ejercer sus funciones decorativas o de protección sobre el mismo.

SECADO AL AIRE.

El secado al aire consiste en algunos casos en una simple evaporación de la parte volátil del recubrimiento, pero en otros, el proceso no es tan simple y viene acompañado de una serie de cambios en la parte no volátil debido ya sea a oxidación con el oxígeno del aire, a la influencia de catalizadores, etc.

Este tipo de secado se efectúa generalmente a temperatura ambiente, pero puede ser "forzado" a temperaturas que oscilan entre 35-90°C con el fin de acelerar la formación de la película.

Este método esta influenciado directamente por las condiciones del medio tales como TEMPERATURA, HUMEDAD, CORRIENTES DE AIRE, ETC. Una temperatura atmosférica de 4°C

se considera como el mínimo para hacer una buena aplicación DE PINTURA, pero en el caso de aplicación con pistola de aire se recomienda una temperatura límite de 10°C, ya que la expansión del aire y la volatilización de los disolventes provocan una depresión de temperatura. Aplicando a temperaturas demasiado BAJAS se tiene el peligro de una película de PINTURA, defectuosa, con falta de adhesión, formación de ampollas, falta de brillo debido a precipitación de las resinas, etc.

La humedad relativa es también un factor importante en la aplicación de una pintura, ya que una concentración alta de humedad puede producir defectos tales como la formación de NIEBLA, sobre todo en el caso de lacas formuladas con disolventes de bajo punto de ebullición, los cuales al evaporarse rápidamente producen un enfriamiento y una condensación de humedad sobre la película; además se puede presentar la formación de ampollas, etc.

Tanto una temperatura demasiado baja como un alto porcentaje de humedad pueden retardar considerablemente el secado de la película de la pintura, por lo cual, para obtener resultados óptimos se aconseja trabajar a temperaturas de 25-35°C y a una humedad relativa de 25-35%, además se recomienda mantener una ventilación adecuada con el fin de evitar concentraciones demasiado altas de disolvente.

Secan al aire todas las pinturas de tipo arquitectónico

tanto para interiores como para exteriores, las pinturas para mantenimiento de estructuras y equipo, las pinturas empleadas en señales de tráfico y en la mayoría de los anuncios en serie que se encuentran en las calles, los acabados para pisos, las lacas y esmaltes para madera, las pinturas para carros tanque, vagones de ferrocarril, barcos, etc.

También se secan al aire algunos acabados industriales cuando no se cuenta con el equipo necesario para usar materiales de secado al horno, o bien cuando por alguna otra razón especial no puede ser usado este método, por ejemplo, lacas o esmaltes para repintado de automóviles, acabados para muebles de acero para oficinas o gabinetes de cocina, etc.

Todos los materiales porosos, tales como papel o madera requieren un secado al aire o forzado a bajas temperaturas, ya que a temperaturas más altas, puede haber distorsiones del sustrato o formación de burbujas debido al desplazamiento del disolvente retenido en los poros del material.

En el secado forzado las piezas son introducidas en hornos especiales mantenidos a temperatura y humedad constantes y con un sistema de extracción de aire. La proporción de aire sustituido depende de la cantidad de disolvente que se evapora y se considera alrededor de 1.25-2.50 m³, por litro de disolvente evaporado.

SECADO POR EVAPORACION DE DISOLVENTES.

En este caso la película seca exclusivamente por

evaporación de los disolventes del sistema sin que se efectúe ningún cambio químico en la estructura de los materiales formadores de la película; como ejemplo típico tenemos los diferentes tipos de lacas a base de éteres o ésteres de la celulosa o de resinas vinílicas, algunas soluciones de resinas y las pinturas emulsionadas a base de copolímeros vinílicos o acrilovinílicos, etc.

La evaporación del disolvente se puede efectuar al aire, o puede ser forzada por medio del calor.

SECADO POR OXIDACION.

En este grupo se encuentran los esmaltes y barnices formulados a base de aceites secantes, los cuales toman el oxígeno del aire en sus dobles ligaduras polimerizándose y formando películas duras y más o menos resistentes.

SECADO POR INFLUENCIA DE AGENTES EXTERIORES DIFERENTES DEL OXIGENO.

Tenemos en este grupo por ejemplo, las pinturas a base de poliuretano, las cuales al combinarse con los radicales OH del agua que se encuentra en la atmósfera forman películas extremadamente duras y altamente resistentes.

También se pueden considerar en este grupo los esmaltes de tipo catalizado descritos anteriormente, los cuales son mezclados en el momento de la aplicación.

En este caso las cadenas poliméricas son formadas por una interacción de los dos componentes y generalmente la

película resultante tiene una gran resistencia a los agentes químicos, abrasión, etc.

SECADO AL HORNO.

Se efectúa por polimerización o fusión de los componentes de la película bajo la influencia de la temperatura. Desde luego, cualquiera que sea el proceso de formación de la película debe ir necesariamente acompañado por la evaporación de disolventes respectiva.

Debido al alto costo de los equipos de secado, éste método se emplea solamente en ciertos tipos de industrias cuyo ritmo de producción es muy elevado y en las cuales se requiere el uso de acabados de alta calidad, por ejemplo en fábricas de refrigeradores, lavadoras, automóviles, máquinas de coser, envases para alimentos y toda clase de artículos litografiados, que son producidos en serie.

En este grupo se encuentran la mayoría de los esmaltes de tipo industrial, los cuales secan por una combinación de evaporación de disolventes y fusión o polimerización de sus diversos componentes bajo la influencia del calor. Esta polimerización puede llevarse a cabo en sistemas de un solo plano en cuyo caso la película formada será termoplástica o reversible al calor o bien en sistemas tridimensionales con ligaduras cruzadas en cuyo caso la película será irreversible al calor o termo fija, y con mayores resistencias.

Tenemos en este grupo las pinturas formuladas a base de resinas alquídicas modificados con aceites semisecantes o no secantes, resinas nitrogenadas, epóxicas, vinílicas, acrílicas, etc., o mezcla de las mismas.

Los artículos pintados pueden ser de metal, plástico, vidrio, etc., y los ciclos de horneado son variables tanto en tiempo como en temperatura de acuerdo con el tipo de acabado, velocidad en las líneas de producción, etc.

Existen dos tipos diferentes de hornos; de convección y de radiación y ambos desempeñan un papel importante en la aplicación de acabados industriales.

Las características que debe reunir un buen horno son las siguientes:

- a) El consumo de combustible debe ser mínimo.
- b) La fuente de calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de curado de la pintura en el tiempo requerido.
- c) El control de la temperatura debe ser efectivo.
- d) Deben tener la suficiente ventilación para prevenir la formación de una mezcla explosiva y evitar la acumulación de vapores que puedan dañar la película de pintura.
- e) Es necesaria una buena circulación de aire, con objeto de mantener una temperatura constante en las diferentes secciones del horno y asegurar un curado

uniforme en toda la superficie de la pieza.

