

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y CONTROL DE LA  
CORROSION MEDIANTE RECUBRIMIENTOS ORGA-  
NICOS E INORGANICOS DE SUPERFICIE.

358

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

**JAIME VALDERRAMA MONROY**

MEXICO, D. F.

1974



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

CLAS. 1974  
ADQ. ~~33~~ 33  
FECHA 1974  
PROC. \_\_\_\_\_



**UNMICA**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y CONTROL DE  
LA CORROSION MEDIANTE RECUBRIMIENTOS  
ORGANICOS E INORGANICOS DE SUPERFICIE.

JAI ME VALDERRAMA MONROY

ABELARDO MILTON ESPINOSA O.

INGENIERIA QUIMICA

1973

A MIS QUERIDOS PADRES

Por el esfuerzo y la confianza  
que depositaron en mí.

A MI ESPOSA Y A MIS HIJOS

A MIS HERMANOS

A MIS MAESTROS

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE PARTICIPARON EN MI FORMACION

A.....

JURADO

PRESIDENTE \_\_\_\_\_ PROF. JULIO TERAN ZAVALETA

VOCAL \_\_\_\_\_ PROF. VICTOR SOVOL ZASLAV

SECRETARIO \_\_\_\_\_ PROF. FERNANDO ITURBE HERMANN

1er. SUPLENTE \_\_\_\_\_ PROF. ANTONIO REYES CHUMACERO

2o. SUPLENTE \_\_\_\_\_ PROFRA. MARGARITA GONZALEZ TERAN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: EN LA CIUDAD DE MEXICO

SUSTENTANTES

JAIÑE VALDEERRAMA MONROY

ABELARDO MILTON ESPINOSA O.

ASESOR DEL TEMA

QUI. JULIO TERAN ZAVALETA

## INDICE

### CAPITULO 1

Introducción

### CAPITULO 2

Motivos para controlar la corrosión

### CAPITULO 3

Estudio de la corrosión

Corrosión directa

Corrosión electroquímica

Corrosión por oxidación

Otros tipos de corrosión.

### CAPITULO 4

Métodos para controlar a la corrosión

Sobre diseño de estructuras

Uso de materiales resistentes a la corrosión

Modificación del medio ambiente

Protección electroquímica

Protección con recubrimientos de superficie.

### CAPITULO 5

Recubrimientos orgánicos e inorgánicos

Finalidad de los recubrimientos

Composición

Clasificación

Aceites y resinas varias.

### CAPITULO 6

Comparación de los recubrimientos

Oleoresinosos

Plásticos

### CAPITULO 7

Programa de mantenimiento industrial

Definición

Fase de análisis

Fase de preparación

Fase de aplicación

Fase de inspección

### CAPITULO 8

Tablas y listas de recomendaciones y sistemas de recubrimientos.

### CAPITULO 9 .- CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFIA

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

Los problemas que presenta el fenómeno de la corrosión en la industria básicamente son el deterioro de materiales debido a las reacciones que sufren con su medio ambiente. Materiales tales como los metales, madera, concreto etc.

Es lamentable observar como una gran parte de las áreas que constituyen las industrias en nuestro país sufren enormemente las consecuencias destructivas de la corrosión debido principalmente a la carencia de un programa de prevención científicamente elaborado para el control de la corrosión.

Un estudio estadístico realizado en el año de 1970 al visitar más de 200 industrias de diferentes razones sociales al cumplir con un trabajo, me hizo pensar en la necesidad de proyectar un programa en mantenimiento industrial para el control de la corrosión, ya que de éstas visitas no llegaba a tres el número de empresas que metódicamente aplicara la protección adecuada de las superficies con el fin de eliminar ó por lo menos retardar los efectos nocivos que produce la corrosión.

El desarrollo del programa que proponemos tiene como objetivo fundamental: prevenir y retardar el efecto destructivo de la corrosión, mediante la aplicación de conceptos, experiencias prácticas y de laboratorio.

Para obtener mejores resultados es conveniente que se consulten las tablas que presentamos, puesto que en ellas se relacionan las ventajas y desventajas de los diferentes recubrimientos orgánicos e inorgánicos de superficie bajo las mismas condiciones de operación y trabajo. El aspecto económico queda determinado por las reglas que presentamos una vez que se ha seleccionado el recubrimiento adecuado.

El estudio inicial tratado lo más ampliamente posible del fenómeno de la corrosión es indudablemente la mejor base científica sobre la cuál descansará nuestro proyecto. El conocimiento de las principales propiedades de las sustancias que influyen en el desarrollo de la corrosión tales como los ácidos, bases y sales complementarán a solidificar mejor nuestro trabajo.

Finalmente presentamos una serie de tablas que denominamos de "sugerencias", con la idea de proporcionar el recubrimiento que creemos que es el más adecuado para solucionar un problema determinado. Nuestras sugerencias son el resultado en algunos casos, de la experiencia personal y en otros de la experiencia de los fabricantes, siendo en la mayoría de los casos totalmente comprobadas, siempre y cuando se cumpla con la técnica adecuada han de obtenerse resultados satisfactorios.

## CAPITULO 2

### MOTIVOS PARA CONTROLAR LA CORROSION

Es importante reconocer que la corrosión en sus diversas ma  
nifestaciones no es únicamente un mal menor ya que diariamen  
te vemos producirse la corrosión de equipo valioso, de estruc  
turas en plantas industriales, ductos etc., y es evidente que  
en casi todos los casos es necesario llevar a cabo una gran  
labor de prevención con la consecuente protección.

Las prácticas de tratar de controlar el efecto de la co-  
rrosión en los equipos por medio del sobrediseño o la accepta  
ción de continuas aplicaciones de pinturas sín programa algu  
no y renovación periódica de equipo, han dejado de ser facti-  
blemente económicos debido a las alzas de costos, tanto de ma  
no de obra como de materiales de producción. En cambio es im-  
portante recurrir a la prevención de la corrosión desde el \_  
punto de vista económicamente factible y deseable.

Pretendo que con éste programa de mantenimiento industrial \_  
se valore el costo de prevención sobre la base de un año \_  
en lugar de considerar solamente el costo inicial.

Para tener una idea clara de las pérdidas económicas pro  
ducidas por la corrosión la NATIONAL ASSOCIATION OF CORRO --

SION ENGINEERS realizó un estudio económico en los Estados Unidos de Norte América indicando en una parte importante de su estudio lo siguiente:".....Nuestro estudio ha estimado el costo de la corrosión en más de ;DIEZ MILLONES DE DOLARES ANUALES!que gravitan sobre la economía de nuestro país".Si nos circunscribimos a un nivel local,la corrosión crea una carga económica que no puede se ignorada por ningún pa<sup>o</sup> y en menor escala por ninguna industria.

