

300618

10

2y



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**"ESTUDIO EN EL LABORATORIO DE LOS RECUBRIMIENTOS
ANTICORROSIVOS Y SUS ESPECIFICACIONES PARA SU
SELECCION ADECUADA, DE ACUERDO CON LOS
REQUERIMIENTOS ACTUALES DE LAS
EMPRESAS MEXICANAS."**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
MARIA DE LOS ANGELES ZAYAS HERNANDEZ**

FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Í N D I C E

	<u>PÁGINA</u>
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I	
La corrosión y su influencia en el diseño de plantas	8
CAPÍTULO II	
La protección anticorrosiva en general	16
CAPÍTULO III	
Protección anticorrosiva para casos especiales	32
CAPÍTULO IV	
Principales recubrimientos anticorrosivos empleados en Pémex, C.F.E., Sicartsa, Fertimex	54
CAPÍTULO V	
Evaluación en el Laboratorio, de los prin- cipales recubrimientos, desde el punto de vista de la Ingeniería Química	73
CAPÍTULO VI	
Estudio Económico de los sistemas anticorro- sivos	83
CAPÍTULO VII	
Figuras y Tablas	96
CAPÍTULO VIII	
Conclusiones	111
CAPÍTULO IX	
Glosario de Términos	115
CAPÍTULO X	
Bibliografía	118

A MI MADRE

por su eterna confianza y
su inagotable paciencia.

A LA MEMORIA DE MI PADRE
por su ejemplo en el tra
bajo.

A MIS HERMANOS:
OLIVIA, PATRICIA e IGNACIO
como un exhorto.

A JAVIER
por su incondicional
apoyo.

A TÍ, MANUEL,
por brindarme tu tiempo,
tu comprensión y tus
conocimientos.

AL ING. ALFONSO PAUL
mi póstumo agradecimiento.

AL ING. MARTIN ALVARADO
por el tiempo dedicado a este
trabajo.

A JOSE LUIS GAMBOA
por su tesonera cooperación.

A DON JUAN BULBULLIAN
por su fe y asesoría.

A LA ESCUELA DE QUÍMICA DE
LA UNIVERSIDAD LA SALLE
con cariño y respeto.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El costo de la protección contra la corrosión es altísimo; pero si se considera que la corrosión se presenta, con diferentes grados de severidad, dondequiera que se usan metales y algunos otros materiales, se concluye que es necesaria. Por ejemplo, en una - planta se pueden gastar millones anualmente en pintar el acero - para prevenir la corrosión y las compañías químicas asignan una buena cantidad de dinero en productos contra la corrosión, que - se utilizan en el mantenimiento de plantas.

De hecho, nuestra economía se vería modificada drásticamente si nu hubiera corrosión. Por ejemplo, los automóviles, los barcos, las tuberías enterradas y los aparatos electrodomésticos no requerirían de recubrimientos. La industria del acero inoxidable desaparecería y el cobre sería usado únicamente con propósitos - eléctricos. La corrosión llega a todas partes, dentro y fuera de una casa, en el mar, en los caminos, en una planta y hasta en los vehículos espaciales.

La corrosión es inevitable, pero su efecto puede ser reducido - considerablemente. La correcta selección de los materiales y un buen diseño, reducen los gastos originados por ella.

Un buen programa de pintado de mantenimiento puede llegar a re-presentar un costo insignificante comparado con los gastos por corrosión.

Aparte del costo monetario que representa la corrosión, es un serio problema, ya que definitivamente contribuye al agotamiento de nuestros recursos naturales. Otro factor importante se refiere al suministro mundial de recursos metálicos. La industrialización tan acelerada de muchos países, indica que la competencia por estos recursos y su precio se verán incrementados.

La ingeniería de la corrosión es la aplicación de la ciencia y el arte para prevenir o controlar, de una manera segura y económica, los daños que provoca la mencionada corrosión.

CAPÍTULO I

LA CORROSIÓN Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE PLANTAS

La corrosión se puede definir como 'la destrucción o deterioro de un material por su reacción con el medio ambiente', o 'la destrucción de los materiales por otros medios, no mecánicos'.

Estas definiciones consideran: plásticos, cerámica, hule y otros materiales que no son metálicos; por ejemplo, el deterioro de la pintura y el hule por acción de la luz del sol o de sustancias químicas, la fundición del revestimiento de un horno de acero y el ataque de un metal por otro metal fundido (corrosión de metal líquido), son todos considerados como casos de corrosión aunque hay quienes la restringen a los metales únicamente.

Otra forma de definir la corrosión es : el proceso inverso de la metalurgia extractiva. La figura 1 ilustra esta definición de corrosión.

La metalurgia extractiva se refiere primordialmente a la extracción del mineral, a refinarlo o hacerlo útil. El óxido de hierro contenido en la mayoría de los minerales, a causa del medio ambiente (agua y oxígeno) se convierte en óxido de hierro hidratado. La oxidación es un término reservado para la corrosión del hierro y del acero, aunque muchos otros metales forman sus óxidos cuando se presenta la corrosión.

Prácticamente todo medio ambiente es corrosivo en cierto grado: Se pueden mencionar el aire y la humedad; el agua, ya sea fresca, destilada, salada o de mina; las atmósferas rurales, urbanas o industriales; vapor y otros gases como el cloro, el amoníaco, el ácido sulfhídrico, el anhídrido sulfuroso y gases combustibles;

ácidos minerales como el clorhídrico, el sulfúrico y el nítrico; ácidos orgánicos como el nafténico, el acético y el fórmico; los álcalis; el suelo; los solventes; los aceites vegetales y del petróleo así como una variedad de productos comestibles. Así, en una industria petroquímica, la corrosión es causada más por el cloruro de sodio, por el agua, por ácidos como el sulfhídrico, el clorhídrico y el sulfúrico, que por el aceite, el xilol o las gasolinas.

La tendencia en las industrias químicas al uso de elevadas temperaturas y presiones, ha hecho posibles nuevos procesos o, al menos, grandes mejoras en los antiguos, como podrían ser: mejores utilidades, menores costos y mayor velocidad de producción.

Pero estas ventajas por las altas temperaturas y presiones, provocan condiciones de corrosión mucho más severas. Muchas de las operaciones de hoy en día no habrían sido posibles ni económicas sin el uso de materiales resistentes a la corrosión.

Algunos de los efectos perjudiciales de la corrosión son: la apariencia, los costos de operación y mantenimiento, el cierre de la planta, la contaminación del producto, la pérdida de productos secundarios y los efectos en la seguridad y en la precisión.

Sin embargo, la corrosión es, en algunos casos, deseable y/o benéfica. La trituración química es ampliamente usada en la aviación además de otras aplicaciones. Áreas no cubiertas se exponen a ácidos y el exceso de metal es disuelto. Este proceso se adop-

ta cuando es más económico o cuando las partes son duras y difíciles de manejar por métodos más convencionales. La anodización del aluminio es otro proceso benéfico anticorrosión usado para obtener una mejor apariencia y mayor uniformidad, además de con seguir un producto protector de la corrosión en la superficie.

APARIENCIA.

Los automóviles se pintan porque las superficies oxidadas no son placenteras a la vista. Un equipo muy corroído y oxidado en una planta, deja una mala impresión a quien lo observa. En muchos - ambientes, tanto rurales como urbanos, resultaría más económico utilizar un metal más grueso en primera instancia, que aplicar y mantener un recubrimiento a base de pintura.

Las superficies exteriores o acabados de edificios, usualmente - son hechos de aluminio, acero inoxidable o cobre, para cuidar la apariencia. Esto también sucede en restaurantes y otros estable ci mientos comerciales.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se pueden obtener ahorros significativos en muchos tipos de plan tas mediante el uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión.

La aplicación de protección catódica puede reducir el grado de - agrietamiento en tuberías subterráneas, a prácticamente nada, pro vocando grandes ahorros en costos de reparación.

Los gastos de mantenimiento se examinan a fondo porque existe la necesidad de costos de operación a más bajo presupuesto.

La cooperación conjunta del ingeniero en corrosión con el personal de diseño y proceso antes de ser construida una planta, puede eliminar o reducir sustancialmente, en muchos casos, los costos de mantenimiento.

Algunas veces, pequeños cambios en el proceso reducen la corrosión sin afectar el proceso en sí y permiten el uso de materiales menos costosos. Estos cambios pueden hacerse algunas veces después de que la planta está en operación, pero es más deseable que originalmente se tomen medidas preventivas. Las dificultades que origina la corrosión pueden considerarse aparte del diseño, pero el mejor momento para hacerlo es en el diseño original de la planta.

PAROS DE PLANTAS.

Frecuentemente éstas son cerradas, o parte de un proceso es detenido por fallas inesperadas debidas a la corrosión. Algunas veces estos paros se deben a cambios en los procedimientos de operación que se creía no incrementarían la severidad de las condiciones de corrosión y no precisamente por cambios en las condiciones del proceso. Es asombroso cómo un pequeño cambio, o la adición de un nuevo ingrediente, modifican completamente las características de la corrosión. Por ejemplo, si al tratar de incrementar la producción de un compuesto químico se disminuye la temperatura del medio de enfriamiento de un intercambiador de

calor, decrece el tiempo del proceso. Sin embargo, al bajar la temperatura se presentan gradientes térmicos en la pared del metal y esto induce tensiones más altas en el metal. Estas tensiones provocan agrietamiento de los recipientes y se puede llegar a la necesidad de cerrar la planta por un tiempo con el consiguiente retraso en la producción.

El control de la corrosión en el proceso de una planta es benéfico para prevenir fallas inesperadas por corrosión que provocarían el cierre de la empresa. Este control puede llevarse a cabo examinando periódicamente especímenes que deben ser expuestos continuamente al proceso, o usando una prueba de corrosión que mida periódicamente el grado de ésta. También puede ayudar a prevenir estos cierres de planta inesperados, la inspección regular del equipo.

CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO.-

En muchos casos el valor de un producto en el mercado, está relacionado directamente con su pureza y calidad.

En la fabricación y manejo de plásticos transparentes, pigmentos, alimentos, medicamentos y semiconductores, la ausencia de contaminación es un factor vital. En algunos casos, una pequeña cantidad de corrosión introduce ciertos iones metálicos a la solución, pudiendo causar la descomposición catalítica de un producto, como por ejemplo en la fabricación y transportación de peróxido de hidrógeno concentrado o de hidrazina.

Generalmente la vida de un equipo no es un factor importante en los casos de contaminación o degradación de un producto. El acero puede, ordinariamente, durar muchos años, pero se usa un material más costoso porque no es deseable la presencia de corrosión desde el punto de vista del producto.

PÉRDIDA DE PRODUCTOS CON VALOR.

No se le presta mucha atención al goteo de ácido sulfúrico por el drenaje porque es una comodidad que resulta económica. Sin embargo, la pérdida de un material con un cierto costo por volumen requiere de una acción correctiva.

Pequeñas pérdidas de compuestos o soluciones de uranio son peligrosas y pueden resultar muy costosas. En tales casos y para mayor garantía se debe usar un diseño mejor planeado que observe todas las medidas de seguridad así como mejores materiales.

EFFECTOS EN LA SEGURIDAD Y LA PRECISIÓN.

El manejo de materiales peligrosos, tales como gases tóxicos, ácido fluorhídrico, ácidos nítrico y sulfúrico concentrados, materiales explosivos y flamables y sustancias radiactivas y químicas a altas temperaturas y presiones, demanda el uso de materiales que minimicen las fallas por corrosión.

La tensión de una pared de metal que esté separando el combustible del oxidante en un arrojadizo, podría causar mezclados prematuros que provocarían, tanto pérdidas considerables en el aspecto

monetario, como accidentes.

La falla de algún componente o control, puede ocasionar la destrucción de una estructura por completo. Un equipo en proceso de corrosión puede causar que compuestos sin ningún peligro se conviertan en explosivos. Si la seguridad es un riesgo, es recomendable no economizar en los materiales de construcción.

Otra consideración importante, en lo que a salud se refiere, es la contaminación del agua potable. Los productos de la corrosión pueden hacer que la limpieza del equipo se dificulte. Un ejemplo interesante es el de las plantas de leche y productos lácteos.

Los aceros inoxidableables con cromo resultan satisfactorios en las plantas antiguas en donde la mayoría del equipo es desensamblado y saneado por técnicas específicas. Las plantas más modernas utilizan métodos de limpieza y saneamiento que requieren mayor cantidad de químicos corrosivos, dentro de los cuales, algunos de consideración son los iones de cloro. Estas soluciones son circuladas a través del sistema sin extraerlas, a cambio de un gran ahorro en horas/hombre. Estos avances requieren el uso de aceros inoxidableables con resistencia a las picaduras.

La corrosión juega también un papel importante en metales que se usan en medicina, como en tornillos y platos que se utilizan para uniones de cadera, así como válvulas del corazón. Por supuesto que aquí la precisión es de suprema importancia.

CAPÍTULO II

LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN GENERAL

I SELECCIÓN DE MATERIALES.

1. Metales y Aleaciones
2. Purificación del Metal
3. No Metales

II ALTERACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

1. Cambios en el Medio
 - a) Reducción de la Temperatura
 - b) Disminución en la Velocidad de Fluidos
 - c) Remoción de oxígeno y oxidantes
 - d) Cambios en la Concentración
2. Inhibidores
 - a) Inhibidores de tipo Adsorción
 - b) Venenos generadores de Hidrógeno
 - c) Removedores
 - d) Oxidantes
 - e) Inhibidores en Fase Vapor

III DISEÑO

1. Espesor de Pared
2. Reglas de Diseño

I SELECCIÓN DE MATERIALES.

1. Metales y Aleaciones.

El método más común de prevención de la corrosión es la selección adecuada del metal o de la aleación para cada caso de corrosión.

Uno de los conceptos equivocados más comunes en cuanto a lo que metalurgia o ingeniería de la corrosión se refieren, es el de los usos y características del acero inoxidable. El acero inoxidable no es inoxidable, no es el material con mayor resistencia a la corrosión y no es una aleación específica.

El acero inoxidable es el nombre genérico de una serie de más de treinta aleaciones diferentes que contienen desde 11.5 a 30 % de cromo y de 0 a 22 % de níquel aunados a otras aleaciones. Los aceros inoxidables tienen una extensa aplicación en la resistencia a la corrosión, pero se debe asentar que éstos no resisten todos los medios corrosivos. De hecho, bajo ciertas condiciones tales como cloro, los aceros inoxidables son menos resistentes que el acero estructural ordinario.

Con frecuencia, la calidad de los aceros inoxidables se verifica con un imán. Esto se hace basándose en la creencia de que los no magnetizados representan buenas aleaciones, mientras que aquellos que son magnéticos resultan inferiores. Esta prueba no tiene base y de hecho puede llegar a desorientar. Muchas aleacio-

nes de acero inoxidable son magnéticas y muchos de los aceros inoxidables colados presentan algunas propiedades ferromagnéticas. No hay correlación alguna entre la susceptibilidad magnética y la resistencia a la corrosión. Bajo ciertas condiciones muchos de los aceros inoxidables son superiores a las variedades no magnéticas.

En resumen: un gran número de fallas, en lo que a corrosión se refiere, pueden ser atribuidas directamente a la selección indiscriminada de aceros inoxidables para la construcción, sobre la base de que éstos son los mejores. Los aceros inoxidables representan una clase de materiales altamente resistentes a la corrosión, de costo relativamente bajo que deben usarse cuidadosamente.