Por lo tanto podemos resumir las características de los recubrimientos con base en el tipo de secado en:

ESMALTES: Evaporación de disolventes y auto-oxidación del vehículo.

LACAS: Evaporación de disolventes.

CATALIZADOS: Evaporación de disolventes y reacción química.

HORNBO: Evaporación de solventes y polimerización por acción del calor.

3.2.- CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS POR TIPO DE RESINA Y SUS CARACTERISTICAS.

A continuación mencionaremos los recubrimientos más comunmente utilizados:

3.2.1.- OLEORESINOSOS.

Fabricados a base de aceite de linaza.

3.2.2.- ALQUIDALICOS.

Estos recubrimientos están formados por una resina alquídica, su secado es por evaporación de disolventes y una auto-oxidación del polímero. Sus ventajas son:

- Buena resistencia al intemperismo.
- Buena adherencia.
- Facilidad de aplicación.
- Buena retención de brillo.

Las limitaciones que tienen son:

- Baja resistencia química.
- Baja resistencia a disolventes.
- Regular resistencia al agua.
- Regular resistencia a la temperatura.

Sus usos principales son:

- Mantenimiento en zonas de baja velocidad de corrosión
- Mantenimiento doméstico.

3.2.3.- VINILICOS.

Estos están conformados por un copolímero de PVC/PVA, su secado es por evaporización de disolventes, dentro de las principales ventajas tenemos:

- Excelente resistencia química a ácidos diluidos.
- Excelente resistencia al agua.
- Secado rápido.

Dentro de sus limitaciones tenemos:

- Baja resistencia a disolventes.
- Baja resistencia a la temperatura.
- Adherencia crítica; falla en superficies lisas.

3.2.4.- HULES CLORADOS.

Este tipo de resinas son utilizadas como recubrimientos en:

- Albercas.
- Señalamientos.

Y su uso es un tanto limitado.

3.2.5.- EPOXICOS.

Estas resinas tienen como base de su elaboración al BISFENOL y la EPICLORHIDRINA, su secado es por evaporización de disolventes y reacción química, dentro de sus ventajas tenemos:

- Excelente resistencia química a los álcalis.
- Excelente resistencia a disolventes.
- Excelente resistencia al agua.
- Excelente adherencia.
- Excelente resistencia a la abrasión.

Sus limitaciones son:

- Se requiere de dos componentes (epóxica-catalizador)
- Baja retención de brillo (caleo)
- Regular resistencia a ácidos.

3.2.6.- POLIURETANOS.

Los poliuretanos pertenecen a un grupo de polímeros sintéticos producidos mediante reacciones de condensación de sustancias con hidrógenos activos y diisocianatos. Estos recubrimientos pueden diseñarse con excelentes propiedades de dureza, flexibilidad y resistencia a los disolventes; pueden ser curados por horneado o a temperatura ambiente. La gran desventaja es su tendencia al amarillamiento al estar expuestos a la luz; tienen excelentes propiedades de resistencia a la abrasión, buenas propiedades dieléctricas y resistencia a los disolventes.

3.2.7.- INORGANICOS.

Estos recubrimientos tienen como base los silicatos alcalinos u orgánicos, su tipo de secado es por evaporación de disolventes, dentro de sus ventajas podemos mencionar:

- Excelente resistencia al agua.
- Excelente resistencia a disolventes.
- Excelente resistencia a la abrasión.
- Imparte protección catódica.

Sus limitaciones son:

- Adherencia crítica.
- Limitada resistencia a agentes químicos.
- Sensibilidad a las condiciones climáticas.

3.3.- IMPORTANCIA DE LA PREPARACION DE LA SUPERFICIE.

La eficiencia de protección contra la corrosión y el buen comportamiento de un recubrimiento dependen de:

- buena calidad del recubrimiento,
- técnica de aplicación,
- adecuada selección del sistema y
- preparación de la superficie.

El proceso de pintar una superficie con el fin de protegerla o decorarla, no se inicia propiamente con la aplicación de la pintura, sino con una serie de operaciones destinadas al acondicionamiento y preparación de la superficie, con el fin de que ésta recibiera las capas sucesivas de bases y acabado. El sistema completo incluyendo

tanto la superficie como la PINTURA, debe formar UNA SOLA UNIDAD y cualquier factor que afecte la habilidad del SUSTRATO para recibir y retener el acabado afectará decisivamente LA DURABILIDAD de todo el sistema.

La naturaleza de las fuerzas que promueven la adhesión de una película de pintura a una base, varían desde una simple ligadura mecánica entre la película y el sustrato, hasta las complejas ligaduras inter e intrasuperficiales y cuya naturaleza no es aún del todo conocida.

Se ha demostrado que la presencia de una capa de gas, óxido o cualquier otro material extraño de espesor no mayor de una molécula, puede afectar profundamente la propiedad de dos superficies para adherirse entre sí. En cambio, dos superficies metálicas perfectamente limpias y puestas en contacto y presionadas de tal modo que no haya posibilidad de formación de una película de adsorción intermedia, crearán entre sí una fuerza de atracción tan fuerte como la fuerza de cohesión del metal en sí.

El carácter químico, o sea el pH de la superficie a la cual la pintura va a ser aplicada y los grupos reactivos en esta última, tienen también una gran influencia sobre la adherencia entre ambos, y esta es la causa de que en algunos casos se trate de modificar el carácter de la superficie antes de efectuar la aplicación de la pintura.

Al hacer un estudio económico de los sistemas de protección de superficies, se ha demostrado que el tratamiento previo de las mismas, sobre todo en el caso de superficies metálicas, absorbe aproximadamente el 50% del costo total del proceso; contrastando con un 15% solamente del costo del acabado, haciéndose notar que una preparación deficiente de la superficie no puede ser compensada por el uso de acabados de máxima calidad. Este costo aparentemente alto del TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE, es generalmente aceptado ya que se ha demostrado que con estos se obtiene una mayor duración del acabado y una mejor protección de la superficie, lo cual se traduce necesariamente en una reducción de los costos de mantenimiento en el caso de estructuras, tanques de almacenamiento, maquinaria, etc., y una vida más larga para equipos, muebles, herramientas, etc.

De todo lo anterior se desprende que el esfuerzo que constantemente se está desarrollando para producir nuevos tipos de pinturas más decorativas, de más fácil aplicación y con mayor resistencia a los agentes exteriores, y que brinden una mayor protección al sustrato, será completamente inútil, si no se toma en consideración la superficie sobre la cual van a ser aplicadas.

Podemos considerar cuatro aspectos diferentes en la preparación de superficies:

- 1.- Limpieza.