En mucho se parece el estudio realizado en México por el Ing Mario Gutiérrez durante su conferencia sustentada en Marzo de 1967 en el Instituto Mexicano del Petróleo:".....Es muy importante el formarse una idea de la significación económica de la corrosión,pués sólo conocida la magnitud de los daños que ocasiona se comprende la gran importancia que tiene buscar los medios para reducir al mínimo los daños.Si nos basamos en ciertos criterios expuestos por algunos investigadores consideramos que el costo de la corrosión representa el 5 y 10% del valor de los productos elaborados,que traducidos a cifras aproximadas para la industria del petróleo implica una pérdida anual de 500 a 1000 millones de pesos mexicanos.También se ha afirmado que el costo de la corrosión equivale al 30% del acero empleado,con lo cuál se llega a la misma cantidad".

Aceptando que éstas cifras pueden ser un poco más elevadas a las que corresponden a su valor real es indiscutible que la industria paga un alto tributo a la corrosión.

La corrosión como algunos han afirmado,causa más daño que los incendios y las inundaciones,aunque sus efectos perjudiciales muchas veces no son tan espectaculares.

Existen muy variados motivos que hacen necesario el control de la corrosión. Entre los mas importantes podemos mencionar a los siguientes:

2.1.- Pérdida de atractivo artístico ó estético

2.2.- Costo de reposición de plantas y equipo

2.3.- Pérdidas de tiempo y de producción ocasionadas por las paradas de las plantas.

2.4.- Costo de inspección y mantenimiento.

2.5.- Costo de protección anticorrosiva no incluidas en el mantenimiento.

2.6.- Pérdidas de productos elaborados.

2.7.- Daños y demandas ocasionadas por rupturas.

2.8.- Contaminación de productos.

2.9.- Costos adicionales de energía.

2.10.- Costos de la investigación por corrosión.

2.11.- Pérdidas humanas (no pueden ser valorizadas).

2.12.- Erogaciones directas del punto anterior (indemnizaciones, gastos funerarios etc.)

Cada uno de éstos motivos se explican por sí sólos y cada uno de ellos puede representar una fuerte pérdida en un momento dado. Algunos de ellos son intangibles, pero su influencia es real como por ejemplo, la pérdida de atractivo artístico o estético.

Estos son los principales motivos que nos han hecho pensar en el proyecto de un programa de mantenimiento industrial capaz de reducir los costos de mantenimiento a largo plazo, así como la eliminación del tiempo perdido y todo lo que concierne al control de la corrosión.

## CAPITULO 3

### ESTUDIO DE LA CORROSION

Consideramos de importancia fundamental para el desarrollo de nuestro programa de mantenimiento industrial el tener una idea clara y científica del porque una superficie útil y lim pia de hierro u otro metal pueden convertirse en una super - ficie vieja y oxidada,.Para lograr ésto es necesario tomar \_ en cuenta los principios básicos involucrados en los proce - sos mencionados .

DEFINICION DE CORROSION .- La palabra "corrosión" no debe \_ confundirse como sinónimo de la oxidación ó herrumbre, ya que ésta última se refiere prácticamente a un proceso simple y \_ natural de oxidación limitada al hierro ó acero.

El acero es de las sustancias de mayor uso en la indus - tria y su significado económico a través del tiempo es deter - minante, razón por la cuál estudiaremos el fenómeno corrosivo con mayor amplitud para estas sustancias y generalizando \_ para todos los metales, puesto que, estudios recientes han de - mostrado que el fenómeno de la corrosión es fundamentalmente el mismo para todos los metales y las diferencias son de gra

do y no de calidad.

Es por ésta razón que se puede simplificar el estudio de la corrosión limitándola al fierro.

Modificando la definición anterior podemos decir que "La corrosión en los metales es la gradual desintegración y destrucción de un metal ya sea por una acción química directa ó por una acción electrolítica entre el metal y el medio que le rodea".

Sustancialmente se debe a que la mayoría de los metales no son estables en el medio en que se emplean, sino que tienden a formar compuestos más estables como son los minerales tales como se encuentran en la naturaleza.

La corrosión generalmente se presenta sobre la superficie metálica, pero puede avanzar a lo largo de los límites intergranulares ó de otras líneas de ataque debido a diferencias en su resistencia a la acción electrolítica local ó bien a la posibilidad de presentar infinitas zonas anódicas como lo trataremos posteriormente.

En la mayoría de los casos en condiciones de exposición, los productos de la corrosión consisten de óxidos mas o menos hidratados, carbonatos y sulfuros, según sea la naturaleza del metal y del medio corrosivo.

Las reacciones de la corrosión desde el punto de vista práctico pueden ser de tres formas:

- 3.1.- Corrosión directa
- 3.2.- Corrosión electroquímica
- 3.3.- Corrosión por oxidación.

#### CORROSION DIRECTA

Básicamente se considera como un ataque químico directo ordi

nario uniforme frecuentemente fácil de estimar. La reacción es del tipo de oxidación razón por la cual se origina un flujo de corriente eléctrica, aunque exhibe una variedad en el comportamiento electroquímico. La característica principal de este tipo de corrosión es que la reacción con el oxígeno se efectúa en ausencia de humedad.

La corrosión tiene lugar cuando se genera una corriente eléctrica debido a las reacciones de oxidación. Dicho de otra manera cuando se forma una "pila de corrosión".

### MECANISMO

Consideremos una placa metálica (fierro, por ejemplo) expuesta a las condiciones de la corrosión directa. Los iones del metal fierro junto con los electrones viajan desde el metal hasta la región interfacial (metal-capas moleculares del metal, oxígeno por ejemplo), donde los electrones ionizan a los elementos no metálicos absorbidos, dando origen a la formación de los aniones respectivos.

Los aniones se unen con los cationes para emigrar y formar una estructura reticular en estado sólido. De esta manera se forma un flujo electrónico, que se repite millones de veces y puede continuar dependiendo de la estructura física y resistencia eléctrica de la película sólida formada, al paso de los iones y principalmente de los electrones a través de su retículo cristalino.

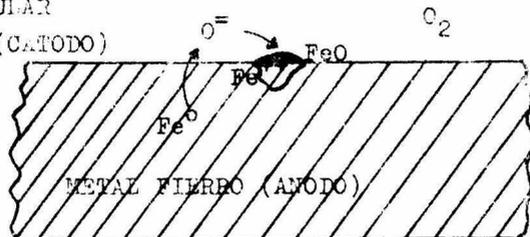
Las reacciones químicas probables que se verifican son:

- 1.-  $Fe^0 - 2e \text{ ----- } Fe^{++}$
- 2.-  $O_2 + 2e \text{ ----- } O^{=} + O$
- 3.-  $Fe^{++} + O^{=} \text{ ----- } FeO$  (estructura reticular en estado sólido).
- 4.-  $O + O \text{ ----- } O_2$

Las reacciones anteriores se repiten miles de veces.

El proceso lo podemos visualizar mediante el siguiente esquema:

CAPA MOLECULAR  
DE OXIGENO (CATODO)



### CORROSION ELECTROQUIMICA

Se considera a la corrosión electroquímica como el producto de las reacciones de corrosión en donde el flujo eléctrico fluye a una distancia apreciable a través de las partes del metal, sin que se produzca en éstas partes conductores la corrosión.