En la selección de aleaciones, hay varias combinaciones de metal que ya han demostrado su resistencia a algunos agentes corrosivos. Estas combinaciones representan generalmente la máxima cantidad de resistencia a la corrosión por la mínima cantidad de dinero. Algunas de estas combinaciones se enlistan a continuación:

1. Aceros inoxidables - ácido nítrico
2. Níquel y sus aleaciones - cáusticos
3. Aleaciones de níquel - ácido fluorhídrico
4. Plomo - ácido sulfúrico diluido
5. Aluminio - exposición atmosférica
6. Estaño - agua destilada
7. Titanio - soluciones fuertemente oxidantes calientes

8. Tantalio - casi todos los medios corrosivos, resistencia máxima.
9. Acero - ácido sulfúrico concentrado.

La lista anterior no representa las únicas combinaciones de un material y un agente corrosivo.

En muchos casos son útiles algunos materiales menos costosos o más resistentes. Para el ácido nítrico, los aceros inoxidables son los que generalmente se consideran primero, ya que tienen una resistencia excelente a este medio, bajo un amplio rango de condiciones de exposición. El estaño o recubrimientos de estaño son casi siempre escogidos para contener algún líquido, o como material de tuberías para agua destilada. Por muchos años, el tantalio ha sido considerado y usado como un material resistente a se veras condiciones de corrosión. El tantalio es resistente a la mayoría de los ácidos a todas concentraciones y temperaturas, y es usado generalmente bajo condiciones en donde se requiere una corrosión mínima tales como implantes en el cuerpo humano. Una característica interesante acerca del tantalio es que casi iguala la resistencia del vidrio ante la corrosión. Ambos, vidrio y tantalio, son virtualmente resistentes a todos los medios, excepto al ácido fluorhídrico y a soluciones cáusticas. Por esta razón, los fabricantes de equipo forrado de vidrio, usan tapones de tantalio para sellar defectos ya que este material se compara al vidrio en resistencia.

Existen algunas reglas generales, pero casi siempre precisas que

pueden ser aplicadas a la resistencia de metales y aleaciones. - Para un medio ambiente reductor o no oxidante, como podrían ser algunos ácidos y soluciones acuosas, frecuentemente son empleados el níquel y el cobre con sus aleaciones. Para condiciones oxidantes extremadas, han demostrado una resistencia superior al titanio y sus aleaciones.

2. Purificación del Metal.-

La resistencia a la corrosión de un metal puro, generalmente es mejor que la que puede presentar un metal que contenga impurezas o pequeñas cantidades de otros elementos. Sin embargo, los metales puros usualmente son caros y relativamente suaves y débiles. En general esta categoría es usada en pocos casos que son más o menos especiales.

El aluminio es un buen ejemplo porque no es caro cuando se encuentra en estado de pureza de 99.5 %+. El metal comercialmente puro se usa para manejar peróxido de hidrógeno, en donde la presencia de otros elementos puede causar descomposición por los efectos catalíticos. En otro caso, puede ocurrir un ataque a un equipo de aluminio a causa de la segregación de impurezas de hierro en la aleación. La reducción del máximo contenido de hierro puede eliminar el ataque y se obtiene un rendimiento satisfactorio del equipo sin costo adicional de material.

Otro ejemplo es el zirconio fundido por arco, el cual es más resistente a la corrosión que el zirconio fundido por inducción, a

causa de mayor cantidad de impurezas en el segundo. Es éste un caso especial en una de las aplicaciones de la energía atómica - en donde un poco de corrosión resulta ser demasiado.

3. No Metales.

Esta categoría involucra las construcciones de no metales sólidos así como láminas o recubrimientos de grosor considerable (para diferenciar de los recubrimientos con pintura).

Las cinco clases generales de no metales, son:

- 1) Hules naturales y sintéticos.
- 2) Plásticos.
- 3) Cerámica.
- 4) Carbón y grafito.
- 5) Madera.

En general, los hules y los plásticos, comparados con metales y aleaciones, son mucho más débiles, más suaves, más resistentes a los iones cloro y el ácido clorhídrico; menos resistentes al ácido sulfúrico y a ácidos oxidantes como el nítrico; menos resistentes a solventes y tienen limitaciones de temperatura relativamente baja (76 a 93°C a lo más). La cerámica posee excelente resistencia a la alta temperatura y a la corrosión, siendo sus de ventajas principales la fragilidad y la baja resistencia a la tensión. Los carbones presentan conductividad eléctrica y calorífica y buena resistencia a la corrosión pero son frágiles. La madera es atacada por agresividades en el medio ambiente.

II ALTERACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.

1. Cambios en el medio.

Alterar el medio ambiente ofrece maneras versátiles de reducir la corrosión. Los cambios en el medio, más comúnmente empleados, son:

- a) Reducción de la temperatura
- b) Disminución en la velocidad de fluidos
- c) Remoción de oxígeno y oxidantes
- d) Cambios en la concentración

En muchos casos, estos cambios pueden reducir la corrosión considerablemente, pero deben hacerse con precaución. Los efectos producidos por estos cambios varían dependiendo del sistema particular.

a) Reducción de la temperatura:

Generalmente la disminución de la temperatura ocasiona un decremento pronunciado en el grado de corrosión. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, los cambios en la temperatura tienen poco efecto en el grado de corrosión. En otros casos, al incrementar la temperatura, decrece el ataque. Este fenómeno ocurre, por ejemplo, cuando el agua simple o salada se calienta hasta su punto de ebullición, lo cual resulta en una disminución en la solubilidad del oxígeno. Por lo tanto, el agua de mar a su temperatura de ebullición es menos corrosiva que a cualquier temperatura inferior a ésta.

b) Disminución en la velocidad de fluidos.

Este método es muy práctico y frecuentemente usado en el control de la corrosión. Generalmente la velocidad de flujo incrementa el ataque corrosivo aunque hay algunas excepciones importantes. Los metales y aleaciones que son pasivos, como los aceros inoxidables, normalmente tienen mayor resistencia a medios fluyentes que a soluciones estancadas. Deben evitarse, hasta donde sea posible, las velocidades muy elevadas por sus efectos de erosión—corrosión.

c) Remoción de oxígeno y oxidantes.

Es ésta una técnica de control de corrosión muy antigua. El agua de calentamiento era desaerada al hacerla pasar a través de una gran masa de chatarra. En la práctica moderna se acompaña este método de un tratamiento al vacío, con gases inertes o mediante el uso de removedores de oxígeno. El ácido clorhídrico contiene cloruro férrico como una impureza oxidante. Este ácido impuro llamado ácido muriático en el comercio, corroe rápidamente las aleaciones níquel-molibdeno, mientras que estos materiales presentan excelente resistencia en ácido clorhídrico puro. Aunque la desaireación tiene una aplicación muy amplia, no se recomienda para metales o aleaciones. Estos materiales requieren oxidantes para formar y mantener sus películas protectoras y generalmente poseen una resistencia muy pobre a medios reductores o no oxidantes.

d) Cambios en la concentración.

La disminución de una concentración corrosiva es efectiva generalmente. En muchos procesos, la presencia de un corrosivo es accidental. Por ejemplo, la corrosión provocada por el agua de en

frimiento en reactores nucleares se reduce al eliminar los iones cloro. Muchos ácidos, como el sulfúrico y el fosfórico, a altas concentraciones y moderadas temperaturas son virtualmente inertes. En estos casos, la corrosión puede ser reducida al aumentar la concentración del ácido.

2. Inhibidores.-

Un inhibidor es una sustancia que cuando es agregada en pequeñas concentraciones a un medio ambiente, disminuye el grado de corrosión. En una palabra, un inhibidor puede ser considerado como un catalizador retardador. Existen numerosos tipos y composiciones de inhibidores. La mayoría de éstos han sido desarrollados por experimentaciones empíricas y muchos de ellos se encuentran en la naturaleza, por lo que su composición no es aún muy conocida. Por esta razón la inhibición no está completamente entendida, pero es posible clasificar los inhibidores de acuerdo con su mecanismo y su composición.

a) Inhibidores de Tipo Adsorción.

Éstos, representan la clase más grande de sustancias inhibidoras. En general son compuestos orgánicos que se adsorben en la superficie del metal y suprimen la disolución del mismo y las reacciones de reducción. En la mayoría de los casos parece que los inhibidores de adsorción afectan tanto a los procesos anódicos como a los catódicos, aunque en muchos casos el efecto es desigual. Las aminas orgánicas son típicas de esta clase de inhibidores.

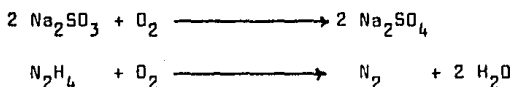
b) Venenos Generadores de Hidrógeno.

Estas sustancias, como los iones de arsénico y antimonio, retar

dan específicamente la reacción de generación de hidrógeno. C₂ como una consecuencia, son muy efectivas en soluciones ácidas; pero en medios en donde la reducción del oxígeno u otros procesos de reducción son las reacciones catódicas controlantes, son inefectivas.

c) Removedores.

Estas sustancias actúan removiendo los reactivos corrosivos de la solución. Ejemplos de este tipo de inhibidores son el sulfito de sodio y la hidrazina, los cuales remueven el oxígeno disuelto de las soluciones acuosas:



Es evidente que tales inhibidores trabajarán muy efectivamente en soluciones donde la reducción del oxígeno es la reacción catódica controlante de la corrosión, pero no lo harán en soluciones de ácidos fuertes.

d) Oxidantes.

Tales sustancias, como las sales férricas, cromatos y nitratos, también actúan como inhibidores en muchos sistemas. En general, son usadas primordialmente para inhibir la corrosión de metales y aleaciones que presentan transiciones activo-pasivas, como el hierro y sus aleaciones y los aceros inoxidable.

e) Inhibidores en Fase Vapor.

Éstos son muy similares a los inhibidores del tipo adsorción y poseen una presión de vapor muy alta. Como consecuencia de esto

dichos materiales pueden ser usados para inhibir la corrosión atmosférica de metales sin necesidad de que se pongan en contacto directo con la superficie del metal. En uso, tales inhibidores se colocan en la proximidad del metal que se va a proteger y son transferidos por sublimación y condensación a la superficie del metal. Los inhibidores de fase vapor generalmente sólo son efectivos cuando se usan en espacios cerrados, como podría ser el interior de maquinaria durante su embarque.

Es importante recordar que los inhibidores son específicos en términos del metal, el medio ambiente, la temperatura y el rango de concentración. Así, la concentración y tipo de inhibidor a usarse en un corrosivo específico es determinado generalmente por pruebas empíricas y usualmente esta información está disponible con los fabricantes. Es importante utilizar una cantidad suficiente de inhibidor, ya que muchos agentes inhibidores aceleran la corrosión cuando se presentan en concentraciones pequeñas, particularmente el ataque localizado como las picaduras. De aquí que es menos deseable tener muy poco inhibidor a nada. Para evitar esta posibilidad, los inhibidores se deben agregar en exceso comprobando su concentración periódicamente. Cuando dos o más sustancias inhibidoras se agregan a un sistema corrosivo, el efecto inhibidor en algunas ocasiones es mayor que el que se obtendría por cualquiera de las sustancias inhibidoras solas. Este efecto es llamado efecto sinérgico. Hasta el momento, el mecanismo del efecto sinérgico no ha sido completamente entendido.

Aunque los inhibidores pueden ser usados para suprimir la corrosión de metales en muchos medios, hay ciertas limitaciones de este tipo de prevención de la corrosión que deben tomarse en consideración: primero, puede que no sea posible añadir inhibidores a todos los sistemas corrosivos porque pueden contaminar el medio. Además, muchos inhibidores son tóxicos y su aplicación es tá limitada a aquellos medios que no serán usados directa o indirectamente en la preparación de alimentos u otros productos que tendrán contacto con humanos. Las sales de arsénico, que ejercen un poderoso efecto inhibitor en ácidos fuertes, tienen aplicación limitada por esta razón. Los inhibidores son usados principalmente en sistemas cerrados en los que el medio corrosivo es tá recirculado o contenido por periodos largos. Generalmente los inhibidores no son prácticos en sistemas cortos. Finalmente los inhibidores, en general, pierden en poco tiempo su eficiencia al disminuir la concentración y la temperatura del medio.

III DISEÑO.

Frecuentemente el diseño de una estructura es tan importante como la selección de los materiales de construcción. El diseño de biera tomar en cuenta los requerimientos mecánicos y tensiones - junto con los necesarios para evitar la corrosión. En todos los casos el diseño mecánico de un componente debe basarse en el material de construcción. Es importante considerar esto ya que los utilizados para resistir la corrosión varían ampliamente en sus características mecánicas.

1. Espesor de Pared.

Va que la corrosión es una acción penetrante, es necesario tomar en consideración esta reducción de espesor al diseñar tuberías, tanques, etc. En general, el espesor de pared se diseña al doble del que daría el tiempo de vida deseado. Si se necesita una vida de 10 años para un tanque dado y la mejor estimación del promedio de corrosión es de 1/8 de pulgada en diez años (promedio de corrosión de doce milésimas por año), el tanque debe ser diseñado con un espesor de pared de 1/4 de pulgada. Todo factor de diseño permite alguna variación en la profundidad de penetración durante una corrosión uniforme. Por supuesto el espesor de pared debe reunir los requerimientos mecánicos como serían la presión, el peso y la tensión.

2. Reglas de Diseño.

Existen muchas reglas de diseño que deben seguirse para lograr mejor resistencia a la corrosión, como son:

- i) Utilizar tanques soldados en lugar de tanques con remaches u otros tipos de recipientes. Las uniones por remaches proveen sitios de agrietamiento por corrosión.
- ii) Diseñar los tanques y otros recipientes para un fácil lavado y drenado. Los fondos de los tanques se deben inclinar hacia hoyos de drenaje para que los líquidos no se acumulen cuando el tanque haya sido vaciado. El ácido sulfúrico concentrado sólo resulta insignificamente corrosivo ante el acero. Sin embargo, si un tanque de acero con ácido sulfúrico no se drena completamente y el

líquido remanente se expone al aire, el ácido tiende a absorber humedad, lo que resulta en una dilución y en un rápido ataque.

- iii) Diseñar sistemas en los que las partes que se espera fa llen rápidamente durante su servicio, puedan ser reemplazadas fácilmente. Generalmente las bombas en las plantas se diseñan para poder ser removidas fácilmente del sistema de tuberías, ya que fallan con frecuencia.
- iv) Evitar tensiones mecánicas excesivas y tensiones de con tracciones en componentes expuestos a medios corrosivos. Las tensiones mecánicas o residuales son uno de los re querimientos para que se presente la corrosión. Esta re gla se debe seguir especialmente al usar materiales sus ceptibles a este tipo de corrosión como los aceros inoxi dables y los latones.
- v) Evitar contacto eléctrico entre materiales diferentes - para prevenir la corrosión galvánica. Si es posible, ú sense materiales similares en su estructura, y aislense eléctricamente los materiales diferentes.
- vi) Evitar curvaturas pronunciadas en las líneas de tuberías. En este tipo de curvaturas y en otras áreas en donde la dirección del flujo cambia rápidamente, tiende a aumentar la corrosión por erosión. Esto es particularmente importante en sistemas susceptibles a este tipo de co rrosión tales como el cobre y el plomo y sus aleaciones.
- vii) Evitar los puntos calientes durante las operaciones de calor. Los intercambiadores de calor y otros aparatos de

transferencia de calor deben ser diseñados para asegurar gradientes de temperatura uniformes. Una distribución desigual de la temperatura conduce a un calentamiento local y a un alto grado de corrosión. Además, los puntos calientes tienden a producir tensiones que finalmente se traducirán también en fallas por corrosión.