- 2.- Conversión de superficies ásperas en lisas.
- 3.- Conversión de superficies lisas en ásperas.
- 4.- Tratamientos químicos.

1.- Limpieza:

La limpieza comprende exclusivamente la eliminación de sustancias extrañas de la superficie del sustrato, tales como escamas del mismo metal, grasa, suciedad, aceites, sales residuales de los procesos de lavado alcalino o de acondicionado, humedad, óxido, etc; los cuales, como ya se dijo anteriormente, pueden afectar de manera decisiva la adherencia de la película de acabado.

Algunos tipos de pinturas tales como las vinílicas y las epóxicas, requieren una mayor limpieza del sustrato.

2.- Conversión de superficies ásperas en lisas.

Algunas superficies tales como las piezas de fundición son demasiado ásperas y tienen que alisarse, ya sea lijando, esmerilando o tratando por cualquier otro de los métodos conocidos, antes de la aplicación del acabado. Este tratamiento no tiene nada que ver con el emplastecido o rellenado de los poros con plastes o primarios, ya que esto forma parte del sistema de aplicación de la pintura y no de la preparación de la superficie.

3.- Conversión de superficies lisas en ásperas.

En algunos casos es conveniente lijar o modificar en alguna forma las superficies lisas, ya que una superficie ligeramente áspera mejora la adherencia del acabado, debido al fenómeno conocido como "ANCLAJE MECANICO". La distancia promedio entre el fondo de los valles o depresiones y la parte superior de las crestas en este tipo de superficies, se conoce con el nombre de "ALTURA DE PERFIL" o "PROFUNDIDAD DE ANCLAJE".

Cuando se aplica un acabado brillante a una superficie áspera, el "perfil" no debe ser mayor del 20% del grosor de la película seca. Por ejemplo: si el grosor de la película es de 50 μ , el perfil no debe exceder de 10 μ . En acabados mates, el perfil puede llegar hasta un 30% del grosor de la película seca.

Los acabados con buena adherencia pueden ser usados con buen resultado, aún en superficies muy lisas, mientras que si la adherencia de la pintura no es satisfactoria será indispensable que la superficie sobre la cual vaya a ser aplicada ofrezca un buen anclaje mecánico. En sistemas de acabado tales como los que se emplean en carrocerías de automóviles, se requiere la mayor adherencia posible de la pintura, unida a un buen anclaje mecánico, con el fin de obtener el máximo de

resistencia tanto a la corrosión como al mal trato, etc.

4.- Tratamiento químico.

Básicamente el tratamiento químico consiste en efectuar un cambio en la composición química de la superficie del sustrato. Tenemos principalmente el tratamiento de superficies metálicas, con productos químicos de preferencia ácidos, los cuales reaccionan con el metal formando una película de óxido o una sal, la cual ayuda a evitar la corrosión de la superficie al mismo tiempo que mejora la adherencia del acabado. Se incluyen aquí los tratamientos para neutralizar la alcalinidad libre en el concreto fresco, yeso, etc. En muchos casos este tratamiento no solo cambia la estructura química de la superficie, sino que a la vez la hace áspera, debido a la formación de cristales, combinando en esta forma las ventajas del tratamiento químico con las del aumento del anclaje mecánico.

Para el buen comportamiento de un recubrimiento es indispensable la correcta preparación de la superficie por cubrir. Los métodos que se emplearán según lo indique el proyecto son los siguientes:

- 1) Limpieza química.
- 2) Limpieza manual.
- 3) Limpieza con abrasivos.

Empezaremos por describir la limpieza química como primer método.

LIMPIEZA QUIMICA:

a) GENERALIDADES. Es el método con el que se elimina óxido, aceite, grasa, contaminantes y recubrimientos por acción física o química.

El procedimiento que se menciona a continuación, constituye un proceso completo de preparación de superficies o auxiliar en combinación con otros procedimientos.

b) PROCEDIMIENTO. La limpieza química consta de las siguientes operaciones, que de acuerdo con las condiciones y especificaciones de cada obra se podrá eliminar o modificar cualesquiera de las que se mencionan a continuación:

I) Las capas gruesas de grasa y contaminantes deberán eliminarse con rasqueta, espátula u otro medio.

II) Los nódulos de corrosión deberán eliminarse con herramientas de impacto.

III) Se aplicará con brocha o por aspersión la solución del producto químico seleccionado, dejándose sobre la superficie el tiempo de contacto suficiente para su acción.

Si se emplean productos de marcas comerciales las soluciones deben prepararse y aplicarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

IV) Posteriormente, la superficie debe ser lavada con agua dulce para eliminar todos los residuos. Para probar la efectividad del lavado, debe hacerse la prueba con papel indicador de pH sobre el acero húmedo, hasta obtener un valor igual al del agua empleada.

V) En caso de usar disolventes, a continuación se presenta una lista de los comúnmente usados:

SOLVENTE	ESPECIFICACION ASTM
1) Naftas del petróleo	D-838
2) Tolueno	D-362
3) Tricloroetileno	-----
4) Percloroetileno	D-3316
5) Xileno	D-364
6) Metilisobutilcetona	D-1153
7) Benceno	D-836
8) Dimetilformamida	D-2764

c) ASPECTO. Para aceptar una superficie preparada con limpieza química deberá tener el mismo aspecto que un área de un metro cuadrado seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones de la superficie por limpiar.

LIMPIEZA MANUAL.

a) GENERALIDADES. Las etapas de que puede constar el procedimiento de limpieza manual para la preparación de superficies se indican a continuación, pudiendo eliminarse

parcial o totalmente alguno de los pasos que se mencionan.

b) PROCEDIMIENTOS.

I) DESCOSTRADO: Con ayuda de marro, martillo y cincel se quitarán las costras de óxido, escamas y restos de soldadura o escorias.

II) LAVADO: Mediante el uso de disolventes o detergentes deberán eliminarse toda clase de materias extrañas como aceites y grasas.

III) RASQUETEADO: Las superficies deberán rasquetearse para eliminar depósitos de óxido, pintura o cualquier otra materia extraña.

IV) CEPILLADO: En todos los casos, la superficie se frotará con cepillo de alambre de acero, hasta desaparecer los restos de óxido, pintura u otras materias extrañas.

V) LIJADO: Los restos de óxidos, pintura, etc. que no se desprendan por medio de las operaciones anteriores, deberán lijarse, para obtener un anclaje adecuado.

VI) ELIMINACION DE POLVO: La superficie se deberá limpiar con brocha de cerda o cepillo para eliminar las partículas de polvo. Se podrá hacer este trabajo también sopleteando la superficie con un chorro de aire seco y limpio. Tratándose de tableros e instrumentos eléctricos y neumáticos se usará una aspiradora.