A éste tipo de corrosión se le considera como el proceso dominante y determinante para explicar en la mayor parte de los casos el fenómeno de la corrosión en los metales.

La corrosión más frecuente se verifica a la temperatura ambiente por reacción de los metales con el agua, que puede provenir del ambiente ó de las soluciones acuosas de sales, ácidos o bases. El proceso de la corrosión metálica se produce porque los metales que poseen electrones de valencia con cierto grado de libertad y movilidad, oponen poca resistencia a perderlos con cualquier sustancia que se ponga en contacto con su superficie y tenga avidéz para arrancarlos o fijarlos en com participación, con mayor o menor intensidad.

En ciertas situaciones se pueden formar películas protec

toras. La combinación que se origina por reacción del metal con el medio puede fijar los electrones metálicos en el mismo retículo sin casi producirse desplazamiento de aquéllos y entonces el ataque se limita a la formación de una capa molecular (mono) del producto de corrosión y encontramos que esto constituye el caso extremo de máxima protección porque obstaculiza completamente la salida de los electrones. En és caso si bién el metal se ha oxidado por haber perdido algunos átomos cierta influencia sobre sus electrones de valencia, no se ha producido la pérdida completa de estos electrones y por lo tanto el metal no ha pasado a la solución en estado iónico. Esto último se producirá sín embargo en el momento en que la superficie esté libre y exista una acción electroquímica pura por existir en el metal zonas con diferentes potenciales, y de ésta manera los electrones de valencia que abandonaron los átomos metálicos pasan al medio oxidante en una región, la anódica, en la cuál se produce un enrarecimiento electrónico, y así se deshace el equilibrio que pudiera establecerse entre los cationes metálicos próximos a la superficie y los electrones del retículo que han cedido los átomos.

Estos acontecimientos se observan cuando dos metales diferentes se ponen en contacto íntimo, tales como el hierro y el cobre en una solución acuosa (NaCl, por ejemplo) diluída y al aire. Las reacciones son como se esperaba, una en el ánodo (oxidación) y la otra en el cátodo (reducción).

La reacción de oxidación tiende a destruir el metal en el ánodo ya sea disolviéndolo como ión o bién revirtiéndolo a un estado combinado tal como un óxido.

La reacción de reducción generalmente no afecta al metal ca-

tódico, ya que los metales no pueden reducirse más.

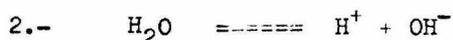
### MECANISMO

El cobre que posee una condensación relativamente menor que la del hierro, ofreciéndoles un camino más fácil que el de la captura directa de los electrones por el oxidante de la solución, aparte que, de producirse directamente, se originaría muy pronto la interrupción y a través del cobre puede pasar el oxidante sin fuerte dificultad y sin la consiguiente obstaculización, máxime cuando tampoco existe dificultad para que entre el hierro como el ánodo y el cobre como cátodo pase corriente a través de la solución, transportado por los iones, cerrándose de ésta manera el circuito por el cuál fluye la corriente eléctrica engendrada.

La intensidad de la corriente eléctrica está determinada por la aportación de oxígeno a la superficie de cobre, ya que aquél actúa de estimulante catódico.

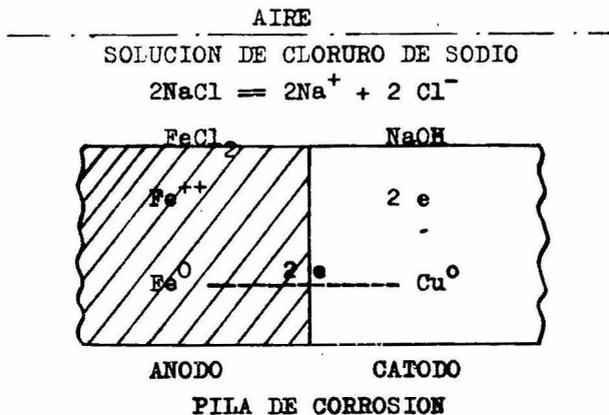
Los dos productos de reacción cloruro ferroso en el ánodo y el hidróxido de sodio en el cátodo, reaccionan al encontrarse en el líquido produciendo hidróxido ferroso, el cuál toma más oxígeno, pasando a hidróxido férrico hidratado. El hecho de que la formación del producto de corrosión sólido tenga lugar a una distancia del lugar de la corrosión es lo que hace tan peligrosa la acción electroquímica. Cuando la acción electroquímica produce un cuerpo poco soluble, como producto anódico directo (plomo en la solución de sulfato) el ataque se tiene por sí solo.

Las reacciones químicas son las siguientes:



- 3.-  $O_2 + 2e \text{ ----- } O^{=} + O$
- 4.-  $Fe^{++} + 2Cl^- \text{ ---- } FeCl_2 \text{ (ANODO)}$
- 5.-  $2Na^+ + 2OH^- \text{ ---- } 2NaOH \text{ (CATODO)}$
- 6.-  $FeCl_2 + 2NaOH \text{ ---- } Fe(OH)_2 + 2NaCl \text{ (SOLUCION)}$
- 7.-  $4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \text{ ----- } 4Fe(OH)_3$

Lo anterior lo podemos visualizar de la siguiente manera.



La presión electrónica ó voltaje que desarrolla la pila es función de la diferencia de potencial del ánodo y el cátodo. La fuerza electromotriz de la pila será mayor cuando los dos metales que la constituyen se encuentran muy alejados el uno del otro en la serie electroquímica.

La intensidad de la corriente depende del número de electrones que cruzan una sección dada en la unidad de tiempo y se encuentra gobernada por el área de los electrodos.

No es necesario que exista un segundo metal para que ocurra la acción electroquímica.

El fierro -por ejemplo/ recubierto de una capa de laminación se ataca intensamente en las grietas de laminación ó discontinuidades por ser éstas anódicas en relación con la capa

que es catódica. En las brechas de la capa se producen picaduras si aquellas llegan a grandes cantidades de oxígeno que hacen que sean grandes los flujos electrónicos, y éstas se concentran en los pequeños ánodos.

Las reacciones de oxi-reducción son aquellas en donde los electrones se transfieren de la parte que se oxida a la que se reduce. Cuando éste intercambio ó transferencia se realiza con desprendimiento de energía, la reacción de oxi-reducción es espontánea, y si las reacciones se llevan a cabo y si las zonas anódicas y catódicas se encuentran en condiciones se puede predecir el curso de electrones de una corriente eléctrica.