- viii) Diseñar para excluir el aire. La reducción de oxígeno es una de las reacciones catódicas más comunes durante la corrosión y si el oxígeno es eliminado, la corrosión, a menudo, puede reducirse o prevenirse. Al diseñar equipo para plantas, se debe prestar particular atención a los agitadores, entradas de líquidos y otros puntos en los que haya posibilidad de entrada de aire. Las excepciones a esta regla son los metales activo-pasivos y aleaciones. El titanio y los aceros inoxidable son más resistentes a ácidos conteniendo aire disuelto u otros oxidantes.
- ix) La regla más general para el diseño es evitar la heterogeneidad. Metales diferentes, espacios de vapor, distribuciones desiguales de calor y tensiones y otras diferencias entre puntos del sistema conducen a daños por corrosión. Por lo tanto, en diseño se debe intentar que todas las condiciones sean tan uniformes como sea posible a través del sistema completo.

CAPÍTULO III

PROTECCIÓN ANTICORROSIVA PARA CASOS ESPECIALES

I PROTECCIÓN CATÓDICA Y ANÓDICA.

1. Protección Catódica.
2. Protección Anódica.
3. Comparación entre Protección Catódica y Protección Anódica.

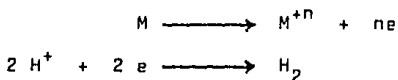
II RECUBRIMIENTOS.

1. Recubrimientos Metálicos y otros Recubrimientos Inorgánicos.
 - a) Electrodeposición.
 - b) Espresamiento por Flama.
 - c) Acorazado.
 - d) Inmersión en Caliente.
 - e) Deposición por Vapor.
 - f) Difusión.
 - g) Conversión Química.
2. Recubrimientos Orgánicos.

I PROTECCIÓN CATÓDICA Y ANÓDICA.

1. Protección Catódica.

La protección catódica fue empleada antes de que la ciencia de la electroquímica se hubiera desarrollado. Los principios de la protección catódica se pueden explicar considerando la corrosión de un metal típico M en un medio ácido. Las reacciones electroquímicas que se suceden con la disolución del metal y la liberación de gas hidrógeno, de acuerdo con las siguientes ecuaciones :



La protección catódica se consigue suministrando electrones a la estructura metálica que se desea proteger. Examinando las ecuaciones anteriores se puede observar que la adición de electrones a la estructura tenderá a suprimir la disolución del metal e incrementar el promedio de evolución de hidrógeno. Si se considere que la corriente fluye de (+) a (-) como en la teoría eléctrica convencional, entonces una estructura se protege si la corriente entra a ella del electrolito. Por el contrario, la corrosión se acelera si una corriente pasa del metal al electrolito. Esta convención de la corriente se ha adoptado en la tecnología de protección catódica y es también la usada aquí.

Existen dos maneras de proteger catódicamente una estructura :

- a) Por un suministro de poder externo.
- b) Por una acopladura galvánica apropiada.

La figura 2 ilustra la protección catódica por medio de corriente impresa. Aquí un suministro de poder CD externo se conecta a un tanque enterrado. La terminal negativa del suministro de poder se conecta al tanque y la positiva a un ánodo inerte como grafito o Durirón. Los conductores eléctricos al tanque y al electrodo inerte se aíslan cuidadosamente para prevenir la pérdida de corriente. Generalmente el ánodo es rodeado por un aislante que consiste en coque, yeso o bentonita, el cual mejora el contacto eléctrico entre el ánodo y el suelo que lo rodea. Como se muestra en la figura, la corriente pasa a la estructura metálica y la corrosión se suprime.

La protección catódica por acopladura galvánica de magnesio se muestra en la figura 3. El magnesio es anódico con respecto al acero y se corroe preferencialmente cuando se acoplan galvánicamente. El ánodo en este caso es llamado ánodo de sacrificio ya que éste es consumido durante la protección de la estructura de acero. La protección catódica usando ánodos de sacrificio también puede ser usada para proteger tuberías enterradas, como se muestra en la figura 4. Los ánodos son espaciados a lo largo de la tubería para asegurar una distribución uniforme de la corriente.

Las corrientes protectoras generalmente son determinadas empíricamente, y algunos valores típicos se enlistan en la tabla I.

Los corrosivos agresivos tales como ácidos calientes requieren altas corrientes que resultan prohibitivas, mientras que las co

rrientes que se necesitan para proteger acero en medios menos - severos (concreto), son mucho más bajas. Esta tabla indica los valores promedio típicos de corrientes protectoras. Las aplicaciones específicas pueden desviarse de estos valores. Por ejemplo, en ciertos suelos muy ácidos, es necesario un valor de 10 a 15 ma. para reducir la corrosión de estructuras de acero hasta - niveles tolerables. También, tubos con recubrimientos orgánicos requieren corrientes mucho más bajas ya que las únicas áreas que necesitan protección son los defectos en la capa protectora. En tales casos, los ajustes de prueba y error sobre el tamaño del ánodo o la corriente aplicada se pueden hacer hasta que se alcance una protección satisfactoria. Un enfoque más exacto y con menos consumo de tiempo es el medir el potencial de la estructura protegida con un electrodo de referencia adecuado. Las estructuras de acero expuestas a determinados suelos, a aguas salobres y frescas, así como agua de mar, se pueden proteger si son polarizadas a un potencial de -0.85 volts contra un electrodo de referencia de Cobre/Sulfato de cobre. La figura 5 muestra tal electrodo, diseñado para pruebas de protección catódica. Este electrodo tiene las ventajas de bajo costo, exactitud y dureza. El potencial de una estructura se determina con un voltímetro - de alta resistencia como el de la figura 6. Durante esta medición, el electrodo de referencia se coloca en el suelo o sobre una esponja empapada de salmuera para hacer contacto eléctrico. La densidad de corriente catódica necesaria para polarizar el tubo a -0.85 v. se puede determinar rápidamente. En los casos en los que son usados los ánodos de sacrificio (como zinc y magne-

sio), esta misma medición se usa para indicar el número y tamaño de los ánodos que se necesitan para una protección completa. En tubos largos o grandes y en estructuras complejas, las pruebas de electrodos de referencia se utilizan para determinar la uniformidad de las corrientes aplicadas.

La selección de los ánodos de sacrificio para protección catódica se basa en consideraciones económicas y de ingeniería. La tabla II compara varios tipos de ánodos de sacrificio y de corriente impresa. De los ánodos de sacrificio, el zinc y el magnesio son los más usados. El magnesio es más caro que el zinc y aunque su eficiencia es baja (aproximadamente 50%), esto se compensa por su potencial tan negativo, mismo que provee un alto rendimiento de corriente. Existe una variedad considerable de ánodos de corriente impresa que van desde el acero de bajo costo (chatarra), que sufre relativamente grandes pérdidas, hasta el titanio platinizado inerte, el cual es eficiente y caro. El acero, grafito y hierro-silicón son los materiales más ampliamente usados para ánodos; junto con el plomo y el titanio platinizado que se ha encontrado, tienen crecientes aplicaciones en los medios marinos.

A menudo se encuentran ciertos efectos en los sistemas de protección catódica. Estos efectos se refieren a corrientes directas extrañas en la tierra. Si un objeto metálico se coloca en un campo de corriente fuerte, se desarrolla una diferencia de potencial a través de él y ocurre una aceleración en la corrosión en puntos en los que la corriente deja el objeto y entra al sue

13. Estos problemas eran bastante comunes en años anteriores - debido a la pérdida de corriente en las vías férreas. Las tuberías y los tanques bajo estas vías fueron corroídos rápidamente. Sin embargo, ya que este tipo de transportación es ahora obsoleto, las corrientes a causa de esto dejaron ya de ser un problema. Una causa más común de este tipo de corrientes se encuentra dentro de complejos industriales que contienen numerosas tuberías enterradas.

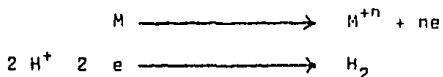
La figura 7 ilustra este tipo de corrientes resultantes de un sistema de protección catódica. El propietario del tanque enterrado instaló protección catódica. Él no sabía la existencia de una tubería cercana la cual falló rápidamente debido a estas corrientes en la tierra. Si el propietario de la tubería aplica protección catódica, es posible prevenir el ataque de su línea, pero producirá ataque en el tanque enterrado. Es fácil observar cómo la corrosión por este tipo de corriente tiende a aumentar. Como cada propietario agrega o incrementa corrientes protectoras a sus estructuras, aumenta los requerimientos de corriente en otras estructuras adyacentes.

En una área industrial que contenía una alta densidad de estructuras subterráneas protegidas, los requerimientos de corrientes protectoras ascendieron rápidamente a 20 ma/ft^2 en varias áreas. La solución a este problema es la cooperación entre los operarios. Por ejemplo, el problema de corriente en la figura 7 podría prevenirse conectando eléctricamente el tanque y el tubo y rearreglando los ánodos como se muestra en la figura 8. Aquí,

tanto el tubo como el tanque están protegidos, sin tener efectos de corrientes y los propietarios comparten el costo de instalación y operación.

2. Protección Anódica.

En contraste con la protección catódica, la protección anódica es relativamente nueva. Esta técnica se desarrolló usando los principios cinéticos de los electrodos y resulta algo difícil de describir sin tener que introducir conceptos avanzados de la teoría electroquímica. Simplemente, la protección anódica se basa en la formación de una capa protectora sobre los metales mediante corrientes anódicas aplicadas externamente. Considerando de nuevo las ecuaciones



resulta que la aplicación de una corriente anódica a una estructura debería tender a incrementar el grado de disolución de un metal y a disminuir el grado de formación de hidrógeno. Esto generalmente ocurre, excepto para metales con transiciones activo-pasivas como el níquel, hierro, cromo, titanio y sus aleaciones. Si se aplican corrientes anódicas a estos materiales, controladas cuidadosamente, se hacen pasivos y el promedio de disolución del metal se disminuye. Para proteger anódicamente una estructura, se requiere un aparato llamado potenciostato. Un potenciostato es un aparato electrónico que mantiene a un metal en un potencial constante respecto a un electrodo de referencia. En la figura 9 se ilustra la protección anódica de un tanque de ace

ro que contiene ácido sulfúrico. El potenciostato tiene tres terminales: una está conectada al tanque, otra a un cátodo auxiliar (un electrodo de platino o de platino recubierto) y la tercera a un electrodo de referencia (como por ejemplo una celda Calomel). En operación, el potenciostato mantiene un potencial constante - entre el tanque y el electrodo de referencia. El potencial óptimo para la protección se determina por mediciones electroquímicas.

La protección anódica puede disminuir el grado de corrosión sustancialmente. La tabla III enlista los grados de corrosión de un acero inoxidable en soluciones de ácido sulfúrico conteniendo iones cloro con o sin protección anódica. La tabla muestra que la protección anódica causa un gran decremento del ataque de la corrosión en algunos sistemas. Aunque la protección anódica está limitada a metales pasivos y sus aleaciones, muchos materiales estructurales de tecnología moderna contienen estos elementos. - Así, esta restricción no es tan importante como podría parecer - en un principio. La tabla IV enlista varios sistemas en los que la protección anódica se ha aplicado exitosamente. La ventaja - principal de la protección anódica es su aplicación en medios ex tremadamente corrosivos y en requerimientos más comunes.

3. Comparación entre Protección Catódica y Anódica.

Algunas de las diferencias importantes entre la protección catódica y anódica se encuentran en la tabla V. Cada método tiene - sus ventajas y desventajas, además de que tienden a complementar - se una a la otra. La protección anódica se puede utilizar en co rrosivos que vayan desde débiles hasta muy agresivos, mientras -

que la protección catódica está restringida a condiciones moderadamente corrosivas a causa de su alto requerimiento de corriente, el cual aumenta al incrementarse el grado de corrosión del medio.

Por esto, no resulta práctico proteger catódicamente metales - que se encuentren en medios muy agresivos. Por otro lado la protección anódica utiliza pequeñas corrientes aplicadas y puede ser utilizada en muchos corrosivos fuertes. Sin embargo, la protección catódica puede usarse en estructuras muy grandes mientras que la protección anódica se prefiere para sistemas inmersos.

La instalación de un sistema de protección catódica, es relativamente poco costosa ya que sus componentes se instalan simple y fácilmente. La protección anódica requiere una compleja instrumentación, incluyendo el potencióstato y el electrodo de referencia, y su costo de instalación es alto. Tal vez se podría pensar en combinar la protección anódica con materiales menos costosos. Los costos de operación de los dos sistemas difieren a causa de los distintos requerimientos de corriente, como ya se enunció. La uniformidad en la distribución de la densidad de corriente varía entre los dos tipos de protección. Para la catódica es generalmente baja y requiere numerosos electrodos espaciados. Para la anódica se puede utilizar un cátodo auxiliar para proteger grandes longitudes de tubos, pero casi no se usa este tipo de protección para este propósito.

La protección anódica posee dos ventajas únicas. Primero, la corriente aplicada es generalmente igual al promedio de corro -

sión del sistema protegido. Así, la protección anódica no sólo protege sino que también ofrece una forma de detectar el primer paso de corrosión instantánea. Segundo, las condiciones de operación para la protección anódica se pueden establecer precisamente mediante mediciones de polarización en el laboratorio. En contraste, los límites de operación para la protección catódica se establecen generalmente por exámenes empíricos de prueba y error. Aunque se han sugerido varios métodos de evaluación rápidos para estimar los requerimientos de corriente para la protección catódica, todos ellos han probado ser inconfiables en mayor o menor grado y la última decisión generalmente se basa en experiencias pasadas.

El concepto de protección anódica se ha aplicado satisfactoriamente a problemas de corrosión a nivel industrial. Sin embargo, la incorporación de protección anódica a la práctica ingenieril de la corrosión se ha llevado a cabo muy lentamente desde su introducción. La poca disposición de los ingenieros en corrosión, a utilizar este nuevo método para prevenir la corrosión, probablemente se deba en gran medida a sus experiencias personales y a la literatura clásica acerca de la corrosión. Los desastrosos efectos que se producen si un sistema de protección catódica se conecta con polaridad invertida serían el rápido deterioro de un ánodo en un acoplamiento galvánico, y la regla generalizada de la literatura clásica que establece que las corrientes anódicas aceleran la corrosión, tienden a suprimir la introducción de esta técnica de protección. En esencia, la protección

anódica representa una excepción a la regla general de que una corriente anódica impresa o la remoción de electrones de un metal, acelera la corrosión. En el futuro, probablemente la protección anódica revolucione muchas prácticas comunes de la ingeniería de la corrosión, aunque tal vez ésta no avance tan rápidamente. Utilizando esta técnica, es posible reducir los requerimientos de aleaciones para un servicio de corrosión particular. La protección anódica se puede clasificar como uno de los avances más significativos en la historia entera de la ciencia de la corrosión.

II RECUBRIMIENTOS.

1. Recubrimientos Metálicos y Otros Recubrimientos Inorgánicos.

Los recubrimientos delgados de materiales metálicos e inorgánicos pueden proveer una barrera relativamente satisfactoria entre el metal y su medio externo. La función principal de tales recubrimientos (además de recubrimientos de sacrificio como el zinc), es proveer una barrera efectiva. Los recubrimientos metálicos se aplican por electrodeposición, espreamiento de flama, recubrimiento, inmersión en caliente y deposición de vapor. Los inorgánicos se aplican o forman por espreamiento, difusión o conversión química.