VII) USO DE HERRAMIENTA NEUMÁTICA O ELÉCTRICA: Algunas de las etapas antes señaladas pueden realizarse mediante el uso de herramientas neumáticas o eléctricas portátiles.

c) ASPECTO Y ACEPTACION.

I) ASPECTO: Se considera la superficie limpia o preparada para recubrirse cuando sólo presente restos de óxido o pintura bien adheridos y que no haya huellas de grasa, aceite y otras sustancias extrañas.

II) ACEPTACION DE LA SUPERFICIE LIMPIA: Para aceptar una superficie preparada manualmente, deberá tener el mismo aspecto que una área de un metro cuadrado seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones generales.

LIMPIEZA CON ABRASIVOS.

a) GENERALIDADES: Se refiere a la limpieza de superficies metálicas aplicando un chorro de abrasivos a presión. Los abrasivos comúnmente empleados son arena y granalla metálica.

b) PROCEDIMIENTO: Consta de las siguientes operaciones y de acuerdo con las condiciones de la superficie o especificaciones de cada obra. Se podrá eliminar o modificar la ejecución de cualquiera de estas operaciones.

I) Se hará un descostrado como se especifica en el procedimiento de limpieza manual.

II) Los depósitos de óxido, pintura y cualquier otra sustancia extraña serán totalmente removidas de la superficie por medio del chorro de abrasivo.

III) El agente abrasivo será clasificado entre mallas Mex-18 y Mex-80 de acuerdo al patrón de anclaje requerido.

Quando se use arena, esta deberá ser cuarzosa o silicosa, lavada y seca y no deberá estar contaminada con sales.

Quando se use granalla metálica, esta será del tipo munición acerada limpia y seca y escoria de coque ó escoria de cobre.

IV) La rugosidad o máxima profundidad del perfil que se obtenga en la superficie limpia y que servirá como anclaje para el recubrimiento estará comprendido entre 0.001" y 0.0025", de acuerdo con el espesor de película del primario, el cual deberá ser mayor que la profundidad del perfil o anclaje.

V) El aire usado deberá estar exento de agua, aceite o grasa.

VI) Una vez efectuada la limpieza cuando se emplee chorro de arena, se hará una eliminación del polvo como se detalla en el procedimiento de limpieza manual.

VII) La granalla metálica podrá usarse nuevamente en limpiezas posteriores siempre y cuando esté libre de

contaminantes, seca y tamizada de acuerdo a las mallas señaladas en el inciso III.

c) ASPECTO: De acuerdo con las especificaciones se exigirá que la superficie preparada tenga uno de los aspectos que se indican a continuación:

I) METAL BLANCO: La superficie deberá quedar de color gris claro, metálico y uniforme. No deberá mostrar óxido, pintura, aceite, grasa ni otra sustancia extraña.

II.) COMERCIAL: La superficie deberá quedar de color gris oscuro y no se requiere que sea uniforme, pero no deberá tener restos de pintura, grasa, aceite o materias extrañas.

d) ACEPTACION DE LA SUPERFICIE LIMPIA.

I) Para aceptar una superficie preparada con abrasivo deberá tener el mismo aspecto que una área de dos metros cuadrados seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones de la superficie por limpiar.

II) Para comprobar que la profundidad de anclaje es la especificada, la superficie preparada se comparará con la del patrón aceptado utilizando la lámpara comparadora de anclaje.

e) TIEMPO MAXIMO PARA RECUBRIR.

En cualquier caso en que se haya especificado

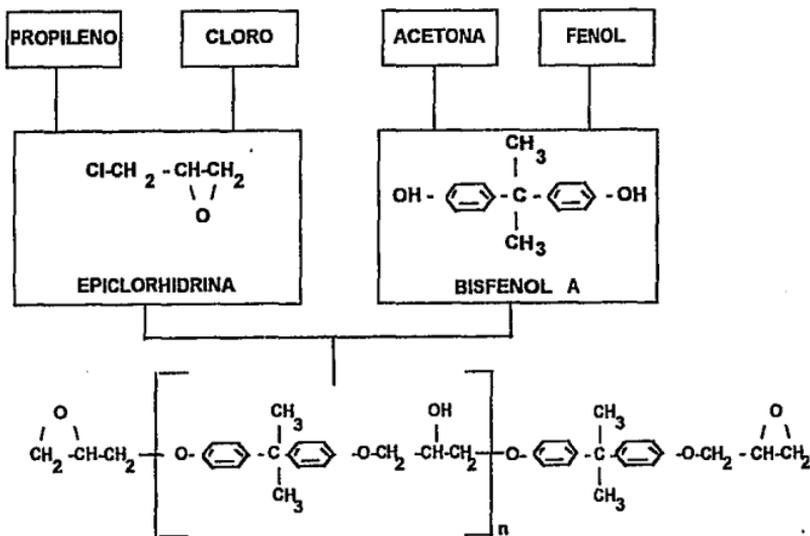
preparación con abrasivo en tiempo máximo que se permitirá que transcurra entre la limpieza y la protección de la superficie dependerá del ambiente en que se opere, pero nunca podrá ser mayor de 4 horas.

CAPITULO 4

"FORMULACION Y APLICACION DE UN RECUBRIMIENTO EPOXICO".

4.1.- MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCION DE LAS RESINAS EPOXICAS.

Las materias primas utilizadas para la producción de los tipos más comunmente usados de resinas epóxicas están basados en los éteres de diglicidilo de bisfenol A. Estas resinas son producidas por el proceso indicado en la siguiente figura:



RESINA EPOXICA DE BISFENOL A

El peso molecular de la resina esta en función de la relación de los reactivos, tal como aparece la estructura arriba mencionada.

Las resinas epóxicas líquidas tienen valores de n de 0 a 1, los grados sólidos de resinas tienen valores más altos de n que las anteriores.

Las resinas epóxicas fueron introducidas en los Estados Unidos en la década de los cuarentas y estuvieron comercialmente disponibles alrededor de los años cincuentas. Estas resinas encontraron rápidamente una aceptación en los recubrimientos de superficies (PINTURAS). En nuestro país, el mercado de las resinas epóxicas se puede considerar de acuerdo a los siguientes sectores:

USO FINAL

1) Mantenimiento	:	40%
2) Polvos	:	25%
3) Recubrimiento de latas	:	20%
4) Adhesivos	:	7%
5) Construcción	:	5%
6) Laminados	:	2%
7) Eléctrico/Electrónico	:	1%

La siguiente tabla nos muestra los consumos, en toneladas, de resinas epóxicas, con base en el uso final, desde el año 1988 a 1992 y el estimado para 1993, de acuerdo con los sectores antes mencionados.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993 Estimado
MANTENIMIENTO	1480	1520	1600	1640	1920	2000
POLVOS	925	950	1000	1025	1200	1250
RECUBRIMIENTO DE LATAS	740	760	800	820	960	1000
ADHESIVOS	259	266	280	287	336	350
CONSTRUCCION	185	190	200	205	240	250
LAMINADOS	74	76	80	82	96	100
ELECTRICO	37	38	40	41	48	50
T O T A L	3700	3800	4000	4100	4800	5000

Las resinas epóxicas son en general, compuestos o mezclas de compuestos que contienen más de un grupo epóxico por molécula o una combinación de grupos epóxicos y grupos hidroxilo. Los cuales deben ser "curados" o entrelazados por polimerización.