#### PILA GALVANICA

Un tipo de corrosión de importancia la constituye la corrosión galvánica y es la corrosión que se efectúa de preferencia entre dos metales diferentes de la escala galvánica. El metal colocado en la parte más alta de dicha serie se corroe preferentemente a la que se localiza en la parte debajo de él. En una pila galvánica puede suceder que si la transferencia de electrones se realiza muy lentamente, es posible obtener prácticamente toda la energía liberada por la reacción de oxi-reducción en forma de energía eléctrica en un circuito exterior y podemos representar por:

$$1.- E_{\text{liberada por la reacción}} = E_{\text{eléctrica producida}} = Vit$$

E = energía

I = flujo electrónico

t = tiempo de duración del flujo electrónico

De acuerdo con la ley de Faraday sabemos que 1 Faraday es la cantidad de electricidad que pasa por el circuito exterior

cuando en la pila reacciona un equivalente gramo de la sustancia reductora y oxidante. Esta cantidad de electricidad es - equivalente a 26.81 amp-hr ó bién a 96,500 coulombs (amp-seg De ésto podemos observar que la cantidad de electricidad producida en todas las pilas es la misma siempre que reaccione un número idéntico de equivalentes gramo de las sustancias - oxidantes y reductoras. Cuando existan diferencias de en ergía liberadas es posible detectarlas por las diferencias en sus voltajes.

Las siguientes expresiones simplifican lo anterior:

$$2.- Q = FE$$

Q = energía liberada

F = 96,500 coulombs

E = voltaje

El voltaje es proporcional a la energía liberada Q, por lo - que una pila cuya reacción deja en libertad gran cantidad de energía por equivalente gramo tendrá un potencial elevado. Es condición necesaria que para que toda la energía de la - reacción química se convierta en energía eléctrica es necesario que la pila actúe reversiblemente, y entonces E es una - medida de la fuerza impulsora que hace que se lleve a cabo - la reacción de oxi-reducción. O sea que el potencial es una - medida de la tendencia de la reacción a verificarse ó de la magnitud en que se a de verificar antes de lograr el estado de equilibrio.

Una reacción de oxi-reducción la podemos dividir en dos me-dias reacciones, una anódica y la otra catódica.

La energía total liberada en la reacción es:

$$3.- Q_t = Q_a + Q_c \quad \text{ó bién:}$$

4.-  $Q_t = nFE_t$  siendo  $n$  el número de equivalentes gramo.

Considerando las medias reacciones tenemos:

5.-  $Q_a = nFE_a$  (ánodo)

6.-  $Q_c = nFE_c$  (cátodo)

El número de equivalentes gramo es el mismo entonces:

7.-  $E_t = E_a + E_c$

El potencial total  $E_t$  se puede medir, y se conviene dar el - valor de cero a una reacción electródica tipo que se utiliza como cátodo para servir de comparación por lo que:

8.-  $E_t = E_a$

Para comprender lo anterior es conveniente indicar someramente el principio en que se fundamenta la reacción electródica tipo: consideremos una lámina de metal-Zn, por ejemplo- y sumergamosla dentro de un electrólito (solución de una sal ó un ácido) e iniciemos nuestra observación. Las conclusiones que obtenemos son las siguientes: en el instante en que se introduce la lámina al ácido ó sal en solución se desprenden iones de zinc ( $Zn^{++}$ ), al tiempo que se liberan electrones e inmediatamente se produce el efecto inverso, aunque al principio sea de menos intensidad.

Los electrones se unen a los iones positivos de la solución, y convertidos en átomos neutros se depositan sobre el Zn.

Como resultados de estos procesos, con dominio del primero, en la zona superficial del metal se acumula una zona de electrones y en la solución junto al metal se forma otra zona difusa irregular de iones positivos.

Estas dos zonas denominadas por Helmholtz en 1879 "doble capa eléctrica" de cargas eléctricas diferentes dá origen a una diferencia de potencial llamado POTENCIAL DE ELECTRODO.

En un sentido absoluto el potencial de electrodo lo podemos definir como la tendencia del metal que constituye el electrodo a dar iones positivos a la solución de una sal del mismo metal.

#### MECANISMO

1.-  $Zn^0 \xrightarrow{-k_1} Zn^{++} + 2e$  del metal Zn a la solución

2.-  $Zn^{++} + 2e \xrightarrow{-k_2} Zn^0$  de la solución al metal Zn

$k_1$  y  $k_2$  son las velocidades de la reacción.

$k_1$  es mayor que  $k_2$  al iniciarse la disolución

$k_2$  es igual a  $k_1$  cuando se establece el equilibrio.

De lo anterior podemos asegurar que existen dos potenciales eléctricos uno que corresponde a la oxidación y el otro a la reducción (oxidación del metal Zn y reducción del ión Zn).

Cuando  $k_1$  es mayor que  $k_2$  predomina el potencial eléctrico debido a la oxidación y cuando se establece el equilibrio los potenciales eléctricos son iguales.

Prácticamente resulta imposible medir estas diferencias de potencial o sea el potencial de electrodo por lo que se recurre necesariamente a combinar el electrodo con otro electrodo con su respectiva solución. Este último electrodo suele llamarse "electrodo de referencia" basado estructuralmente en el equilibrio heterogéneo metal-sal de metal-solución, en la cuál, la sal en cuestión es un producto bastante insoluble en tanto que la solución respectiva contiene un ión común con dicha sal. De ésta manera se mide la diferencia de potencial que se establece entre ambos, semejante a la medida de potencial en una pila eléctrica.

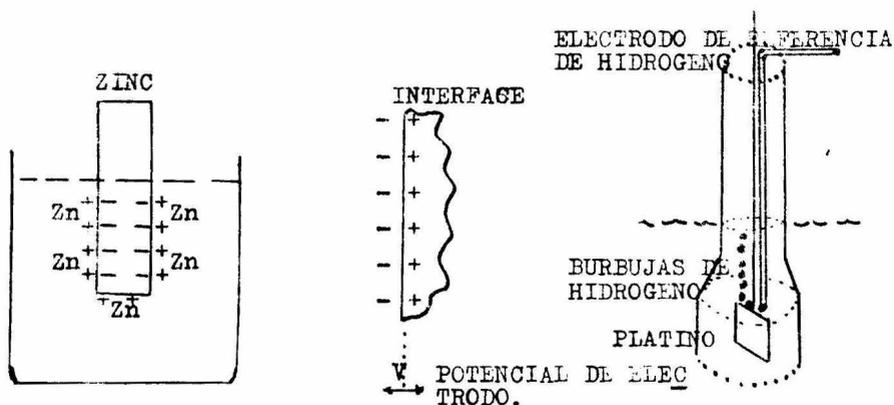
Al electrodo de referencia se le asigna el potencial cero.

El electrodo de referencia de uso más común es el conocido -

con el nombre de "electrodo normal de hidrógeno".

La constitución de éste electrodo consiste de una lámina de platino sumergida en una solución ácida en agua destilada - cuya concentración es de un ión gramo de hidrógeno por litro. La superficie de platino es continuamente burbujeada por gas hidrógeno a una atmósfera de presión y 25 °C de temperatura. Por lo tanto, el potencial de un electrodo es la diferencia de potencial eléctrico que posee la pila formada por el electrodo de referencia, el electrodo del metal (Zn) y la solución que conecta a ambos. Y se le considera como potencial normal de una substancia electrolítica a la diferencia de potencial que se obtenga en la combinación dicha, siendo la concentración de la solución de un ión gramo de sustancia por litro. El signo del potencial corresponde a la carga que adquiere el electrodo. Por ejemplo -0.761 voltios es el potencial negativo en relación con el electrodo de hidrógeno tipo de un electrodo de Zn puro en contacto con una solución que contiene iones Zn en una concentración activa de un equivalente por litro. Se le conoce como potencial electrodo normal de zinc.