El espreamiento generalmente es seguido por un horneado a altas temperaturas. Los recubrimientos metálicos generalmente exhiben alguna dureza mientras que los inorgánicos son quebradizos. En ambos casos se debe proveer una barrera completa. La porosidad u otros defectos pueden provocar un ataque localizado y acelera

do en el metal básico a causa de efectos de los dos metales. Algunos ejemplos de artículos con recubrimientos metálicos son - los parachoques y defensas de los autos, aparatos electrodomésticos e instalaciones, acero galvanizado, piezas de plata y latas de estaño. Los tubos de baño y los tanques de acero vidriado son representaciones de recubrimientos cerámicos. Ejemplos - de recubrimientos de difusión y conversión son el aluminio anodizado y el acero cromado, respectivamente.

a) Electrodeposición.

Este proceso, llamado también electroplateado, consiste en sumergir la parte a cubrir en una solución del metal para platear y pasar una corriente directa entre la parte y el otro electrodo. El carácter del depósito depende de muchos factores que incluyen temperatura, densidad de corriente, tiempo y composición - del baño. Estas variables se pueden ajustar para producir recubrimientos gruesos (20 mils) o delgados (milésimas de mils en - el caso de un plateado de estaño), opacos o brillantes, suaves (plomo) o duros (cromo) y dúctiles o quebradizos. Los plateados duros se utilizan para combatir la corrosión por erosión. El electroplateado puede ser un solo metal, capas de varios metales o una aleación (latón). Por ejemplo, el parachoques de un auto móvil tiene un plateado interior de cobre (para una buena adhesión), una capa intermedia de níquel (para protección contra la corrosión) y una capa exterior delgada de cromo (principalmente para apariencia). Zinc, níquel, estaño y cadmio, en este orden, son utilizados en grandes toneladas para platear. Oro, plata y platino también son comunes. La mayoría de los metales se pue

den aplicar por electrodeposición.

b) Espreamiento por flama.

Este proceso, llamado también metalización, consiste en alimentar polvos o alambre de un metal a través de una flama fundente para que el metal, dividido en finas partículas líquidas, se esparza sobre la superficie que se quiere proteger. El oxígeno y el acetileno o el propano se usan comúnmente para la flama fundente. Generalmente los recubrimientos son porosos y no son protectores bajo condiciones severas de corrosión húmeda. A menudo la porosidad disminuye con el punto de fusión del metal; desde este punto de vista, zinc, estaño y plomo son mejores que el acero o el acero inoxidable.

La superficie por recubrir debe estar áspera (con chorro de arena) para obtener una unión mecánica. Algunas veces se aplica un recubrimiento de pintura sobre el metal espreado para llenar los vacíos y proveer una mejor barrera. El metal poroso forma una base mejor para la pintura y se obtiene una buena unión. Este proceso es una manera económica de obtener superficies cubiertas en partes como flechas y ejes. Los metales de alto punto de fusión también se pueden depositar mediante espreación.

Las aplicaciones de este proceso de metalización incluyen carros, tanque y buques de todos tipos, puentes, cascos de barcos y superestructuras, equipos de refrigeración y muchos productos de acero. Las torres de viento espreadas con aluminio y selladas con un recubrimiento orgánico de aluminio-silicón se protegen

hasta 480°C . El acero inoxidable espreado con aluminio da una protección en aire que llega a los 815°C .

c) Acorazado.

Esto se refiere a colocar una capa de hoja de metal al rolarse hojas de metal juntas. Por ejemplo, una hoja de níquel y otra de acero se rolan juntas en caliente para producir una hoja compuesta con aproximadamente $1/8''$ de níquel y $1''$ de acero. Las aleaciones de aluminio de alta resistencia usualmente se acorazan con una cubierta de aluminio puro comercial para proveer una barrera contra la corrosión porque la aleación es susceptible a la corrosión por tensión.

El níquel, aluminio, cobre, titanio, aceros inoxidables y otros materiales, a menudo se usan como cubierta para el acero. El desarrollo de aceros inoxidables de bajo contenido de carbono (tipo 304L) ha incrementado la utilización de recipientes acorazados. Un tanque de acero inoxidable cubierto no puede ser templado. Se necesita una varilla de más alta aleación para soldar las partes cubiertas a modo de evitar la dilución del depósito de soldadura y la pérdida de la resistencia a la corrosión. Por ejemplo, varillas de acero inoxidable del tipo 310 se usan para unir platos de acero tipo 304L. El acorazado presenta la gran ventaja económica de que la barrera de corrosión, o sea el material costoso, es relativamente delgada.

d) Inmersión en Caliente.

Este tipo de recubrimiento se aplica a los metales al sumergir-

los, ya sea en baños de metal fundido o de metales de bajo punto de fusión, principalmente zinc, estaño, plomo y aluminio. Este es uno de los métodos más antiguos para recubrir con metal. El acero galvanizado es un ejemplo. El espesor del recubrimiento es mucho mayor que el de los electroplateados pues es difícil lograr espesores pequeños por este método. Las partes recubiertas se pueden tratar con calor para formar una aleación entre el recubrimiento y el sustrato.

e) Deposición por Vapor.

Esto se logra en una cámara de alto vacío. El metal cubridor se vaporiza al calentarlo eléctricamente, y el vapor se deposita en las partes por cubrir. Este método es más costoso que otros y generalmente está limitado a circunstancias críticas, como partes de alta tensión para proyectiles y cohetes. La excepción a esto es un nuevo proceso para depositar aluminio sobre acero en una planta de producción (U.S. Steel Corporation).

f) Difusión.

Este tipo de recubrimiento incluye un tratamiento calorífico para causar la formación de aleaciones por difusión de un metal en otro. Por esta razón, se le llama también a este proceso "aleación de superficie". Las partes a recubrir se empacan en materiales sólidos o se exponen a medios gaseosos que contienen el metal que forma el recubrimiento. Algunos ejemplos son los recubrimientos de zinc, el cromado y los recubrimientos de aluminio. En el caso del aluminio, la superficie se oxida para formar una capa protectora de Al_2O_3 . Los recubrimientos de aluminio y el cromado se utilizan principalmente para la resistencia a la

oxidación por alta temperatura. Los recubrimientos de aluminio permiten el uso a altas temperaturas de un acero fuerte pero oxidado fácilmente, tal como el acero al carbón (con 1% de Mo).

g) Conversión Química.

Estos recubrimientos se producen al corroer la superficie metálica para formar un producto adherente y que proteja contra la corrosión. El anodizado consiste en una oxidación anódica en un baño ácido para colocar una capa de óxido. El producto mejor conocido es el aluminio anodizado, en donde la capa protectora es Al_2O_3 . No se obtiene una gran mejora en la resistencia a la corrosión, por lo que el aluminio anodizado no se debe usar en donde el aluminio no tratado muestre un ataque rápido. La capa superficial es porosa y provee una buena adherencia para pinturas. La superficie anodizada se puede sellar si se expone al agua hirviendo. El aluminio anodizado se usa para muchos propósitos arquitectónicos y otros en donde es de suma importancia una apariencia placentera. En otras palabras, el aluminio anodizado se podría considerar como un controlador para producir una superficie uniforme.

Otros ejemplos son: el fosfatizado, en un baño de ácido fosfórico; el cromado, que es la exposición en ácido crómico y dicromatos; y el óxido o recubrimientos por calor para acero. El mejor ejemplo de fosfatizado son las carrocerías de los automóviles.- Aquí el tratamiento proporciona una buena base para la pintura y también detiene por algún tiempo la oxidación, si el acabado es estropeado. Los tratamientos de cromo se aplican a partes de

magnesio y zinc y ofrecen alguna medida de resistencia a la corrosión aunque las partes se pinten normalmente. Los recubrimientos de óxido se producen sobre acero al calentarlo en presencia de aire o exponiéndolo a un líquido caliente. Estos recubrimientos se deben tratar con un producto del petróleo para evitar la oxidación. El óxido coloreado se utiliza principalmente para mejorar la apariencia.

El acero vidriado es un importante material de construcción para las industrias de proceso y también en los hogares, por ejemplo en los tanques de agua caliente. La superficie lisa es una ventaja cuando se requiere limpieza o bien se manejan materiales pegajosos, como el látex. El acero vidriado se usa ampliamente en la industria farmacéutica, en plantas piloto, plantas de vino, cerveza, alimentos y muchas otras en donde se ven involucrados severos corrosivos o contaminaciones del producto.

El concreto se utiliza para muchos problemas de corrosión. Como ejemplos se pueden citar el acero estructural encajonado (también contra incendios), tuberías de concreto y recipientes de concreto.

2. Recubrimientos Orgánicos.

Estos implican una barrera relativamente delgada entre el sustrato y el medio. Las pinturas, barnices, lacas y recubrimientos similares protegen al metal, sin lugar a dudas, más que cualquier otro método para combatir la corrosión. Las superficies exteriores son las más familiares, pero los recubrimientos interiores

o los forros son ampliamente utilizados también. Una miríada de tipos y productos están involucrados. Se requiere un conocimiento considerable de este complejo campo para un buen rendimiento; si no se tiene, lo mejor es consultar con un productor de recubrimientos orgánicos de buena reputación. Como regla general estos recubrimientos no se deben usar donde el medio pueda atacar rápidamente al sustrato. Por ejemplo, no se debe usar pintura para forrar el interior de un carro tanque para transportar ácido clorhídrico. Un defecto o una pequeña área del metal expuesto provocaría una perforación rápida. También se recomienda un programa de prueba.

Se deben considerar tres factores principales para los recubrimientos orgánicos, aparte de una correcta aplicación, que se enlistan en orden de importancia:

- a) Preparación de superficie.
- b) Selección del primario.
- c) Selección del acabado.

Si la superficie metálica no está preparada correctamente, la pintura puede descascararse a causa de una unión pobre. Si el primario no tiene buena adherencia o no es compatible con el acabado se presenta una falla temprana. Si los primeros dos factores son incorrectos, el sistema fallará sin importar el acabado que se use. El bajo rendimiento de una pintura es, en la mayoría de los casos, debido a una aplicación y preparación de superficie, pobres.

La preparación de superficie involucra aspereza para contener -

una unión mecánica (dientes), así como la remoción de suciedad, óxido o aceite, grasa, fundente, cera y otras impurezas. En otras palabras, se necesita una superficie limpia y áspera. El mejor método es el chorro de arena. Existen también los tratamientos químicos, el raspado y cepillado, la limpieza con flama y el cincelado.

Se debe tener especial cuidado con los pequeños orificios, así como con las orillas puntiagudas para asegurar el contacto entre la pintura y el metal. Otros métodos químicos, son el desgrasado con solventes, tratamientos de álcali en caliente o frío, fosfatizado, tratamiento de cromo y tratamientos electroquímicos como el anodizado y la limpieza catódica.

Junto con las consideraciones económicas, la selección del método de preparación de superficie depende del metal que se va a pintar; la forma, tamaño y accesibilidad de la estructura; el sistema de recubrimientos y las condiciones de servicio.

Los primarios pueden contener pequeños inhibidores de la corrosión como el cromato de zinc y el polvo de zinc, y con eso dar otra función aparte de actuar como barreras.

Se necesita cierta humedad para que las grietas y otros defectos de superficie se llenen. Los periodos cortos de secado son ventajosos para impedir la contaminación antes de que se apliquen los acabados, particularmente en aplicaciones de campo

La selección del acabado es importante. El uso de pinturas bara-

tas es una falsa economía porque la mayoría del costo de un sistema de pintura se encuentra en su aplicación. Muchas veces una pintura se aplica principalmente por apariencia; puede resultar más barato dar una tolerancia de corrosión haciendo el acero más grueso desde el principio. Un punto importante aquí es que la buena apariencia y la óptima protección de la corrosión, aun en atmósferas severas, se puede obtener a un costo extra muy pequeño con sólo seleccionar un buen material como acabado.

El espesor del recubrimiento debe ser tal que ninguna parte del metal quede al descubierto. Es casi imposible aplicar una capa de pintura y tenerla libre de pequeños orificios o de otros defectos. Se necesitan múltiples capas para que un orificio en alguna de ellas se cubra por una película completa de otra capa. El espesor es también importante porque la pintura se deteriora o sufre cambios con el tiempo.

Existen varios métodos aprovechables para reducir los costos de la pintura de mantenimiento. Uno de estos métodos es instituir un programa para cubrir los puntos malos en cuanto se presenten en vez de esperar hasta que el recubrimiento esté tan malo que se requiera un trabajo de repintado. Sería un caso muy raro el que un sistema de recubrimiento fallara todo al mismo tiempo. Otro método es aplicar la pintura mediante un espray en caliente. En este caso la alta temperatura permite un contenido más alto de sólidos (con menos solvente) y mejor espray, lo que significa una película más gruesa en cada mano. Otro método consiste en aplicar una cinta a las orillas para que queden prote-

gidas; por supuesto que éstas son lo más difícil de proteger. Otro método es el diseñar una estructura de modo que se expongan en mínima parte el área y las orillas.

Muchas compañías dejan sus trabajos de pintura a contratistas ajeno a ellas. Esto puede resultar económico al principio, pero generalmente será más costoso a la larga. Si una planta tiene suficiente trabajo, debe entrenar a sus propios pintores.

En resumen, un buen trabajo de pintura consiste en una buena preparación de superficie, una adecuada selección del recubrimiento y una buena aplicación. Existe una gran variedad de pinturas: las pinturas de asfalto se usan a menudo en tuberías, algunas veces se usa una envoltura de tela con el recubrimiento para reforzar. Otros ejemplos son las pinturas alquídicas, las fenólicas y las de hule clorado. También aquellas que contienen -minio, óxido de hierro y dióxido de titanio. Las pinturas epóxicas y los vinilos se han adoptado ampliamente para aplicaciones anticorrosivas.

CAPÍTULO IV

**PRINCIPALES RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS
EMPLEADOS EN PEMEX, C.F.E., SICARTSA,
FERTIMEX**

El término recubrimiento se refiere a todas las pinturas y productos que se usan para prevenir la corrosión por aislamientos del medio.

Los recubrimientos anticorrosivos se denominan, en general: primarios, acabados y especiales. Llevan en particular el nombre específico relativo a su composición, generalmente por el nombre genérico del polímero, o en otros casos se denominan de acuerdo con su uso.

Los primarios se caracterizan por su adhesión al sustrato, al a acabado y por inhibir la corrosión. Esto se obtiene por su alta pigmentación y su baja cantidad de resina.

Los acabados dan una apariencia decorativa, así como resisten a la exposición, contribuyendo como barrera anticorrosiva.

Los especiales se utilizan para resistir el calor, la fricción y la corrosión.

Generalmente estos recubrimientos no se aplican por separado si no formando sistemas, los cuales se escogen de acuerdo con propiedades similares, compatibilidad, etc.

Los sistemas escogidos para este estudio se enuncian a continuación :

<u>SISTEMA</u>	<u>PRIMARIO</u>	<u>CAPA INTERMEDIA (Enlace)</u>	<u>ACABADO</u>
1	Inorgánico de Zinc		Hule Clorado
2	Inorgánico de Zinc		Vinílico Altos Sólidos
3	Inorgánico de Zinc	Vinil-Epóxico Modif.	Vinílico Altos Sólidos
4	Inorgánico de Zinc		Epóxico
5	Epóxico		Epóxico
6	Vinil Alquidático		Alquidático
7	Minio Alquidático		Alquidático
8	Hule Clorado		Hule Clorado
9	Alquitrán de Hulla-Epox. (com. amínico)		
10	Alquitrán de Hulla-Epox. (comp. poliamídico)		

PRIMARIO DE MINIO ALQUIDÁLICO :

Está formulado con óxido de plomo y resina alquidálica a base de aceite de linaza.