4.2.- ESTRUCTURA QUIMICA DE UNA RESINA EPOXICA.

El entrelazamiento de una resina epóxica se puede dar a través de grupos hidroxilos y procede básicamente por sólo dos tipos de mecanismos de curado:

- (a) el acoplamiento directo de las moléculas de la resina por una homopolimerización catalítica o,
- (b) por acoplamiento a través de un reactivo intermedio.

Mecanismo de las reacciones y del curado.

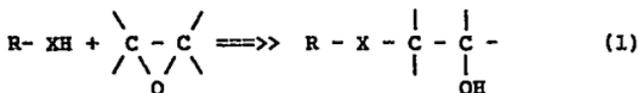
La mayoría de las reacciones usadas para el curado de las resinas epóxicas ocurre a través del anillo epóxico.



Es tal la capacidad de este anillo a reaccionar con una amplia variedad de reactivos, lo que le da a estas resinas epóxicas su gran versatilidad.

La química de la mayoría de los agentes curantes comunmente usados con las resinas epóxicas está basado en reacciones de poliadición que resultan en un acoplamiento tan bueno como el entrelazado.

La mayoría de los agentes curantes usados son compuestos que contienen hidrógenos activos (poliaminas, poliamidas, poliácidos, etc.) los cuales reaccionan como se muestra en la siguiente ecuación:



Resultando en la correspondiente hidroxiamina, ester, mercaptanos o fenileter.

Las resinas epóxicas y los agentes curantes normalmente conllevan más de una reacción por molécula y el proceso de curado para formar una estructura tridimensional tiene como resultado múltiples reacciones entre las moléculas de

epóxidos y los agentes curantes.

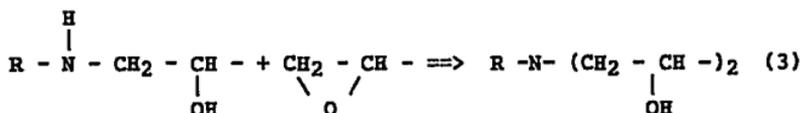
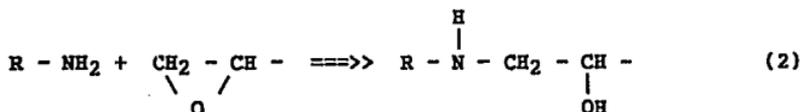
Las reacciones específicas de los diferentes reactivos con los grupos epóxicos, en muchos casos, han sido estudiados en detalle. A continuación se detallarán los mecanismos de las reacciones más importantes del anillo epóxico y las resinas epóxicas.

REACCIONES DE ADICION DE AMINAS.

Todos los agentes curantes con grupos funcionales amino, los cuales incluyen:

- (a) Poliaminas alifáticas y sus derivados,
- (b) Aminas alifáticas modificadas y
- (c) Aminas aromáticas.

Reaccionarán con el anillo epóxico por una reacción de adición sin formación de subproductos. Esto fue sugerido por Shecter y que dice que las reacciones de adición de la amina se llevan a cabo de la siguiente manera:



RESINAS SOLIDAS						
ESPECIFICACIONES				PROPIEDADES TIPICAS		
	Visco- sidad	Color Pt-Co Max	Masa Molar Epóxica	Visco- sidad Gamer- Holdt	Den- sidad g/ml	Color Gardner
EPON Resin 1001F	7.0-9.6	200	525-550	G-I	1.20	1
EPON Resin 1002F	9.2-13.6	200	600-700	J-N	1.20	1
EPON Resin 1004F	15-25	200	800-950	P-U+	1.20	1
EPON Resin 1007F	50-100	200	1700-2300	Y-Z	1.19	1
EPON Resin 1009F	100-250	200	2300-3800	Z-Z	1.19	1

CAPITULO 5

"COMPARACION DE PROPIEDADES ENTRE UN SISTEMA EPOXY-AMINA Y EPOXY-AMIDA.

5.1.- CARACTERISTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA EPOXY-AMINA.

Las siguientes reacciones describen la química por la cual las resinas epóxicas son convertidas a través de un entrelazado o "curado" en estructuras poliméricas por aminas.

Este entrelazado ó "curado" está llevado a cabo por el uso de agentes curantes. Los agentes curantes son clasificados en dos clases:

- (a) Compuestos con hidrógenos activos, los cuales curan por reacción de poliadición y
- (b) Catalizadores ionicos.

En contraste con la estequiometría general 1:1 con reacciones de hidrógeno activo-epóxico, se requieren cantidades menores de catalizador ionicio para curar una resina epóxica.

La selección del agente curante es casi tan importante como la resina base y esta íntimamente ligada con los requerimientos del producto final. A continuación detallaremos las reacciones de resinas epóxicas con:

- (a) Poliaminas alifáticas y sus derivados.

Estas incluyen materiales tales como etilendiamina, dietilentriamina, trietilentetraamina, tetraetilenpentamina y varias aminas cicloalifáticas. Estos agentes curantes

ofrecen bajas viscosidades y temperatura ambiente de curado. Sin embargo, las aminas no modificadas presentan ciertos riesgos de manejo debido a su alta basicidad y su relativamente alta presión de vapor. Los derivados de aminas alifáticas son menos riesgosos y son obtenidos de la reacción de ácidos grasos de alto peso molecular con aminas alifáticas.

Las poliaminas alifáticas líquidas y sus aductos son convenientes en su manejo y dan un buen curado de la resina, incluyendo excelente resistencia química y a los solventes. Las relaciones de mezclado son críticas para alcanzar un óptimo desarrollo; las aminas alifáticas ofrecen velocidades de curado más rápido a temperatura ambiente, un bajo pot life (tiempo de aplicación) y una alta exotermia en secciones gruesas o de gran masa pueden llevar a una descomposición térmica. Se puede lograr una buena retención de la elongación en sus propiedades a temperaturas por arriba de 100°C (212°F). Se pueden tolerar rangos cortos de exposición a altas temperaturas. Las aminas alifáticas provocarán un "velo" bajo condiciones muy húmedas.

Los aductos de poliaminas alifáticas ofrecen las ventajas de una presión de vapor baja, reducen la tendencia a la formación del "velo" y requieren relaciones de mezclado menos críticas.

AMINAS CICLOALIFATICAS.