Visualmente lo podemos representar de la siguiente manera:



Cuando una corriente eléctrica transportada por iones sale o llega a una superficie metálica, se producen ciertos efectos irreversibles que se oponen al paso de la corriente eléctrica tales efectos se denominan "polarización".

El efecto de la polarización es hacer que el potencial de la solución de las áreas anódicas sea más catódica y el de las áreas catódicas sea más anódica.

La diferencia entre el voltaje reversible máximo y el voltaje real de una pila en actividad es la medida de la polarización. Esta diferencia mide la polarización. La polarización anódica ó catódica que no se puede atribuir a la polarización de concentración o a la resistencia en presencia de películas se denomina "sobretensión". La sobretensión generalmente es muy pequeña en las reacciones que comprenden a los gases, y en la corrosión tiene una particular importancia la reducción del oxígeno en los cátodos.

En relación con la corrosión siempre es importante conocer si un metal dado puede reaccionar espontáneamente en ciertos ambientes y si una vez iniciada la corrosión se favorece o se impide a través del tiempo. Si el voltaje calculado de la reacción causante de la corrosión es negativo se puede comprobar la reacción, en tanto si es positivo, dicha reacción es imposible en las condiciones dadas.

El cálculo de los potenciales correspondientes a los metales y compuestos más conocidos los presentamos en la tabla de la serie electromotriz.

Observemos que, los metales desde el Mg hasta el Fe inclusive se puede corroer en esas condiciones para formar un producto de corrosión sólido, óxido ó hidróxido, el cuál se satura en -

agua aún en ausencia de oxígeno.

El fierro se puede corroer en agua libre de oxígeno para formar hidróxido ferroso férrico, y cuando existe oxígeno, forma hidróxido férrico. Se ha comprobado que la magnetita es el producto es el producto sólido final de la corrosión de fierro en agua libre de oxígeno. Los metales situados debajo de la serie con relación al fierro no se corroe en agua libre de oxígeno, pero lo hacen espontáneamente en agua saturada de aire.

La relación de los potenciales de dos metales depende en gran parte de la naturaleza de su medio ambiente y puede revertirse a consideración de que se cambie el medio que los rodea. Por ejemplo, si el hierro-plomo se introducen por separado en ácido diluido y otro par en una solución alcalina, se observará que el metal que se corroe, o sea el más activo en la solución ácida es el hierro y en la solución alcalina el Pb.

#### SERIE GALVANICA DE ALGUNOS METALES Y ALEACIONES

Mg

Aleaciones de Mg.

Zn

Cd

Duraluminio

Hierro y acero

Fundición

Aleaciones de hierro, cromo (13 % activos)

Fundiciones al níquel

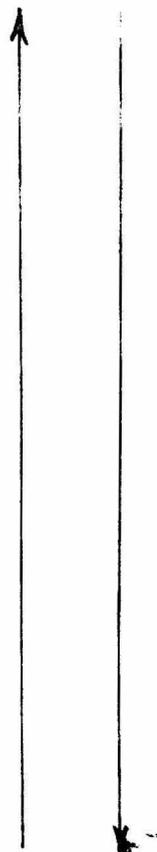
Acero inoxidable

Soldadura de plomo y estaño

Plomo



Estaño  
Metal Mante  
Bronce de manganeso  
Níquel(activo)  
Inconel(activo)  
Latones amarillo  
Bronce de aluminio  
Cobre  
Bronce de silicio  
Aleaciones de Cu-Ni (9-10 y 70-30)  
Níquel(pasivo)  
Aleaciones de hierro-cromo 13 % activo  
Titanio  
Monel  
Acero inoxidable 18-13-3(pasivo)  
Plata  
Oro  
Platino



Puesto que la corrosión de la mayoría de los metales es espontánea en presencia de agua que contiene oxígeno, el problema real de la corrosión es conocer e interpretar el efecto de los factores que controlen la velocidad de descarga de las pilas de corrosión, lo cuál permite idear procedimientos adecuados para disminuir la velocidad de corrosión.

Es importante tener conocimientos de aquellos factores que determinan que ciertas áreas de superficie metálica en contacto con el medio sean anódicas con relación a otras porciones de la misma superficie, pues en aquéllas es donde se

produce la corrosión por oxidarse el metal.

En la práctica se ha encontrado que no resulta conveniente reducir las áreas anódicas si no se reduce a su vez la cantidad total de corrosión, ya que una limitación de esa área, que es la atacada, sin disminuir proporcionalmente la corrosión totalmente, conduciría al picado.

Las áreas anódicas se establecen donde el material está forzado, donde la película protectora se ha desprendido, donde la concentración de oxígeno es pequeña, donde existan impurezas dentro o en contacto con el metal etc.

Las áreas anódicas quedan establecidas como ya indicamos.

Las áreas catódicas se establecen donde el metal está sin forzar, porciones con gran cantidad de oxígeno, impurezas en el metal con pequeña sobretensión para el oxígeno e hidrógeno y con las impurezas en el mismo metal ó en contacto con él, que son catódicas con respecto a aquél.

La corrosión electroquímica producida por contacto directo de dos metales diferentes es el de tipo galvánico; la causada por heterogeneidad de un metal es electroquímica directa, y la debida a la heterogeneidad de la solución de contacto es electroquímica acelerada.

Las observaciones de las variaciones del potencial y de la intensidad de la corriente con el tiempo, de la pila formada, permite seguir el curso de las modificaciones que experimenta la superficie metálica al corroerse y de los efectos de los productos sólidos de corrosión sobre la velocidad de ataque.

Conocido el potencial teórico del metal en el ambiente de trabajo que indica su mayor ó menor tendencia a corroerse, se

puede llegar a determinar los posibles efectos atenuadores del funcionamiento de las pilas de corrosión, ya que se sabe que la velocidad de corrosión para el estado estacionario ( constante ) es igual a la suma de todos los efectos polarizadores e igual a la fuerza impulsora.

Para el estado estacionario se pueden escribir las siguientes expresiones despreciando algún término muy pequeño:

$$1.- E_0 = E_a + E_c + E_R$$

$E_0$  = Fuerza electromotriz reversible del par ó sea la diferencia de potencial del circuito abierto entre los ánodos y cátodos locales.

$E_a$  = Polarización anódica

$E_c$  = Polarización catódica

$E_R$  = RI

R = Resistencia del electrolito entre el ánodo y el cátodo.