Una de sus ventajas es que por su resina alquidálica tolera una preparación de superficie pobre.

Este primario presenta buena adherencia, no es completamente in soluble en agua y actúa por pasivación de las reacciones anódicas y catódicas. Sufre ataque bajo la película cuando ya hay - corrosión.

Puede aplicarse en superficies donde no puede usarse chorro de arena, con limpieza a base de sistemas manuales.

PRIMARIO VINIL ALQUIDÁLICO :

Este primario se compone principalmente de cromato de zinc, óxido de hierro y resinas vinílicas combinadas con alquidálicas, especialmente formuladas para hacerlas compatibles.

El cromato de zinc es un pigmento inhibidor en muchos sistemas de resinas. Actúa oxidando los productos de la corrosión produciendo compuestos férricos insolubles, eleva la resistencia eléctrica y, por la migración de iones cromato al pasivar el ánodo, se inhibe la corrosión.

El vehículo de este primario es muy impermeable ya que tiene pocos grupos polares; sin embargo, su adherencia no es tan grande por la baja presencia de éstos.

Este primario es parcialmente soluble en agua. Se usa sobre su superficies metálicas, limpiadas con chorro de abrasivo, a un acabado tipo comercial. En los casos en que no pueda efectuarse - ésta, podrá usarse sobre superficies preparadas por métodos ma nuales.

PRIMARIO DE ZINC 100% INORGÁNICO TIPO AUTOCURANTE BASE SOLVENTE. Su especificación se refiere a un primario de zinc 100% inorgánico cuyas propiedades autocurantes están incluidas en sus com ponentes sin requerir de ninguna solución curadora.

Está constituido por un pigmento de polvo fino de zinc y un ve hículo de silicato orgánico parcialmente hidrolizado, los cu les se envasan por separado. La función del zinc es que, por - ser más anódico que el acero se corroe en lugar de éste.

Es sumamente duro y resistente a la abrasión, presenta resisten cia a la mayoría de los solventes. Se utiliza para instalacio- nes expuestas a un alto porcentaje de humedad, ya que cura des- de humedades relativas muy bajas hasta muy altas, siendo menor el tiempo de curado a mayor humedad relativa.

Este primario debe aplicarse sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas previamente con chorro de abrasivo a metal blanco. Puede ser usado, en algunos casos, solo, pero se le pre fiere como primario de un sistema, el cual dependerá de las con diciones ambientales.

PRIMARIO DE ALQUITRÁN DE HULLA-EPÓXICO :

Este primario se compone de alquitrán de hulla, resinas epóxicas, pigmentos inertes y un reactivo químico, el cual distingue los dos tipos de primarios y funcionará como catalizador. Estos reactivos son : un componente amínico para el tipo A y un componente poliamídico para el tipo B.

Tiene un alto contenido de sólidos por volumen y deja una película dura resistente al agua salada, agua cruda, petróleo crudo y combustóleo para inmersión continua a temperaturas hasta de 70°C.

Este producto está formulado para aplicarse sobre superficies metálicas previa limpieza con chorro de abrasivo a un acabado tipo comercial.

La acción de este primario es de proteger actuando como barrera entre el sustrato y el medio ambiente.

PRIMARIO EPÓXICO :

Este primario se compone de un pigmento inhibidor y de resinas epóxicas que se catalizan con un componente poliamídico.

Presenta propiedades de adherencia por sus grupos polares así como de humectación y de resistencia al ambiente húmedo con o sin salinidad.

Se utiliza sobre superficies metálicas de hierro y acero previa limpieza con chorro de abrasivo a un acabado tipo comercial.

PRIMARIO DE HULE CLORADO :

Este primario contiene pigmentos inhibidores y resinas de hule clorado plastificadas con parafina clorada.

Tiene buenas características inhibidoras a la corrosión en ambiente húmedo con o sin salinidad. Es impermeable; presenta buena adhesión al cemento y por sus propiedades funciona bien en estructuras continuamente húmedas o sumergidas en agua dulce o salada.

Se usa sobre superficies metálicas limpiadas con chorro de abrasivo a un acabado tipo comercial. En los casos en que ésta no pueda efectuarse, puede usarse sobre superficies limpiadas por métodos manuales.

ENLACE VINIL-EPÓXICO MODIFICADO :

Este producto se compone de resinas de vinilo y epóxicas, lo cual le confiere muy buena adherencia y una gran compatibilidad con diversos recubrimientos. Al usarse dentro de un sistema posee una excelente capacidad para detener la corrosión bajo película, es resistente al ambiente húmedo con o sin salinidad y a la inmersión en agua potable.

Se usa como capa de liga o enlace sobre primarios inorgánicos de zinc que se encuentren completamente curados.

ACABADO ALQUIDÁLICO :

Se compone de resina alquidálica y pigmentos. Es duro, brillante,

con buena flexibilidad, adherencia y humectación. Es resistente a la intemperie con buena retención de color y brillo.

No resiste ácidos, álcalis ni solventes. Se utiliza preferentemente en ambientes secos y húmedos sin salinidad.

ACABADO VINÍLICO ALTOS SÓLIDOS :

Este recubrimiento es a base de resinas vinílicas, plastificantes, pigmentos de color, pigmentos inertes, y solventes. Está formulado para proporcionar altos sólidos.

Forma una película mate, dura, de alta resistencia mecánica y buena resistencia a las condiciones de exposición en ambientes húmedo y salino, húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre, ambiente marino y exposición al agua potable.

Su uso está limitado a temperaturas hasta de 60°C y en general no resiste solventes.

ACABADO EPÓXICO ALTOS SÓLIDOS :

Este acabado se maneja en dos componentes: epóxico y poliámido, los cuales deben mezclarse en la proporción recomendada (generalmente 2:1), media hora antes de usarse y solamente preparar lo que se utilice en cuatro horas.

El componente epóxico lo constituyen resinas epóxicas, solventes y pigmentos de color. El endurecedor lo forman resinas poliámido, solventes y pigmentos inertes. Estos últimos imparten además, algunas propiedades reforzantes.

Proporciona un acabado duro y con muy buena resistencia a las condiciones de exposición en ambientes húmedo y salino; húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre, ambiente marino, a la inmersión continua en destilados sin tratar, agua potable e interior de tanques de carga de embarcaciones.

ACABADO DE HULE CLORADO :

Este recubrimiento está compuesto de resinas de hule clorado, plastificantes, pigmentos de color y solventes.

Forma una película de alta impermeabilidad con muy buena resistencia a las condiciones de exposición en ambientes húmedo y salino; húmedo con o sin salinidad y gases corrosivos del azufre; ambiente marino y exposición al agua cruda y potable.

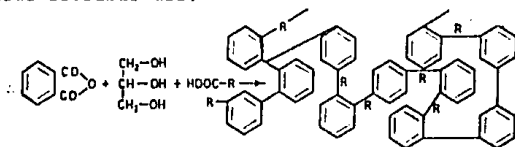
No se recomienda para altas temperaturas y, en general, no resiste solventes.

A continuación se presentan las formulaciones de las resinas de cada sistema, ya que éstas son el componente indispensable en la formación de película.

RESINA ALQUIDÁLICA.-

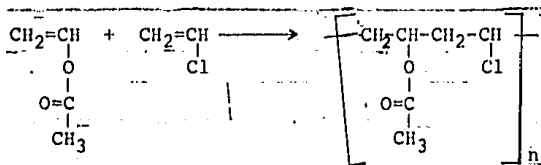
Presenta buena flexibilidad, buena formación de película y poca polaridad. Su acción protectora es debida a la formación de película, la cual se realiza por simple evaporación de solventes. Esta resina es de producción nacional.

La reacción de una resina alquidálica es una esterificación que se puede escribir así:



RESINA VINÍLICA.-

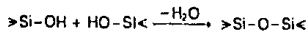
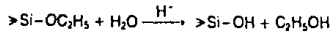
Esta resina contiene cloruro de vinilo y acetato de vinilo, además de grupos hidroxilo calculados como alcohol vínicico. Su formación de película es de secado al aire. Presenta compatibilidad con resinas alquidálicas. Esta resina es de procedencia alemana.



SILICATO DE ETILO.-

Los silicatos de etilo curan tan lentamente que casi siempre son hidrolizados para su uso. La hidrólisis se lleva a cabo muy lentamente y por ser una reacción exotérmica, se recomienda acondicionar un sistema de enfriamiento.

Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:

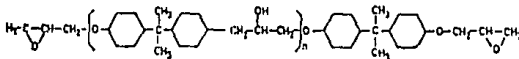


Cuando se agrega el agua, se hidroliza el silicato de etilo formando grupos Si-OH, de los cuales algunos se condensan para formar Si-O-Si mientras que otros sirven como grupos reactivos para el curado cuando se agrega el polvo de zinc.

Este producto se importa de Alemania.

RESINA EPÓXICA.-

Las resinas epóxicas usadas con más frecuencia son aquellas que se derivan de la condensación de Bisfenol A con Epiclorhidrina y se pueden representar con la fórmula siguiente:

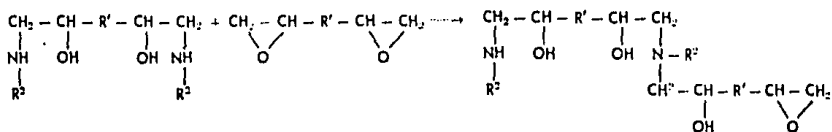


Estas resinas no presentan secado al aire, sino que sufren una reacción de curado, en este caso con una poliamida. Al mezclarse ambas, modifican sus propiedades: la resina epoxi imparte la fuerza, humectación y habilidad para curar a bajas temperaturas,

mientras que la poliamida le confiere flexibilidad, adhesión y elasticidad. La combinación endurece con el calor y ninguna de las dos resinas puede recuperarse de la mezcla reaccionante. Am bas resinas se producen en México.

Cuando se habla de resinas epoxi se debe recordar que para que éstas lleguen a formar compuestos termoestables deben ser bifuncionales. El grupo epoxi es capaz de reaccionar con cualquier material que tenga un hidrógeno activo.

La reacción entre una resina epoxi y una poliamida se puede representar:

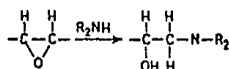
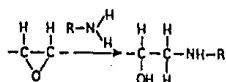


ALQUITRÁN DE HULLA.-

En el caso del primario de alquitrán de hulla, éste se mezcla con una resina epóxica para darle movilidad; la resina es la que reacciona con el componente amínico o poliamídico y el alquitrán actúa como barrera únicamente. Todos estos materiales se produ cen en México.

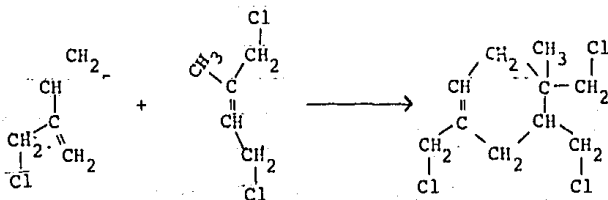
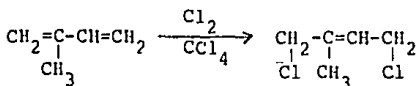
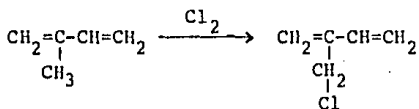
La reacción entre la resina epoxi y la poliamida se ha mencionado ya, por lo que resta anotar la reacción que se lleva a cabo entre la resina epóxica y una amina. Con una amina primaria se obtiene un grupo amínico secundario y un oxhidrilo, mientras que

con una secundaria se genera una amina terciaria y un oxhidrilo:



RESINA DE HULE CLORADO.-

El proceso de cloración de elastómeros naturales o sintéticos produce macromoléculas de estructura irregular. Sin embargo puede decirse que la reacción predominante es la formación de cloruro de alilo por sustitución, con la pérdida de grupos metilo. A esto le sigue una adición de cloro en exceso y una ciclización de las cadenas de polímero para dar anillos de seis carbonos. Esto corresponde a una fórmula empírica aproximada a:



Esta resina seca por evaporación de solventes y forma una película resistente a ácidos, álcalis, sales y su uso principal es en ambientes húmedos ya que detiene el crecimiento de plancton. - Este producto se importa directamente de Inglaterra o de los Estados Unidos de Norteamérica.

Después de escoger los sistemas a evaluar, se procede a seleccionar los métodos de preparación de superficie y de aplicación adecuados para cada sistema.

PREPARACION DE SUPERFICIE.

El ingeniero de pinturas y recubrimientos debe considerar la preparación de la superficie como el factor más importante que afecta el comportamiento de un sistema de recubrimientos.

Existen varios métodos de Preparación de Superficie, los cuales dependen de:

- . el tipo de recubrimiento por aplicar,
- . las condiciones de la superficie,
- . el medio ambiente existente y
- . los costos.

Una vez que se ha seleccionado el recubrimiento adecuado, hay que asegurarse de que el material tendrá adherencia permanente.

Algunos de los Contaminantes que impiden la adherencia, son:

- . las pinturas anteriores,
- . suciedad,
- . soldaduras,
- . herrumbre,
- . aceites, grasas.

El Comité de Pintura de Estructuras de Acero (SSPC Steel Structures Painting Council) ha definido varios grados de limpieza :

- . Limpieza con Solventes,
- " con Herramientas Manuales,
- " con Herramientas Mecánicas,
- " con Flama,
- " con Ácidos,
- " con Abrasivos a Metal Blanco,
- " con Abrasivos en Grado Comercial.

En este estudio solamente se utilizaron los siguientes tipos de limpieza, de los cuales se enumeran algunas características :

. Limpieza por Métodos Manuales:

Se incluyen aquí todos los procesos mecánicos efectuados manualmente por medio de lijas, esmeriles, fibra de acero, etc. para eliminar tanto las escamas como el orín y otros contaminantes superficiales.

Estas operaciones manuales tienen gran aceptación hoy en día en trabajos pequeños en los que no se justifica el costo de equipo especializado y también en piezas pequeñas de tamaños irregulares, para las cuales no se pueden hacer adaptaciones de equipo.

. Limpieza por Abrasión:

Este método es uno de los más efectivos y consiste en bombardear la superficie metálica con pequeñas partículas de algún abrasivo, con el doble fin de eliminar todos los materiales extraños tales como escamas de molino, rebabas, residuos de soldadura, herrumbre, restos de pintura, etc., y al mismo tiempo tersar las superficies demasiado ásperas.

El abrasivo más comúnmente empleado es la arena, debido a su bajo costo, aunque hay que controlar varios aspectos en este sistema de limpieza, como son: el tamaño de la partícula, la presión del recipiente, el tamaño de la boquilla y el diámetro de la manguera alimentadora.

La fuerza motriz del sistema puede provenir de aire comprimido, vapor de agua o centrífuga.

El costo de los tratamientos por abrasión depende del grado de limpieza que se desee, por lo que podemos decir que existe desde la limpieza en grado comercial hasta la limpieza a metal blanco.

a) Limpieza a metal blanco.

Consiste en tratar la superficie metálica con el abrasivo hasta dejarla completamente uniforme, de un color blanco grisáceo libre completamente de contaminación y ligeramente áspera. Esto último con el fin de asegurar un buen anclaje del recubrimiento.

b) Limpieza en grado comercial.