Comparando las poliaminas alifáticas con las aminas cicloalifáticas, estas últimas producen resinas curadas las cuales tienen y dan propiedades de resistencia térmica y tenacidad. Las temperaturas de transición del cristal se acercan a aquellas de las aminas aromáticas, cuando el porcentaje de elongación puede ser doblado. Porque las aminas cicloalifáticas son menos reactivas que las poliaminas alifáticas. Su uso da como resultado un mayor tiempo de uso y la habilidad para moldear masas más grandes.

AMINAS AROMATICAS.

Las aminas aromáticas son sólidas a temperatura ambiente. Estos endurecedores son normalmente fundidos a temperaturas elevadas y son mezclados con resinas calentadas. Las mezclas eutécticas de metafenilen diamina y metilen dianilina exhiben una depresión en el punto de fusión resultando en un endurecedor aromático que permanece como un líquido sobre períodos de tiempo cortos. El tiempo de uso es considerablemente mayor que aquel que presentan las poliaminas alifáticas. Se requiere una elevada temperatura de curado para desarrollar sus propiedades óptimas (las cuales son mantenidas arriba de los 150°C [300°F]). Las aminas aromáticas dan mayores resistencias químicas y térmicas que las poliaminas alifáticas.

5.2.- CARACTERISTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA EPOXY-AMIDA.

Las poliamidas más comunmente usadas son producto de la condensación de ácidos grasos dimericos y aminas alifáticas tales como la dietilen triamina (DTA). Están disponibles en un amplio rango de pesos moleculares, haciendo de las poliamidas unos agentes de curado muy versátiles en una variedad de aplicaciones. Las poliamidas reaccionan con los grupos epóxicos a través de los grupos aminicos que no reaccionaron en la poliamida. Como resultado de su peso molecular relativamente alto, la relación de poliamida a epóxica puede variar más que con poliamidas de bajo peso molecular. Las poliamidas ofrecen la ventaja de curar sin provocación del "velo" e imparten adhesión. Sin embargo son más oscuras en color que las poliaminas.

Los diferentes pesos moleculares de las poliamidas exhiben diferentes grados de compatibilidad con las resinas epóxicas. Para asegurar unas propiedades óptimas la relación de mezcla poliamida/epóxica debe permitir reaccionar parcialmente antes de ser usada. Esta reacción parcial asegura la compatibilidad y es conocido como el periodo de inducción. Dado que las poliamidas tienen un tiempo de uso más largo, el tiempo de inducción no significará el acortamiento del tiempo manejable del sistema.

Las resinas epóxicas curadas con poliamidas pierden esfuerzo estructural rápidamente con el incremento en la temperatura. Esto limita su uso pues no deberán ser manejadas a temperaturas arriba de los 65°C (148°F).

AMIDOAMINAS

Las amidoaminas son derivados de ácidos carboxílicos monobásicos (tales como el ácido ricinoléico) y una poliamina alifática.

Como las poliamidas, las amidoaminas pueden ser usadas ampliamente en un rango de niveles de aditivo para permitirles propiedades específicas.

La reactividad de las amidoaminas con las resinas epóxicas es similar a la de las poliamidas, sin embargo, las amidoaminas ofrecen varias ventajas sobre las aminas alifáticas y las poliamidas, las amidoaminas ofrecen mejores relaciones de mezclado, incrementan la flexibilidad y tienen menor resistencia a la humedad que las poliamidas alifáticas y ofrecen menor viscosidad y color que las poliamidas.

TABLA 1: TIPOS DE AGENTES CURANTES PARA LAS RESINAS EPOXICAS

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES (I)
a) Polisulfuros.	Insensibles a la humedad.	Olor.	Adhesivos.
	Tiempos cortos de curado.	Baja Velocidad para.	Selladores.
	Flexibilidad.	temperaturas elevadas	

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES (I)
b) Aminas	Convenientes.	Relaciones de mezclado	Ingeniería Civil.
Alifáticas.	Temperatura ambiente de curado.	críticas.	Adhesivos, Cimentaciones, moldeo y
	Baja Viscosidad.	Altamente Irritantes.	encapsulados eléc-
	Bajos costos de formulación.	Alta presión de vapor.	tricos.
		"Velo".	
c) Poliamidas.	Convenientes.	Altos costos de formulación.	Ingeniería Civil.
	Temperatura ambiente de curado.	Alta viscosidad.	Adhesivos, Cimenta-
	Baja toxicidad.	Baja resistencia al calor.	ciones, moldeo y re-
	Buena Flexibilidad.	Baja presión de vapor.	cubrimientos.
d) Amidoaminas.	Volaticidad reducida.	Baja velocidad para	Adhesivos para
	Relaciones de mezclado convenientes.	temperaturas elevadas.	construcción.
		Alguna incompatibilidad con resinas epóxicas.	
e) Aminas	Resistencia moderada.	Solidas a temperatura	Reforzamiento para
Aromaticas.	al calor.	ambiente.	tuberías, encapsula-
	Buena resistencia química.	Largos tiempos de curado a temperaturas elevadas.	dos eléctricos, adhesivos.
f) Dicianidamida.	Curado Latente.	Curado a temperatura alta.	Recubrimientos en
	Buenas propiedades a	Insoluble en resinas.	polvo, laminados

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES (I)
	temperaturas altas. Buenas propiedades Eléctricas.		eléctricos, adhesivos de un componente. te.
g) Catalíticos.	Largos tiempos para su aplicación. Alta resistencia al calor.	Largos tiempos de curado a temperaturas elevadas. Pobre resistencia a la humedad.	Adhesivos, encapsulados eléctricos, recubrimientos en polvo, laminados eléctricos.
h) Anhídridos.	Buena resistencia al calor. Buena resistencia química.	Largos tiempos de curado a temperaturas elevadas. Relaciones de mezclado críticas.	Reforzamiento para tuberías. Encapsulados eléctricos y adhesivos.
i) Melamina/ Formaldehído.	Buena dureza y flexibilidad. Estabilidad de un componente. Libre de solventes.	Temperatura alta de curado.	Recubrimientos base agua, acabados para contenedores y decorativos.
j) Urea/Formaldehído.	Buen color de película. Estabilidad de un componente. Buena adhesión entre capas.	Temperatura alta de curado.	Primarios acabados y esmaltes.

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES (I)
k) Fenol/ Formaldehído.	Buenas propiedades a tempera- turas altas. Buena resistencia química. Buena dureza y flexibilidad.	Sólido. Pobre intemperismo.	Recubrimientos en polvo. Compuestos de mol- deo.

(I) Las aplicaciones enlistadas de los diferentes tipos de agentes curantes son recomendaciones generales solamente y no son restrictivas. Cierta tipo de agentes curantes de resinas epóxicas tienen amplios usos en diversas aplicaciones.