Si la corrosión se reduce por pilas locales, además de la resistencia del electrolito entre las regiones anódicas y catódicas puede influir la resistencia del metal entre zonas, pero en general ésta última resistencia de los metales es muy pequeña y el término RI del metal puede despreciarse por lo que la ecuación (1) se reduce a:

$$2.- RI = E_0 - ( E_a + E_c ) \quad ; \text{si despejamos I entonces:}$$

$$E_0 - ( E_a + E_c )$$

$$3.- I = \frac{E_0 - ( E_a + E_c )}{R}$$

R

I = Intensidad de la corriente, cuyo valor dá la velocidad de corrosión, puede disminuir al reducirse el valor de  $E_0$  ó al aumentar los valores de  $E_a, E_c$  ó R.

$E_0$  disminuye principalmente si la superficie metálica es más

homogénea física y químicamente; así los aceros inoxidables ó el aluminio comercial tratados con  $\text{HNO}_3$  no se corroen y el Zn ó el Al se atacan poco con el HCl.

El factor  $E_a$  se le puede suponer integrando ó mejor dicho integrado por las fuerzas electromotriz de retroceso producida por la polarización de concentración y por el aumento de resistencia causado por la formación de una película en la superficie anódica. Una película líquida que contenga una concentración de iones superiores a la del electrólito dará un valor para la fuerza electromotriz de retroceso que puede ser próximo a el valor de  $E_0$  y entonces no hay corrosión.

Un producto anódico muy poco soluble en el líquido corrosivo forma una película de superficie anódica y si posee una mayor resistencia que el líquido, como es lo normal, disminuirá la intensidad de la corriente. De modo análogo, a  $E_c$  se le puede suponer formado por los mismos componentes anteriores. La película de gas ó líquido sobre la superficie catódica puede casi lograr que se aumente la resistencia del electrólito, intensificando la polarización anódica total ó bien que aumente la polarización catódica, de esta manera disminuye la velocidad de corrosión de un sistema dado y se puede estudiar no sólo el comportamiento de los metales metálicos en los medios activos, sino también en la posibilidad de idear procedimientos y aplicar los más convenientes con el objeto en disminuir la corrosión.

Una chapa de Zn no es atacada por aquéllos ácidos que al contacto con el Zn desprenden hidrógeno. En este caso la elevada polarización total se debe a la sobretensión necesaria para que tenga lugar el desprendimiento de hidrógeno en las

supuestas áreas catódicas.

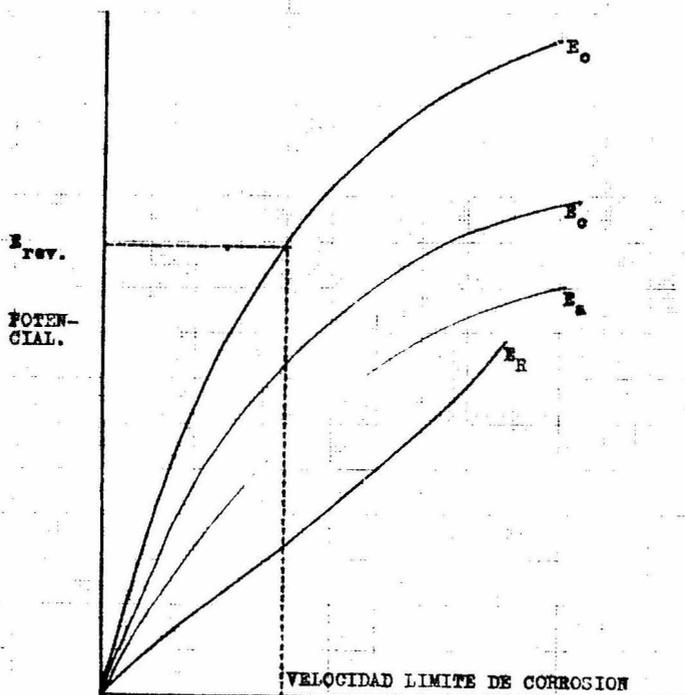
Según el efecto disipador predominante sea la polarización anódica ó catódica, el proceso de corrosión se dice que está bajo control anódico, ó catódico ó mixto cuando la polarización catódica y anódica tienen valores aproximadamente iguales.

Para la corrosión electroquímica de los metales es necesaria la presencia de la "humedad", de aquí que es una causa de polarización catódica la capa protectora de hidrógeno atómico que se forma por descarga de los iones oxonio del agua. Un aspecto notable de la corrosión del hierro es de no ocurrir, en extensión muy perjudicial, la reacción directa con los iones oxonio en las soluciones acuosas, a menos que este presente el oxígeno.

Sobre la superficie de una barra de hierro sumergida en una solución salina se forma rápidamente una capa de hidrógeno atómico. Sin embargo es difícil que los átomos de hidrógeno se combinen formando el gas molecular que se desprende en esta forma de la superficie de hierro. Por ésta causa una barra de hierro casi no es atacada por una solución salina libre de oxígeno.

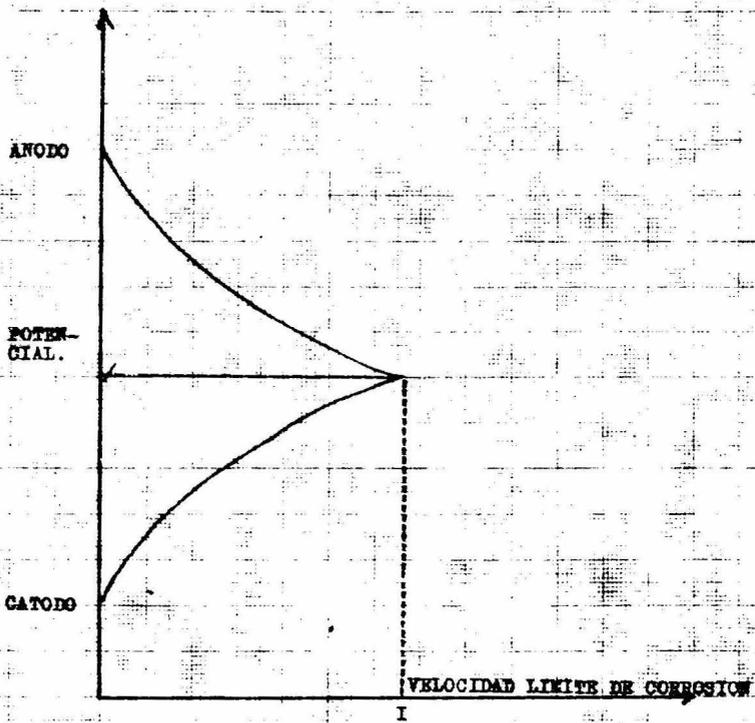
La eliminación de los átomos de hidrógeno disueltos para formar agua con el oxígeno presente se le denomina "despolarización", y permite que continúe la corrosión de hierro.