Es el tipo de limpieza más usado ya que elimina prácticamente toda contaminación superficial y aunque la apariencia final de la superficie no llega a ser tan uniforme como en el caso anterior, esto no afecta de manera notable la duración del sistema de pintado. Esta limpieza es la mínima aceptable en la que se obtiene el patrón de anclaje requerido y fue la usada en este estudio.

APLICACIÓN :

Ahora bien, los métodos de aplicación de pinturas líquidas más usados en la actualidad, son los siguientes :

- . brocha de pelo,
- . aspersión,
- . inmersión,
- . rodillos.

Para este estudio se utilizó principalmente, en los sistemas a e valuar, el método de aplicación por aspersión que a continuación se describe :

- . Aplicación por Aspersión :

Este método es, sin lugar a dudas, el más usado en la actualidad para la aplicación de acabados industriales debido a las numerosas ventajas que presenta, tales como su rapidez de aplicación y bajo costo de mano de obra, además de que la película depositada es generalmente bastante uniforme y continua. Puede ser usado para gran variedad de artículos de formas diversas, siempre que las superficies por pintar no sean demasiado estrechas o discontinuas, pues en tales casos el desperdicio de pintura puede ser enorme y la película depositada no sería uniforme.

El método consiste esencialmente en la atomización de la pintura por medio de una corriente de aire comprimido y la proyección de las pequeñas partículas así formadas hacia la superficie por recubrir. Un buen equipo debe combinar una alta eficiencia como una perfecta atomización del fluido además de que la pistola debe ser de fácil manejo y su uso prolongado no debe producir fatiga. La aplicación se efectúa a temperatura ambiente y puede ser manual o automática.

La inversión que se debe hacer para adquirir un equipo de aplicación por aspersión, es elevada si se piensa en todos sus diferentes accesorios como son : la pistola, la compresora de aire, la caseta de aplicación y el sistema de extracción, de ser requeridos, además de los costos de mantenimiento.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN EN EL LABORATORIO, DE LOS PRINCIPALES
RECUBRIMIENTOS, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA
INGENIERÍA QUÍMICA

Las evaluaciones realizadas a los 10 sistemas escogidos en este estudio, están basadas en las Normas de Pémex, regidas a su vez por los Métodos ASTM y FTMS.

En estas normas se establece que se deben llevar a cabo las pruebas tanto de los sistemas completos como de los primarios y acabados por separado.

Las tablas presentadas en este capítulo corresponden: a la prueba física de Cámara Salina y a las pruebas químicas correspondientes a cada sistema.

La tabla titulada "Espesores Totales por Sistema", fue extraída también de las Normas de Pémex, del inciso en donde se detalla la forma de preparación de los especímenes de prueba.

ESPEORES TOTALES POR SISTEMA

SISTEMA	ESPESOR PRIMARIO	Nº MANOS PRIMARIO	ESPESOR ENLACE	Nº MANOS ENLACE	ESPESOR ACABADO	Nº MANOS ACABADO	ESPESOR TOTAL DEL SISTEMA
1	2.5	1	-	-	1.5	2	5.5
2	2.5	1	-	-	1.5	2	5.5
3	2.5	1	1.5	1	1.5	2	7
4	2.5	1	-	-	3	2	8.5
5	2.0	1	-	-	3	2	8
6	1.5	1	-	-	1.5	1	3
7	1.5	1	-	-	1.5	1	3
8	2.5	1	-	-	1.5	2	5.5
9	4	2	-	-	-	-	8
10	4	2	-	-	-	-	8

NOTA : LOS ESPEORES ESTÁN DADOS POR MANO Y EN MILS.

DATOS COMPARATIVOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS

S I S T E M A S

PROPIEDADES INTRÍNECAS	ALQUIDAL	VINILO	EPÓXICO	HULE CLORADO	ALQUITRÁN DE HULLA
- Alto espesor	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SI
- Protección de Interiores	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SI
- Manejo durante Transporte	REGULAR	REGULAR	BUENO	REGULAR	REGULAR
- Durabilidad en Medios Contaminados	POBRE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
- Consecuencias Financieras de Falla	MODERADAS	MODERADAS	SERIAS	MODERADAS	SERIAS

RIESGOS DE APLICACIÓN

- Libre de Errores de Mezclado	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
- Secado a Baja Temperatura*	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	POBRE
- Resistencia a la Condensación durante el Curado	REGULAR	POBRE	POBRE	BUENA	POBRE
- Tolerancia a Preparación de Superficie Pobre	BUENA	POBRE	POBRE	REGULAR	POBRE
- Resistencia a Repintado Tardío	POBRE	BUENA	POBRE	BUENA	POBRE

* Por Baja temperatura se entiende por debajo de 10°C.

SISTEMAS RECOMENDADOS PARA CADA TIPO DE EXPOSICIÓN

AMBIENTE	S I S T E M A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Seco	x					x	x	x		
Húmedo	x	x	x	x	x	x		x		
Húmedo y Salino	x	x	x	x	x			x		
Húmedo con/sin Salinidad y Gases derivados del Azufre	x	x	x	x	x			x		
Marino	x	x	x	x	x			x		
Exp. Agua Salada (Int. Tanques)									x	x
Exp. Agua Salada y Tratada									x	x
Exp. Agua Potable (Int. Tanques Almac.)	x				x		x			
Exp. Destilados sin Tratar (Int. Tanques)					x			x		
Exp. Gasolina Amarga (Int. Tanques Almac.)					x					
Exterior Embarcaciones. Cubierta	x	x	x					x		
Interior Tanques de Embarcaciones					x					
Interior de Tanques para Crudo									x	x

RESULTADOS DE INMERSIONES PARA CADA SISTEMA

<u>REACTIVO</u>	<u>TEMPERATURA</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>RESULTADOS</u>
SISTEMA 1.			
Agua Dulce	70°C	30 días	Pasa la prueba
Agua de Mar	40°C	30 días	Pasa la prueba
H ₂ SO ₄ al 18%	25°C	7 días	Pasa la prueba
NH ₄ OH al 15%	25°C	7 días	Presenta cierto decoloramiento, tiende a matizar el acabado pero sin ampollamiento, agrietamiento o descascaramiento.
Vap. H ₂ S y Cond.	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
SUSTEMA 2.			
Agua Destilada	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaClO al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba con ligero comienzo de ampollamiento.
HCl al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
Alcohol Etílico	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaOH al 5%	60°C	7 días	Ligero comienzo de ampollamiento
NH ₄ OH conc.	Ambiente	7 días	Ligero comienzo de ampollamiento

.....

Reactivo	Temperatura	Tiempo	Resultados
SISTEMA 3.			
NH ₄ OH conc.	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
HCl al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
Agua Destilada	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
Alcohol Etilico	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaClO al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaOH al 5%	60°C	7 días	Muestra cierto ampolamiento al término de la prueba, sin desprendimiento del primario y enlace; se blanquea un poco.

SISTEMA 4.

HCl al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaClO al 5%	Ambiente	7 días	Presenta un decoloramiento mínimo
NaOH al 5%	60°C	7 días	Pasa la prueba
Agua Destilada	60°C	7 días	Pasa la prueba
Gasolina	60°C	7 días	Pasa la prueba
Kerosina	60°C	7 días	Pasa la prueba

.....

Reactivo	Temperatura	Tiempo	Resultados
SISTEMA 5.			
HCl al 5%	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
NaClO al 5%	Ambiente	7 días	Se remueve un poco el acabado pero sin corrosión, sin agrietamiento y con cierto decoloramiento.
NaOH al 5%	60°C	7 días	Presenta cierto decoloramiento, tiende a mutizar el acabado
Agua Destilada	60°C	7 días	Pasa la prueba
Gasolina	60°C	7 días	Pasa la prueba
Kerosina	60°C	7 días	Pasa la prueba

SISTEMA 6.

Agua Destilada	Ambiente	24 hrs.	Pasa la prueba
----------------	----------	---------	----------------

SISTEMA 7.

Agua Destilada	Ambiente	24 hrs.	Pasa la prueba
----------------	----------	---------	----------------

.....

Reactivo	Temperatura	Tiempo	Resultados
SISTEMA 8.			
Agua Dulce	70°C	30 días	Pasa la prueba
Agua de Mar	40°C	30 días	Pasa la prueba
H ₂ SO ₄ al 18%	25°C	7 días	Pasa la prueba
NH ₄ OH al 15%	25°C	7 días	Presenta cierto decoloramiento, tiende a matizar el acabado
Vap. H ₂ S y cond.	Ambiente	7 días	Pasa la prueba
SISTEMA 9.			
Crudo	48°C	30 días	Pasa la prueba
Agua Destilada	60°C	30 días	Pasa la prueba
H ₂ SO ₄ al 30%	Ambiente	30 días	Pasa la prueba
NaCl al 3%	Ambiente	30 días	Pasa la prueba
SISTEMA 10.			
Crudo	48°C	30 días	Pasa la prueba
Agua Destilado	60°C	30 días	Pasa la prueba
H ₂ SO ₄ al 30%	Ambiente	30 días	Pasa la prueba
NaCl al 3%	Ambiente	30 días	Pasa la prueba

.....

RESULTADOS DE CÁMARA SALINA PARA CADA SISTEMA

SISTEMA	HORAS TEÓRICAS MÍNIMAS	HORAS PRÁCTICAS MÍNIMAS	HORAS DE TIEMPO CORROSIÓN
1	300	400	750
2	300	450	750
3	300	500	800
4	300	500	750
5	300	500	650
6	100	150	200
7	100	150	250
8	300	400	500
9	500	700	600
10	500	700	600

CAPÍTULO VI**ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS****ANTICORROSIVOS**

Para los siguientes cálculos se han considerado varias condiciones :

1. Todos los sistemas fueron aplicados sobre superficies metálicas y siempre del mismo tipo.
2. Todos los sistemas fueron aplicados sobre una preparación de superficie de chorreado abrasivo de arena, excepto los números 6 y 7, los cuales se aplicaron sobre una preparación con limpieza manual.
3. El costo del pintado de mantenimiento no es diferente al costo inicial ya que se consideró que una vez que el sistema empezaba a fallar, se removía todo y se preparaba la superficie de nuevo.
4. Se tomó como base para el número de años a considerar (N) el sistema que tiene mayor duración. Por lo tanto, todos los demás sistemas deberán ser repintados una o varias veces según su resistencia, a lo largo de este periodo.
5. La situación de la instalación a pintar es siempre la misma.
6. Las propiedades de los diferentes sistemas son siempre las mismas y se aplicarán bajo las mismas condiciones.
7. Todos los sistemas fueron aplicados con pistola convencional.
8. Todos los costos por hora incluyen los porcentajes siguientes :

Supervisión	3%
Administración	15%
Gastos de Instalación	3%
Fianzas y Seguros	1%
9. En ninguno de los sistemas se tomó en cuenta la necesidad de andamiaje.
10. No se considera el valor del dinero.

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
710,00	4,25	167,00
Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
50,47	1	50,47
Costo de preparación de superficie por metro cuadrado		225,531

A

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	225,531
Aplicación de la pintura B	168,4
Pintura C	224,04
Costo total del pintado/m ²	617,97

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
1	5,15	6,25
2	4,40	10,00
Costo de la aplicación por m ²		168,4

Duración efectiva del sistema de pintado = 3,25 años

Número de años a considerar N años = 5

Número de repintados en R años = 0,54

Número de capas	Costo de la pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.
Capa de primario	1	857,17 \$/1l
Capa de enlace	-	-
Capa de acabado	2	371,18 \$/1l

B

Pintado inicial	Pintado de mantenimiento	Costo total del pintado por m ²
617,97	0,54 × 617,97	951,67
Costo total del pintado por m ² por año		190,334

C

Costo total de la pintura por m² = 224,04

C

SISTEMA 1

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
710	4.25	167.06
Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
58.47	1	58.47
Costo de preparación de superficie por metro cuadrado		225.531

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	225.53
Aplicación de la pintura B	168.4
Pintura C	207.75
Costo total del pintado/m ²	681.681

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
1	515	6.25
2	430	10
Costo de la aplicación por m ²		168.4

Duración efectiva del sistema de pintado T años = 2.25

Número de años a considerar N años = 5

Número de repintados en N años = 1.22

Pintado inicial = 681.681

Pintado de mantenimiento = 1.22 × 681.681 = 831.651

Costo total del pintado por m² = 1513.332

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.
Capa de primario	1	857.17 \$/lit
Capa de enlace	-	-
Capa de acabado	2	425.59 \$/lit

Costo total del pintado por m² por año = 1513.332 ÷ 4 = 378.333

Costo total de la pintura por m² = 207.75

SISTEMA 2

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
7.10	4.25	167.06
Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
58.47	1	58.47

Costo de preparación de superficie por metro cuadrado = 225.531

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.	
1	5.15	6.25	82.4
1	4.30	10	4.3
2	4.30	10	86

Costo de la aplicación por m² = 211.4

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.	
1	857.17 \$/l	5.59	153.34
1	324.57 \$/l	4.72	68.76
1	423.59 \$/l	6.30	134.41

Costo total de la pintura por m² = 356.51

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	225.531
Aplicación de la pintura B	+
	211.4
Pintura C	+
	356.51
Costo total del pintado/m ²	=
	793.441

Duración efectiva del sistema de pintado T años = 4 Número de años a considerar N años = 5 Número de repintados en R = 2.25

Pintado inicial = 793.441

Pintado de mantenimiento $R \times I = 2.25 \times 793.441 = 191.36$

Costo total del pintado por m² = 991.801

Costo total del pintado por m² por año $\frac{P}{N} = \frac{991.801}{5} = 191.441$

$$\frac{\text{Costo de mano de obra por hora}}{710} \div \frac{\text{Preparación de superficie m}^2/\text{hora}}{4.25} = \frac{\text{Costo de mano de obra por m}^2}{167.06}$$

$$\frac{\text{Costos de materiales empleados}}{58.47} \div \frac{\text{Superficie preparada m}^2}{1} = \frac{\text{Costo de material por m}^2}{58.47}$$

$$\text{Costo de preparación de superficie por metro cuadrado} = 225.531$$

A

$$\frac{\text{Número de capas}}{1} \times \frac{\text{Costo de la mano de obra por hora}}{6.511} \div \frac{\text{Velocidad de pintura m}^2/\text{h.}}{10} = 43$$

$$\frac{2}{2} \times \frac{6.310}{6.310} \div \frac{10}{10} = 86$$

$$\text{Costo de la aplicación por m}^2 = 129$$

B

$$\frac{\text{Número de capas}}{1} \times \frac{\text{Costo de pintura por litro}}{45.8.76 \text{ \$/1 l}} \div \frac{\text{Poder de recubrimiento m}^2/\text{l.}}{8.74} = 53.634$$

$$\frac{-}{-} \times \frac{-}{-} \div \frac{-}{-} = -$$

$$\frac{\text{Capa de acabado}}{2} \times \frac{578.72 \text{ \$/1 l}}{578.72} \div \frac{6.99}{6.99} = 165.585$$

$$\text{Costo total de la pintura por m}^2 = 219.219$$

C

	Costo inicial por m ²
Preparación de superficie A	225.531
	+
Aplicación de la pintura B	129
	+
Pintura C	219.219
	=
Costo total del pintado/m ²	573.750

$$\text{Duración efectiva del sistema de pintado} = 3 \text{ años} \quad \text{Número de años a considerar } N \text{ años} = 3 \quad \text{Número de repintados en } R = 1, 10$$

$$\begin{aligned} \text{Pintado inicial} &= I = 573.750 \\ \text{Pintado de mantenimiento} &= R \times I = 0.66 \times 573.750 = 379.675 \\ \text{Costo total del pintado por m}^2 &= P = 953.425 \end{aligned}$$

$$\text{Costo total del pintado por m}^2 \text{ por año} = \frac{P}{N} = \frac{953.425}{5} = 190.685$$