TABLA 2: AGENTES DE CURADO TIPO POLIAMINAS ALIFATICAS

AGENTE CURANTE	PESO POR H ACTIVO	(1) ppr (MME 189) RESINA LIQUIDA	SUGERENCIAS DE CURADO	COMENTARIOS
Dietilentetra- mina.	20.6	10.9	Gel a Temp. Ambiente en varios días ó 1 a horas a Temperatura de 100°C para un curado total.	Agente de curado para Temp. Amb. de uso ge- neral. Alta exotérsia en grandes masas, puede provocar "velo" bajo condiciones de humedad.
D.T.A.				
Trietilentetra- mina.	24.6	12.9	Gel a Temp. Ambiente en varios días ó 1 a 2 horas a Temperatura de de 100°C para un curado total.	Agente de curado para Temp. Amb. de uso ge- neral. Alta exotérsia en grandes masas. Me- nor presión de vapor que la D.T.A.
T.E.T.A.				

AGENTE CURANTE	PESO POR H ACTIVO	(1) phr (NME 189) RESINA LIQUIDA	SUGERENCIAS DE CURADO	COMENTARIOS
Tetraetilenpen- tamina. T.E.P.A.	27.1	14.3	Gel a Temp. Ambiente en varios días ó 1 a 2 horas a Temperatura de 100°C para un curado total.	Agente de curado usualmente en siste- mas de recubrimien- tos protectores de 2 componentes.
Amino Etil Pipe- razina. A.E.P.	43	22.7	Gel a Temp. Ambiente en varios días ó 1 a 2 horas a Temperatura de 100°C para un curado total.	Amina Tri-funcional con cierto tiempo de vida, imparte un mo- derado grado de fle- xibilidad y propor- ciona resistencia al impacto.
Aducto Amínico	42.47	23.8	Gel a Temp. Ambiente en varios días ó 1 a 2 horas a Temperatura de 100°C para un curado total.	Aducto de D.T.A. y resina epóxica lí- quida provee un in- cremento en la reac- tividad con menos "velo" bajo condi- ciones de humedad que las aminas alifáticas.

(1) Partes por 100 partes de resina.

TABLA 3: AGENTES DE CURADO TIPO POLIAMINAS AROMATICAS

AGENTE CURANTE	PESO POR H ACTIVO	phr (1) RESINA EPOXICA LIQUIDA (HME 189)	SUGERENCIAS PARA EL CURADO	COMENTARIOS
Metilendiamina	49.5	26.2	Gel a 55°C más 2 horas	Poliamina aromática
M.D.A.			a 125°C más 2 horas a 175°C. Un curado adicional a 200°C pro- vee una T.D.C. (2)	con un punto de fusión aproximado a 85°C. Tiene tiempo de vida útil alto e importante. Una velocidad de cu- rado a temperaturas elevadas.
Metafenilen- diamina.	27	14.3	Gel a 55°C más 2 horas a 125°C más 2 horas a 175°C	Diamina Aromática con un punto de fu- sión de aprox. 60°C. Puede ser usada para hacer mezclas eutéc- ticas con M.D.A.. Buena velocidad de curado a Temps. Ele- vadas.
Diamino Difenil Sulfona	57	30	1 hora a 150°C 3 horas a 220°C	Poliamina Aromática con un punto de fu- sión de Aprox. 175°C

AGENTE CURANTE	PESO POR H ACTIVO	phr (1) RESINA EPOXICA LIQUIDA (HME 189)	SUGERENCIAS PARA EL CURADO	COMENTARIOS
-------------------	----------------------	--	-------------------------------	-------------

D.D.S.

Usada en laminados.
Su curado puede ser
acelerado con BF₃
MEA ó Aminas
Alifáticas.

(1) phr partes por 100 partes de resina.

(2) Temperatura de distorsión al calor.

CALCULO DE LA RELACION ESTEQUIOMETRICA PARA LAS RESINAS EPOXICAS Y AGENTES CURANTES.

Para obtener las propiedades óptimas entre los epóxicos polifuncionales y los agentes curantes reactivos, es necesario que reaccione la resina epóxica y el agente curante en aproximadamente cantidades estequiométricas. Las relaciones estequiométricas pueden ser calculadas de la siguiente manera:

1.- Cálculo del peso equivalente del hidrogeno amínico de el agente curante.

Usando la siguiente ecuación:

$$PEHA = \frac{\text{Peso molecular de la Amina}}{\text{Número de Hidrógenos Activos}}$$

Para calcular el peso molecular de la Amina, cuente el número de átomos de cada elemento contenidos en la

molécula y multiplique por el peso molecular de cada elemento, ejemplo la trietilentetramina (TETA)



contiene:

6 carbonos cuyo peso molecular es 12 $6 \times 12 = 72$

4 átomos de nitrógenos cuyo peso mol. es 14 $4 \times 14 = 56$

y 18 hidrógenos cuyo peso molecular es 1 $18 \times 1 = 18$

Peso molecular de la amina =====> 146

Los hidrógenos activos en la molécula de la amina son aquellos directamente unidos a los nitrógenos, o sea 6 en el caso de la TETA de tal manera que:

$\text{Peso Equivalente de Hidrógeno Amínico (TETA)} = \frac{146}{6} = 24.3$ <p style="text-align: center; margin: 0;"><small>PEHA</small></p>
--

2.- Cálculo del phr de las aminas (partes en peso por 100 partes de resina) usando la siguiente ecuación:

NOTA. El peso equivalente epóxico para una resina líquida de uso general es en promedio de 189.

$\text{phr de Amina (TETA)} = \frac{\text{PEHA} \times 100}{\text{Peso equivalente epóxico de la resina}} = \frac{24.3 \times 100}{189} = 12.9$

3.- Cálculo del peso equivalente epóxico (PEE) de la mezcla total. Las resinas epóxicas frecuentemente son mezcladas, cargadas ó modificadas con componentes

reactivos y no reactivos. En tales casos, es necesario ajustar la concentración del agente curante para curar solo la porción de la mezcla que es reactiva (las resinas y cualquier diluyente reactivo presente). Esto se hace simplemente calculando el peso equivalente epóxico (PEE) de la mezcla total, usando la siguiente ecuación:

$\text{PEE de la mezcla} = \frac{\text{Peso Total}}{\frac{\text{Peso A}}{\text{PEE A}} + \frac{\text{Peso B}}{\text{PEE B}} + \frac{\text{Peso C}}{\text{PEE C}}}$
--

Nota: El peso total incluye TODOS los materiales-reactivos y no reactivos (A, B, C, etc. referidos solamente a aquellos materiales que son reactivos con el agente curante).