La polarización catódica desaparece cuando se elimina el hidrógeno de la superficie del metal, bien al estado gaseoso ó por combinación con un agente oxidante para formar agua. La acción del oxígeno disuelto, es la de despolarizante del H<sub>2</sub> naciente, liberado en las áreas catódicas, esto es extensivo a -



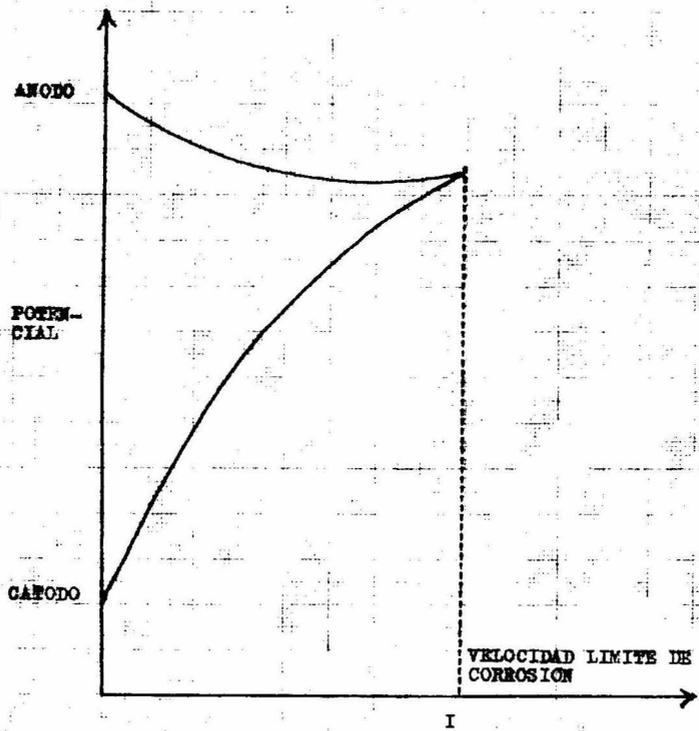
(I) -INTENSIDAD DE LA CORRIENTE  
 \*VELOCIDAD DE LA CORROSION

CURVA CARACTERISTICA DE LA VELOCIDAD LIMITE DE CORROSION, SEGUN  
 LA ECUACION  $E_R = R I$  (23) Y (24)



I = INTENSIDAD DE LA CORRIENTE  
 (Fig 1)

CONTROL ANODICO



I - INTENSIDAD DE LA CORRIENTE

(Fig. 2)

CONTROL CATODICO

todos los metales, pero encontramos que bajo ciertas condiciones la descarga de los iones oxonio es difícil y entonces se verifica principalmente la reducción del oxígeno disuelto según la siguiente reacción:



en lo cual el cátodo adquiere un potencial más positivo y se intensifica el funcionamiento de la pila.

Algunos investigadores como Bergmann ha encontrado que la velocidad de la corrosión del Zn en contacto con el hierro, Cu, Ni y Cr se encuentran supeditados por la difusión del oxígeno en la solución y es independiente de las relaciones de áreas metálicas e influye poco la concentración de la solución. Esto también lo sostiene Koenig.

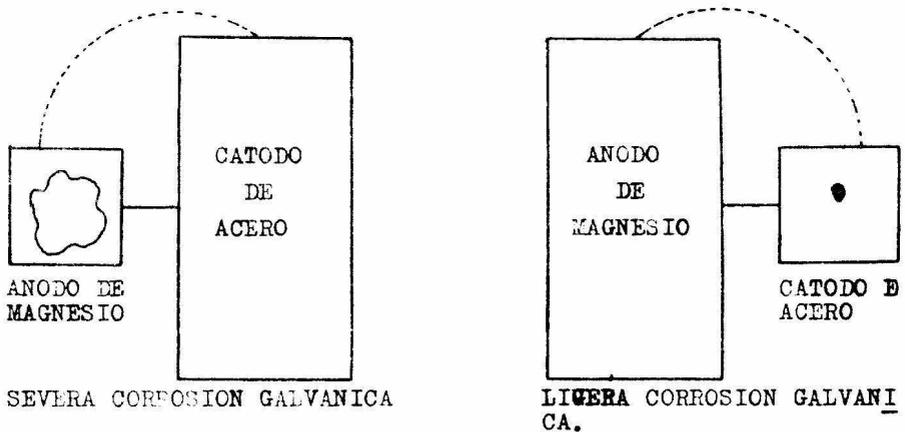
En el par de acero.-cobre en agua de mar, con aire disuelto, se produce la corrosión galvánica del hierro con una diferencia de potencial de 0.5 V, pero en agua de mar, exenta de aire la polarización del hidrógeno en el cobre disminuye el potencial, al extremo que la corrosión es insignificante.

En las acciones corrosivas a la intemperie, donde la influencia del oxígeno es abundante, son de gran importancia las áreas relativas de los dos metales que forman el par.

La velocidad de corrosión se determina generalmente por la velocidad de la reacción catódica, puesto que normalmente es mucho menor que la anódica. la polarización catódica es elevada y el paso de la corriente es relativamente pequeña, produciéndose la corrosión galvánica en muy pequeña cantidad. Si el área catódica es muy grande y la anódica muy pequeña, la polarización catódica disminuye y como consecuencia aumenta el flujo electrónico y la corrosión galvánica es intensa.

Quando es elevada la intensidad de la corriente y pequeña el área anódica, en el ánodo existe una gran densidad de corriente y la velocidad local de corrosión aumenta. En muchas condiciones la extensión del efecto galvánico se aproxima mucho a la relación del área catódica (metal más noble) el área anódica (metal menos noble), por lo cuál se aconseja evitar los pares galvánicos en los cuáles el área expuesta del metal más noble sea mucho mayor que la del metal menos activo. Por ejemplo; en modo alguno se pueden colocar remaches de aluminio a una plancha de fierro, pero sí remaches de fierro en planchas de aluminio.

Esquemáticamente lo anterior lo representamos por:



INFLUENCIA DE LAS AREAS EN LOS ELECTRODOS EN EL DESARROLLO / DE LA CORROSION GALVANICA.

Otros factores que influyen en la corrosión galvánica son la velocidad del movimiento relativo entre la solución corrosiva, la superficie metálica y la temperatura. En general, la velocidad de corrosión aumenta al elevarse la temperatura debi

do a que se intensifica el ataque, por aumentar las velocidades de difusión y las conductividades de los electrolitos, - disminuir la mayoría de los efectos de polarización, pero también posee un efecto secundario por influir en la solubilidad del oxígeno atmosférico en las soluciones corrosivas. Se ha demostrado que las sustancias oxidantes, tal como el aire disuelto, pueden retardar la corrosión de los metales que forman películas protectoras de óxido y acelerar la de los que no lo forman, y desde ese punto de vista el efecto de la elevación de la temperatura disminuye la concentración de oxígeno disuelto. Por otro lado la temperatura aumenta la solubilidad de los productos protectores de la corrosión.

Como hemos visto anteriormente, la teoría electroquímica de la corrosión se basa en considerarla como una reacción de oxidación-reducción, o sea como un intercambio de electrones entre diferentes sistemas. Este intercambio se debe a la tendencia de los electrones a adquirir un estado de energía potencial menor, ó sea de mayor estabilidad.