C

SISTEMA 5

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
254,40	1,50	169,60
Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
16,96	1	16,96

Costo de preparación de superficie por metro cuadrado = 186,56 A

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	186,56
	+
Aplicación de la pintura B	86
	+
Pintura C	58,189
	=
Costo total del pintado/m ²	330,749

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
1	4,30	10
	×	÷
		4,3
		+
1	4,30	10
	×	÷
		4,3

Costo de la aplicación por m² = 86 D

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.
Capa de primario	1	399,56 \$/lt
	×	÷
		10,50
		38,053
Capa de enlace	-	-
	×	÷
		-
Capa de acabado	1	190,29
	×	÷
		9,45
		20,136

Costo total de la pintura por m² = 58,189 C

Duración efectiva del sistema de pintado T años = 1 Número de años a considerar N años = 5 Número de repintados en R = 4

			1
			330,749
			+
Pintado de mantenimiento	R	1	
	4	330,749	
	×		
			1322,998
			P
			1653,747
			Costo total del pintado por m ²

Costo total del pintado por m² por año = $\frac{P}{N} = \frac{1653,747}{5} = 330,749$

SISTEMA 6

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
254,40	÷ 1,50	= 169,60

Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
16,96	÷ 1	= 16,96

Costo de preparación de superficie por metro cuadrado = 186,56

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	186,56
	+
Aplicación de la pintura B	86
	+
Pintura C	69,766
	=
Costo total del pintado/m ²	342,326

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
1	× 4,40	÷ 10 = 4,3

1	× 4,30	÷ 10 = 4,3
---	--------	------------

Costo de la aplicación por m² = 86

Duración efectiva del sistema de pintado T años = 1,5 Número de años a considerar N años = 5 Número de repintados en R = 2,5

Pintado inicial = 1
342,326

Pintado de mantenimiento R × I = 2,5 × 342,326 = 797,621

Costo total del pintado por m² = P = 1,139,947

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.
Capa de primario 1	× 391,29 \$/lt	÷ 7,87 = 49,630

Capa de enlace -	× -	÷ - = -
------------------	-----	---------

Capa de acabado 1	× 391,29 \$/lt	÷ 9,55 = 20,136
-------------------	----------------	-----------------

Costo total de la pintura por m² = 69,766

Costo total del pintado por m² por año = P ÷ N = 1,139,947 ÷ 5 = 227,989

SISTEMA 7

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
710	÷ 4.25	= 167.06

Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
58.47	÷ 1	= 58.47

Costo de preparación de superficie por metro cuadrado = 225.531

Preparación de superficie A	Costo inicial por m ²
	225.531
	+
Aplicación de la pintura B	129
	+
Pintura C	165.659
	=
Costo total del pintado/m ²	520.190

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
1	× 4.30	÷ 10 = 43

2	× 4.30	÷ 10 = 86
---	--------	-----------

Costo de la aplicación por m² = 129

Duración efectiva del sistema de pintado = 2.5 años

Número de años a considerar N años = 5

Número de repintados en R = 1

Pintado inicial = 520.190

Pintado de mantenimiento = 1 × 520.190 = 520.190

Costo total del pintado por m² = 1,040.380

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.
1	× 380.30 \$/lt	÷ 4.09 = 94.950

Capa de enlace	-	÷ - = -
----------------	---	---------

Capa de acabado	× 371.10 \$/lt	÷ 10.50 = 70.701
-----------------	----------------	------------------

Costo total del pintado por m² por año = 1,040.380 ÷ 5 = 208.076

Costo total de la pintura por m² = 165.659

SISTEMA 8

8

Costo de mano de obra por hora	Preparación de superficie m ² /hora.	Costo de mano de obra por m ²
7.10	÷ 4.25	= 167.06

Costos de materiales empleados	Superficie preparada m ²	Costo de material por m ²
58.47	÷ 1	= 58.47

Costo de preparación de superficie por metro cuadrado = 225.531 A

Número de capas	Costo de la mano de obra por hora	Velocidad de pintado m ² /h.
-	×	÷ -
		= -

2	×	5.15	÷	6	=	171.66
---	---	------	---	---	---	--------

Costo de la aplicación por m² = 171.66 B

Número de capas	Costo de pintura por litro	Poder de recubrimiento m ² /l.					
Capa de primario	2	×	4.17.5 \$/lt. G-1.	÷	6.78	=	123.156

Capa de enlace	-	×	-	÷	-	=	-
----------------	---	---	---	---	---	---	---

Capa de acabado	-	×	-	÷	-	=	-
-----------------	---	---	---	---	---	---	---

Costo total de la pintura por m² = 123.156 C

	Costo inicial por m ²
Preparación de superficie A	225.531
	+
Aplicación de la pintura B	171.66
	+
Pintura C	123.156
	=
Costo total del pintado/m ²	520.347

Duración efectiva del sistema de pintado T años = 5

Número de años a considerar N años = 5

Número de repintados en R = 0

					Pintado inicial = 520.347
					+
Pintado de mantenimiento	R	×	I	=	0
	0		520.347		
					+
					P
					Costo total del pintado por m ² = 520.347

Costo total del pintado por m ² por año	P	÷	N	=	Costo total del pintado por m ² por año
	520.347		5		104.069

SISTEMA 9

$$\frac{\text{Costo de mano de obra por hora}}{7.10} \div \frac{\text{Preparación de superficie m}^2/\text{hora}}{4.25} = \frac{\text{Costo de mano de obra por m}^2}{167.06}$$

Costos de materiales empleados + Superficie preparada m² = Costo de material por m²

$$\frac{58.47}{1} = 58.47$$

$$\text{Costo de preparación de superficie por metro cuadrado} = 225.531$$

A

Preparación de superficie A

$$\frac{\text{Costo inicial por m}^2}{225.531}$$

Aplicación de la pintura B

$$+ \frac{171.66}{1}$$

Pintura C

$$+ \frac{132.862}{1} =$$

Costo total del pintado/m²

$$= \frac{410.1153}{1}$$

$$\frac{\text{Número de capas}}{1} \times \frac{\text{Costo de la mano de obra por hora}}{5.15} \div \frac{\text{Velocidad de pintado m}^2/\text{h}}{6} = \frac{171.66}{1}$$

$$\frac{2}{1} \times \frac{5.15}{6} = 171.66$$

$$\text{Costo de la aplicación por m}^2 = 171.66$$

B

$$\frac{\text{Duración efectiva del sistema de pintado}}{5 \text{ años}} = \frac{\text{Número de años a considerar}}{5 \text{ años}} = \frac{\text{Número de repintados en N años}}{1}$$

$$\text{Pintado inicial} = \frac{410.1153}{1}$$

$$\text{Pintado de mantenimiento} = \frac{R}{1} \times \frac{1}{410.1153} = \frac{0}{1}$$

$$\text{Costo total del pintado por m}^2 = \frac{410.1153}{1}$$

$$\frac{\text{Número de capas}}{2} \times \frac{\text{Costo de pintura por litro}}{410.41 \text{ \$/1 lt.}} \div \frac{\text{Poder de recubrimiento m}^2/\text{l.}}{6.178} = \frac{132.862}{1}$$

$$\frac{\text{Capa de enlace}}{-} \times \frac{-}{-} \div \frac{-}{-} = \frac{-}{-}$$

$$\frac{\text{Capa de acabado}}{-} \times \frac{-}{-} \div \frac{-}{-} = \frac{-}{-}$$

$$\text{Costo total de la pintura por m}^2 = 132.862$$

C

$$\frac{\text{Costo total del pintado por m}^2 \text{ por año}}{410.053} \div \frac{\text{Costo total del pintado por m}^2 \text{ por año}}{5} = \frac{82.011}{1}$$

SISTEMA 10

50

RESULTADOS :

COSTO DE PINTADO

<u>SISTEMA</u>	<u>m²</u>	<u>m²/AÑO</u>
1	617.97	190.334
2	681.681	302.666
3	793.441	198.360
4	712.856	189.620
5	573.750	190.485
6	330.749	330.749
7	342.326	227.989
8	520.190	208.076
9	520.347	104.069
10	410.053	82.011

Una vez obtenido el costo de pintado de cada uno de los sistemas al año, se ordenaron de menor a mayor costo, habiendo que dado como sigue:

<u>LUGAR</u>	<u>SISTEMA</u>	<u>NOMBRE DEL SISTEMA</u>
1	10	Alquitrán de Hulla
2	9	Alquitrán de Hulla
3	4	Inorgánico de Zinc/Epóxico
4	1	Inorgánico de Zinc/Hule Clorado
5	5	Epóxico/Epóxico
6	3	Inorgánico de Zinc/Enlace/Vinilo
7	8	Hule Clorado/Hule Clorado
8	7	Vinilo-Alquidial/Alquidial
9	2	Inorgánico de Zinc/Vinilo
10	6	Alquidial/Alquidial

CAPÍTULO VII**FIGURAS Y TABLAS**

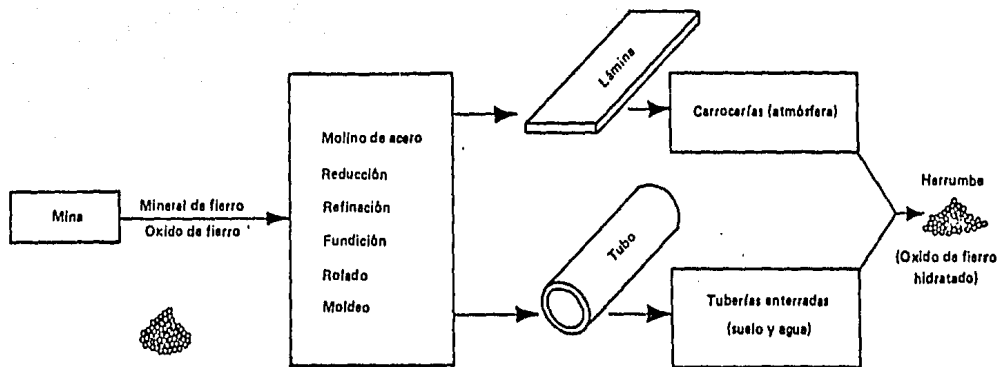


Fig. 1.- Reverso de la metalurgia extractiva

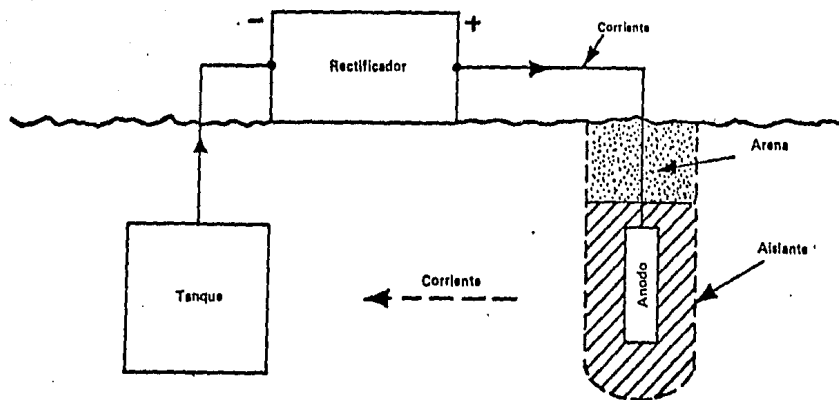


Fig. 2.- Protección catódica de un tanque enterrado, usando corriente impresa.

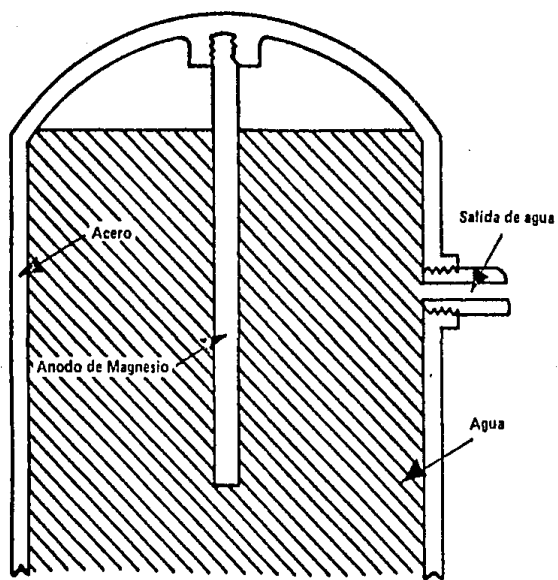


Fig. 3.- Protección catódica de un tanque de agua caliente doméstico usando un ánodo de sacrificio.

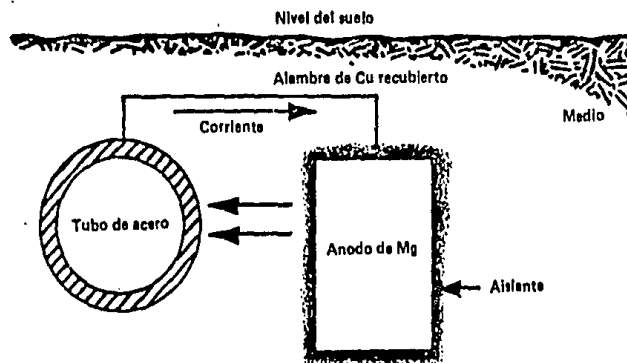


Fig. 4.- Protección de una tubería enterrada con un ánodo de magnesio.

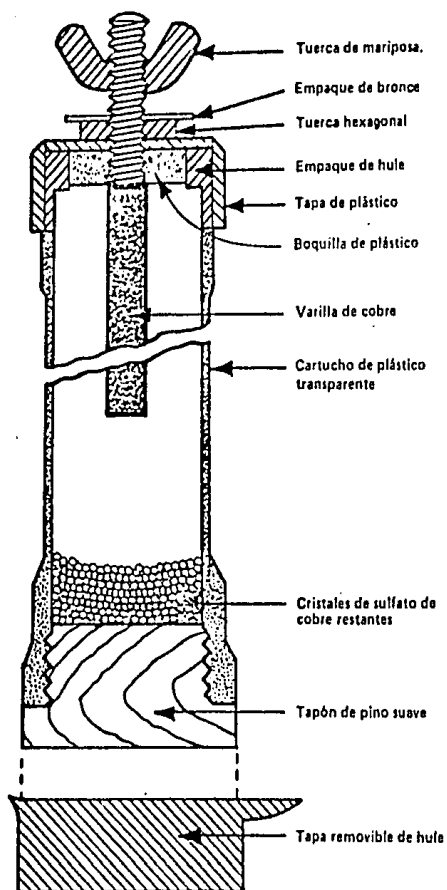


Fig. 5.- Electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre.

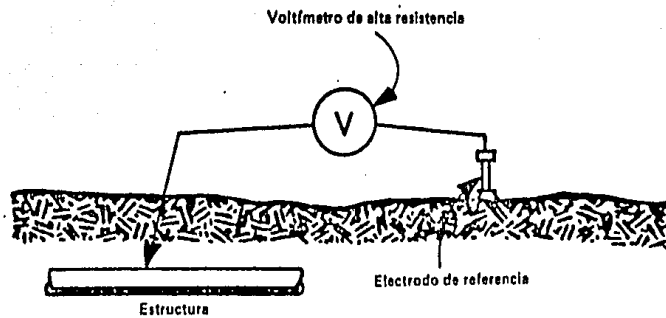


Fig. 6.- Mediciones de potencial de una tubería con un electrodo de referencia.