Usando la formula típica mostrada arriba, el PEE de la mezcla total puede ser calculada como sigue:

FORMULACION

100 Partes resina A	PEE promedio	189
100 Partes resina B	PEE promedio	240
30 Partes (C ₁₂ -C ₁₄ mono-glicidil éter)	PEE promedio	290

230 Partes de carga	
460 Partes total	

$$\text{PEE de la mezcla} = \frac{460}{\frac{100}{189} + \frac{100}{240} + \frac{30}{290}} = \frac{460}{1.0492} = 438$$

4.- Determinando la cantidad estequiométrica de agente curante para añadir a 100 partes de resina epóxica, aplicamos la ecuación de la etapa 2.

$$\text{phr de amina} = \frac{24.3 \times 100}{438} = 5.5 \text{ Partes de TETA por } 100 \text{ partes de resina epóxica}$$

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

Es evidente que una selección adecuada de la resina epóxica, modificadores y agentes de curado (crosslinking) ayudarán al formulador a obtener sistemas de resinas epóxicas curadas que posean casi cualquier combinación de propiedades que desee obtener.

Esta versatilidad, la cual juega un papel importante, en el crecimiento anual sostenido de consumo de las resinas epóxicas en México para su aplicación en los diferentes sectores de mercado, nos muestra que para el Sector Recubrimientos, que abarca al mantenimiento, polvos y recubrimientos de latas, ocupan en la actualidad el 85% del consumo total de las resinas epóxicas en México.

Esto esta determinado por su versatilidad y apropiado sistema de curado; aunado a esto se cuenta los siguientes atributos:

- 1) Excelente resistencia química, particularmente a medios alcalinos.
- 2) Excelente adhesión a una variedad de sustratos.
- 3) Muy alta resistencia a esfuerzos tensionantes, de compresión y flexionantes.
- 4) Muy bajo encogimiento en el curado.
- 5) Excelentes propiedades eléctricas y retardamiento del envejecimiento en la exposición en ambientes

difíciles.

6) Una remarcable resistencia a la corrosión.

7) Un alto grado de resistencia al intemperismo.

8) Habilidad para curar en un amplio rango de temperaturas.

9) Superior esfuerzo a la fatiga.

Las resinas epóxicas de bisfenol A están comercialmente disponibles en una variedad de pesos moleculares. Esta línea de productos varía desde las resinas epóxicas líquidas, sólidas y en disolución.

Siendo los principales fabricantes, a nivel mundial y comercializadores en el mercado mexicano las siguientes compañías:

- Shell México,
- Dow Chemical y
- Ciba-Geigy.

Estas compañías con su alta tecnología de punta y algunas de ellas como la Shell y Dow Chemical, están integradas desde la producción de las materias primas.

Hablando específicamente de las aplicaciones de los recubrimiento epóxicos de protección, que como se mencionó con anterioridad, ocupan el 85% del consumo total en México, podemos decir que son la parte más impactante en costo de formulación de un recubrimiento protector, y que además estas resinas han encontrado una gran aceptación comercial en una

amplia variedad de recubrimientos de superficie protectores y decorativos de alto rendimiento.

Los principales valores ofrecidos por los recubrimientos epóxicos son la resistencia química, a la corrosión, al Intemperismo y naturalmente su adherencia.

Tal vez, el recubrimiento epóxico más común, es el sistema de dos componentes.

Este fue el primer sistema de protección curado a temperatura ambiente, que ofrece propiedades de resistencia.

Hoy en día, los acabados epóxicos de dos componentes son usados en recubrimientos de protección marinos e industriales, protección de tanques, acabados para pisos, protección para vehículos nuevos, etc.

Cuando el sistema de dos componentes se desarrolló como un sistema de curado a temperatura ambiente, su facilidad para curar rápidamente a 60°C lo convirtieron en un acabado de interés en la línea de producción.

Las implicaciones en el ahorro de energía de este sistema son evidentes, pero debe ser aclarado, que el sistema epóxico de dos componentes tiene un tiempo de vida útil limitado, después que el endurecedor ha sido añadido.

Los recubrimientos epóxicos comerciales de este tipo, tienen un tiempo de vida útil de pocas horas, o cuando mucho, un par de días.

En lo referente al agente curante utilizado, podemos

concluir, que los del tipo poliamina proveen mayor resistencia química, pero los del tipo poliamida ofrecen mejor flexibilidad y resistencia al agua.

El aspecto económico juega un papel importante en el costo de producción y como ejemplo, mencionaremos el costo promedio de algunos de estos agentes curantes:

Poliamida:	\$ 10,080/kg.
Amina alifática:	\$ 15,750/kg.
Amina aromática:	\$ 18,900/kg.
Amido amina:	\$ 22,050/kg.
Amina cicloalifática:	\$ 28,350/kg.

Con base en los datos anteriormente mencionados, es posible determinar, de acuerdo a las características deseadas para el recubrimiento epóxico, los agentes curantes que deberán utilizarse, para obtener las propiedades del producto final, considerando los diferentes costos de cada uno de los productos utilizados en la formulación de un recubrimiento epóxico; ya que el objetivo primordial de este trabajo, es el de presentar las diferentes alternativas para la obtención de un recubrimiento epóxico.

CAPITULO 7

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Epoxy Resins And Epoxides "Chemistry, Manufacturing Processes and Applications"; R.S. Bayer, H.E. De La Mare, J.M. Klarquist, S.F. Newman Shell Development Company, A Division of Shell Oil Company Westhollow Research Center, Houston, Texas.
- 2.- Epon Resin "Structural Reference Manual" Shell Development Company, A Division of Shell Oil Company Westhollow Research Center, Houston, Texas.
- 3.- Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam. "Epikote Resins, Curing Reactions and Curing Agents; R. Van Iperen".
- 4.- Chemical Research Centre, Shell Louvain-La-Neuve "Introduction to Epoxy Resin Crosslinking Systems"; S.A. Stachowiak.
- 5.- General Guide "Formulating with Dow Epoxy Resin" Dow Chemical U.S.A., Epoxy Resins and Intermediate Products, Midland, Michigan.
- 6.- Aplicación e Inspección de Recubrimientos para Protección Anticorrosiva; Petróleos Mexicanos.
- 7.- Grados de Herrumbre en Superficies de Acero y Grados de Preparación de estas Superficies para la Aplicación de Pintura Anticorrosiva. Svensk Standard SIS 055900-1967 KORROSIONSIINSTITUTET.
- 8.- Abrasive Blasting Guide for Aged or Coat Steel Surfaces The Society of Naval Architects and Marine Engineers Suite 1369, One World Trade Center, New York, N.Y. 10048; 1977.

9.- Electroquímica Moderna; John O'M. Bockris y Amulya K.N. Reddy; Editorial Reverté, S.A. 1980.

10.- Ingeniería Electroquímica; C.L. Mantell; Editorial Reverté, S.A. 1980.