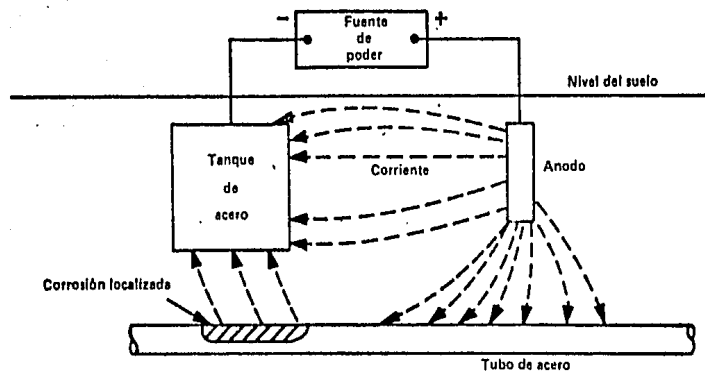


Fig. 7.- Desviación de corrientes debido a la protección catódica.

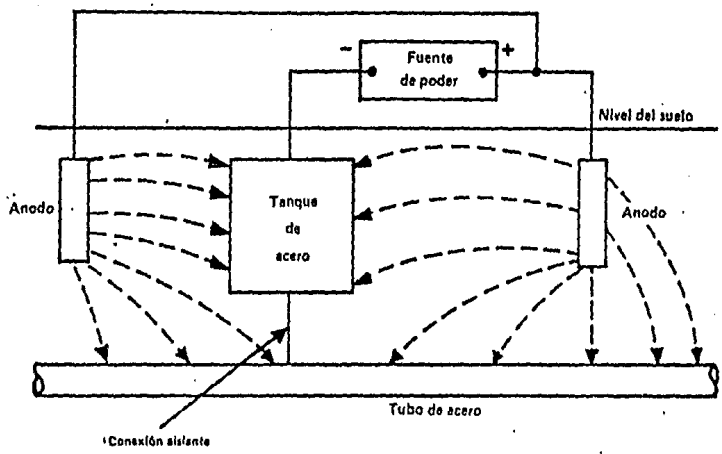


Fig. 8.- Prevención de corrosión por corrientes de fuga mediante un diseño adecuado

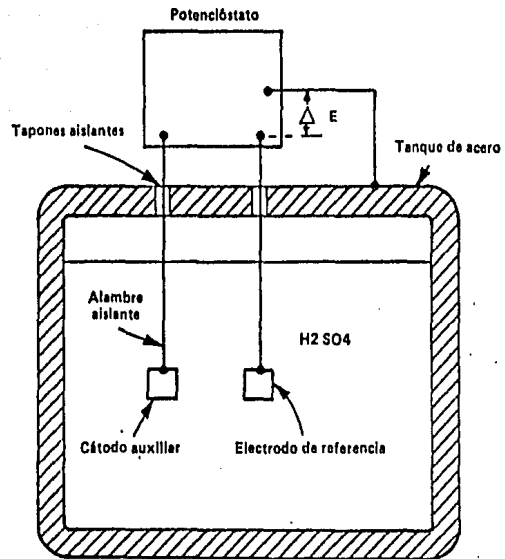


Fig. 9.- Protección anódica de un tanque de acero conteniendo ácido sulfúrico.

ESTRUCTURA	MEDIO AMBIENTE	CONDICIONES	DENSIDAD DE CORRIENTE ma/ft ²
Tanque	H ₂ SO ₄ caliente	Estático	50,000
Tuberías y tanques	Bajo el suelo (enterrados)	Estático	1-3
Tuberías	Agua dulce	Fluyendo	5-10
Calentadores de agua	Agua dulce caliente	Flujo lento	1-3
Tuberías	Agua de mar	Mov. marea	6-8
Varillas reforzantes	Concreto	Estático	0.1-0.5

TABLA I - Requerimientos Típicos de Corriente para
Protección Catódica de Acero.

ÁNODOS DE SACRIFICIO

	Magnesio	Zinc	Aluminio-Estaño
Consumo teórico (lb/amp-año)	9	23	6.5
Consumo real (lb/amp-año)	18	25	16-20
Potencial vs. Cu/CuSO ₄	-1.7	-1.15	-1.3

ÁNODOS DE CORRIENTE IMPRESA

<u>Material</u>	<u>Aplicaciones Típicas</u>	<u>Pérdida (lb/amp-año)</u>
Acero de desecho	Suelo, Agua dulce y de mar	20
Aluminio	Suelo, Agua dulce y de mar	10-12
Grafito	Suelo y Agua dulce	0.25-5.0
Hierro-Si-Cr	Suelo, Agua dulce y de mar	0.25-1.0
Plomo	Agua de mar	0.1-0.25
Titanio Platinizado	Agua de mar	ninguna

Tabla II - Comparación de Ánodos de Sacrificio y de Corriente Impresa para Protección Catódica.

Tipo de Aleación	Medio (expuesto al aire)	GRADO DE CORROSIÓN (mpy)	
		Sin Protección	Con Protección Anódica
304 (19Cr-9Ni)	$N H_2SO_4 + 10^{-5} M NaCl$	14	0.025
	$N H_2SO_4 + 10^{-3} M NaCl$	2.9	0.045
	$N H_2SO_4 + 10^{-1} M NaCl$	3.2	0.20
	$10 N H_2SO_4 + 10^{-5} M NaCl$	1930	0.016
	$10 N H_2SO_4 + 10^{-3} M NaCl$	1125	0.04
	$10 N H_2SO_4 + 10^{-1} M NaCl$	77	0.21

Tabla III - Protección Anódica de Acero Inoxidable
a 30°C

Ánodo y Concentración	Temperatura		Metal	Densidad de corriente, ma/ft ²		
	°F	°C		Para hacer pasivo	Para Mantener	
H ₂ SO ₄	1 molar	75	24	316SS	2,100	11
	15 %	75	24	304	390	67
	30 %	75	24	304	500	22
	45 %	150	65.5	304	165,000	830
	67 %	75	24	304	4,700	3.6
	67 %	75	24	316	470	0.09
	93 %	75	24	Acero Dulce	260	21
Óleum	75	24	Acero Dulce	4,400	11	
H ₃ PO ₄	75 %	75	24	Acero Dulce	38,000	19,000
	115 %	180	82.2	304SS	0.03	0.00014
NaOH	20 %	75	24	304SS	4,400	9.4

Tabla IV - Requerimientos de Corriente para
Protección Anódica

	Protección Anódica	Protección Catódica
<u>APLICACIÓN</u>		
- Metales	Metales activo-pasivos únicamente	Todos los metales
- Corrosivos	Débil a Agresivo	Débil a Moderado
<u>COSTO RELATIVO</u>		
- Instalación	Alto	Bajo
- Operación	Muy Bajo	Medio a Alto
<u>PODER DE DESPLAZAMIENTO</u>	Muy alto	Bajo
<u>SIGNIFICADO DE LA CORRIENTE APLICADA</u>	Medición directa del grado de protección contra corrosión	Compleja - no indica el grado de corrosión
<u>CONDICIONES DE OPERACION</u>	Puede ser determinado exacta y rápidamente por mediciones elec <u>t</u> roquímicas	Generalmente debe ser determinado por pruebas empíricas

Tabla V - Comparación entre Protección Anódica y Catódica

CAPÍTULO VIII**CONCLUSIONES**

C O N C L U S I O N E S

La explicación de estos resultados es sencilla:

Era de esperarse que los alquitranes de hulla quedaran con el costo más bajo por año, pues aunque su costo de pintado es alto, al no necesitar repintados por su alto espesor y su gran resistencia, aquél se reduce considerablemente. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que estos productos tienen limitaciones para su uso.

Los sistemas epóxicos siguen en la lista y aquel con primario de inorgánico de zinc resultó con un costo algo menor debido a que, por ser más resistente este primario, contribuye a que disminuya el número de repintados.

En seguida tenemos los sistemas con acabado de hule clorado, con los cuales sucede lo mismo que con los epóxicos: su diferencia estriba en el primario que contienen.

Aparecen después los sistemas con acabado de vinilo. En este caso fue decisiva la presencia del enlace ya que, sin él, el vinilo tiene poca resistencia.

Por último, quedan los sistemas con un acabado a base de alquidal. Aquí debe notarse que, aunque su costo de pintado es el más barato por aplicarse sobre limpieza manual -a diferencia de los otros ocho sistemas que requieren de chorreado de arena-, resultan los más caros por el número de repintados que necesitan.

Como conclusión general de estos resultados se puede decir que conviene aplicar una pintura de buena calidad y sobre una buena limpieza, la cual durará más tiempo sin necesidad de repintar, e inclusive tendrá el mismo costo de mano de obra que una pintura barata que necesite repintado cada año, ya que tanto la pintura como la mano de obra habrán incrementado su precio.

Usar pinturas más caras o más baratas no afecta en forma significativa el costo total de la mano de obra. Siempre resulta una economía falsa el usar pinturas corrientes ya que aplicarlas cuesta lo mismo que si se usan de buena calidad.

Es más recomendable repintar con suficiente frecuencia para evitar el deterioro serio de la pintura vieja y la consiguiente preparación extensiva antes de pintar sobre ésta. Si la cantidad de preparación necesaria se puede reducir mediante un repintado oportuno, el costo del mantenimiento de la obra se reduce considerablemente. Otro punto importante es que, repintando a tiempo, se puede crear y mantener un espesor de película adecuado.

Por último, no es tan importante saber cuánto cuesta un litro de pintura sino cuánto cuesta cubrir una unidad de superficie. En principio, el porcentaje de sólidos que contiene una pintura, determina el espesor de la película que puede depositar.

Por lo general, la viscosidad está en proporción al contenido sólido; pero también hay que considerar que no siempre resulta me-

Por lo tanto, si se tienen dos pinturas de igual precio, de igual porcentaje de sólidos pero de diferentes viscosidades, conviene comprar la menos "gruesa" ya que ésta necesitará menor cantidad de solvente para llegar a la viscosidad de aplicación.

El control de la corrosión es, principalmente, un problema económico. Generalmente la decisión de usar o no un método de control queda determinada por los costos involucrados.

Los métodos utilizados deben ser la elección óptima económicamente.

CAPÍTULO IX**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. ANIÓN. Un ión o radical cargado negativamente que migra hacia el ánodo bajo influencia de un gradiente de potencial.
2. ÁNODO. El electrodo en el que ocurre la oxidación (corrosión).
3. CALEO. Formación de polvo en la superficie de la pintura.
4. CATALIZADOR. Material que acelera el endurecimiento de ciertas pinturas.
5. CATION. Ión cargado positivamente.
6. CÁTODO. El electrodo en el que ocurre una neta reacción reductora.
7. DENSIDAD. Peso por unidad de volumen.
8. DENSIDAD DE CORRIENTE. La corriente por unidad de área de superficie de los electrodos.
9. ELECTROLISIS. La producción de un cambio químico en un electrolito por el paso de una corriente eléctrica.
10. ELECTROLITO. Una sustancia química que se disocia, al disolverse, dando lugar a iones.
11. INHIBIDOR. Una sustancia que, agregada a un medio de pequeñas proporciones, retarda la corrosión.
12. ION. Un átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente.
13. OXIDACIÓN. Pérdida de electrones por un constituyente de una reacción química.
14. PASIVACIÓN. Acción de hacer inerte, o no reactivo, un metal ante un ambiente determinado.
15. PATRÓN DE ANCLAJE. Aspereza de la superficie; perfil.
16. PERFIL. Contorno de la superficie vista por el borde.
17. REDUCCIÓN. Ganancia de electrones por un constituyente de una reacción química.

Glosario de Términos...

18. SERIE DE FUERZA ELECTROMOTRIZ. Lista de elementos dispuesta de acuerdo con su potencial normal de electrodo.
19. SERIE GALVÁNICA. Lista de metales y aleaciones ordenados de acuerdo con sus potenciales relativos en un ambiente dado.
20. VISCOSIDAD. Medida de la fluidez.

CAPÍTULO X**BIBLIOGRAFÍA**

B I B L I O G R A F Í A

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM Standards. Book part 21, Philadelphia, Pa. 1966.
2. ANAFAPYT. Pinturerías Vol. XXIX. Nos. 401, 402, 403, 404, México, D.F. 1982 y 1983
3. BLANCO, M.A. VILLEGAS Ch. L. Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos. Vol. II. Ed. Química, S.A. México, D. F. 1975.
4. BURROWS, R.M. BRADLEY W. W. Protective Coatings For Metals. Reinhold, N. Y. 1955.
5. DOLAN, T.J. The Combined EFFECT OF Corrosion and Stress Concentration at Holes and Fillets. University of Illinois. Bulletin No. 293 (1937).
6. DUNN, E. J. Jr. Film Thickness Measurements. ASTM Bulletin 172. pp. 35-39 (1951).
7. EICKHOFF A.J. The Surface Preparation and Repainting of -- Structural Iron and Steel, Proceedings. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1965)
8. EICKHOFF A.J. and SHAW W.E. Principles of Protecting Metals with Organic Coating, Corrosion. ASTM, October (1948).

9. FEDERATION OF SOCIETIES FOR PAINT TECHNOLOGY. Recent Developments in Architectural and Maintenance Painting. FSPT, Philadelphia, Pa. (1968).
10. FEIGENBAUM, A.V. Control Total de la Calidad. Mc Graw Hill Co., Inc. New York. (1961).
11. FINK F. W. and FOYD W.K. The Corrosion of Metals in Marine Environments. Bayer and Co., Columbus, Ohio. (1970).
12. FONTANA/GRENE. Corrosion Engineering. Ed. Mc Graw-Hill. N.Y.
13. HUDSON, J.C. Protection of Iron and Steel Against Corrosion. Iron and Steel Institute pp. 111-113, 158-159. 1940.
14. ICI BOLETÍN. El Verdadero Costo de Pintar. Imperial Chemical Industries, México, D.F., 1977.
15. ICI BOLETÍN. La Pintura en el Mantenimiento. Imperial Chemical Industries, México, D.F., 1960
16. LOGAN, K.H. Underground Corrosion. ASCE Proceedings. Vol. 61 No. 3 pp. 317-331. 1935
17. MANSELL R. Maintenance Painting of Steel Bridges. American Paint Journal. Vo. 33 No. 46 p. 76. 1949.
18. MANSELL. R. Painting Exterior Steel Surfaces. Corrosion and Material Protection. Vol. 4 No. 5. pp. 8-12. 1947.

19. PEMEX. Muestreo y Pruebas para Recubrimientos para Protección Anticorrosiva. Norma 2.132.01. Norma 3.132.01. Norma 4.132.01. Norma 5.132.01. México, D.F., 1974.
20. ROBERTS, A.G. Organic Coating Proprieties, Selection and Use. U.S. Department of Commerce. National Bureau of -- Standard, Washington, D.C. 1968.
21. SISI,ER, C.W. Materials Protection. Monsanto Chemical Co., St. Louis, Reimpreso con permiso de The National Asociation of Corrosion Engineers. Missouri 1966.
22. TATTON , W.H. DRES. E.W. Industrial Paint Application. Hart Publishing Company, Inc. New York. 1964.
23. WILEY, John and Sons. Corrosion Handbook. Unlig H. H. ed. New York. 1948.