Para indicar cuantitativamente la tendencia al intercambio de electrones, se puede aplicar la ley del Dr. Walther Nernst en la que dicha tendencia se mide como un potencial:

$$1.- E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln(M)$$

E = Potencial que existe entre un metal y la solución que contiene sus iones (voltios).

$E_0$  = Potencial normal del metal (voltios)

R = 8.313 Joul/grado-mol

T = Temperatura absoluta en °K

n = Valencia del ión del metal en solución.

F = 96,500 coulombs

(M) = Concentración iónica del metal

La ecuación normal de Nernst es común referirla a 25°C. Incluyendo los valores de las constantes y cambiando de log. naturales a log. comunes tenemos:

$$2.- E = E_0 + 0.0591/n \log (M)$$

Mientras más pequeño sea el valor de E, mayor es la tendencia del metal en cuestión a ceder electrones, o sea, a disolverse formando iones. Desde luego, la cesión de electrones sólo es posible cuando se encuentra otro sistema presente que esté en condiciones de recibirlos por tener un potencial mayor, y en éste sistema los cationes del metal respectivo se unen con los electrones y son descargados, con lo que se forma el metal libre.

En la corrosión en presencia de humedad el catión que recibe los electrones es el ión hidrógeno el cuál al descargar se forma hidrógeno atómico, que a su vez se transforma en H molecular y finalmente se desprende en el cátodo en forma de burbujas.

Ya que el potencial normal de los metales determina en alto grado su mayor ó menor tendencia a disolverse y por lo mismo a corroerse, es útil ordenarlos como se hizo en la serie electromotriz de los metales.

El hidrógeno al ser descargado en el cátodo queda en forma atómica y posteriormente pasa a formar moléculas. Este cambio de energía del estado atómico al molecular se puede considerar igual a cero cuando se verifica sobre una superficie de platino platinizado, de paladio ó bién de grafito.

Si se pone una barra de fierro en agua pura, de inmediato se establece una diferencia de potencial entre la barra y el --

agua. De acuerdo con la ecuación de Nernst esta diferencia de potencial debería ser igual a menos infinito, ya que inicialmente  $(M) = 0$ , lo cuál significa que parte del metal se tiene que disolver de tal manera que en las inmediaciones del metal se tiene una concentración de los iones que corresponde a un valor finito del potencial. El agua siendo pura, contiene iones hidrógeno en una concentración que determina el potencial del hidrógeno de acuerdo con la misma ecuación, en donde se debe considerar el potencial normal del hidrógeno igual con cero ( $E_0 = 0$ ).

Para que el hidrógeno se desprenda y sea reemplazado en la solución por los iones de fierro, es necesario que el potencial del hidrógeno sea mayor que el del fierro, sumado con el sobrevoltaje respectivo, lo cuál significa que el potencial mínimo que produce la disolución de fierro es:

3.-  $E_H = 0.0591/1 \log(H^+) = -0.44 + 0.27 + 0.0591/2 \log(Fe^{++})$   
 Si en ésta ecuación se supone que en las inmediaciones de la barra de fierro se tiene una concentración  $Fe^{++} = 10^{-6}$ , se puede deducir que el pH respectivo de la solución debe ser de 6. Es decir, que el fierro no sería atacado si las soluciones tienen muy poca concentración de iones hidrógeno, las soluciones con mayor concentración de iones de hidrógeno, el fierro se disolverá rápidamente.

La disolución del fierro aumenta la concentración de sus iones en la solución y por lo mismo el potencial del sistema fierro. Simultáneamente el desprendimiento de hidrógeno disminuye la concentración de estos iones en su solución y en consecuencia su potencial. En el momento en que el aumento del potencial del fierro y la disminución del potencial de

hidrógeno hace que los dos valores sean iguales, cesa el intercambio de electrones entre los dos sistemas y se establece el equilibrio químico el cuál persiste hasta que algún agente externo lo altere.

La ecuación(3) permite también calcular que en el agua pura en que se supone que la concentración de iones hidrógeno es igual a  $10^{-7}$ , el potencial de éstos es igual a  $-0.413$ , de tal manera que sólo se disolverán apreciablemente los metales con un potencial menor, y a medida que va aumentando el potencial del metal más pronto se llega al equilibrio.

Es ésta la razón por la cuál los metales alcalinos se disuelven totalmente, ya que se requeriría una concentración muy elevada, físicamente imposible, para que su potencial fuera mayor que el del hidrógeno.

#### CORROSIÓN POR OXIDACION

Este tipo de corrosión se refiere a la reacción directa de los metales con el oxígeno en ausencia de humedad. La naturaleza y propiedades del óxido que se forma juega un papel importante en los procesos de oxidación, y así es frecuente clasificar a los metales según el comportamiento de los mismos a la acción del calor en:

- 1.- El óxido puede ser inestable, como ocurre con el óxido de molibdeno, plata mercurio y platino, y no se verifica la reacción.
- 2.- El óxido puede ser volátil como ocurre con el óxido de molibdeno y la oxidación se verifica a una velocidad con cierta constancia relativamente elevada.
- 3.- Uno ó más óxidos pueden formar una ó más capas en la superficie del metal. Este tipo de oxidación es muy frecuente

SERIE ELECTROMOTRIZ

CON POTENCIALES DE OXI/REDUCCION

<u>ELECTRODO</u>	<u>REACCION</u>	<u>E<sup>0</sup>(VOLTS)</u>
Li; Li <sup>+</sup>	Li = Li <sup>+</sup> + 1e	-3.02
K ; K <sup>+</sup>	K = K <sup>+</sup> + 1e	-2.924
Ba; Ba <sup>++</sup>	Ba = Ba <sup>++</sup> + 2e	-2.90
Ca; Ca <sup>++</sup>	Ca = Ca <sup>++</sup> + 2e	-2.87
Na; Na <sup>+</sup>	Na = Na <sup>+</sup> + 1e	-2.712
Mg; Mg <sup>++</sup>	Mg = Mg <sup>++</sup> + 2e	-2.34
Al; Al <sup>+++</sup>	Al = Al <sup>+++</sup> + 3e	-1.67
Mn; Mn <sup>++</sup>	Mn = Mn <sup>++</sup> + 2e	-1.05
Zn; Zn <sup>++</sup>	Zn = Zn <sup>++</sup> + 2e	-0.761
Cr; Cr <sup>+++</sup>	Cr = Cr <sup>+++</sup> + 3e	-0.71
Fe; Fe <sup>++</sup>	Fe = Fe <sup>++</sup> + 2e	-0.441
Cd; Cd <sup>++</sup>	Cd = Cd <sup>++</sup> + 2e	-0.402
Co; Co <sup>++</sup>	Co = Co <sup>++</sup> + 2e	-0.283
Ni; Ni <sup>++</sup>	Ni = Ni <sup>++</sup> + 2e	-0.236
Sn; Sn <sup>++</sup>	Sn = Sn <sup>++</sup> + 2e	-0.140
Pb; Pb <sup>++</sup>	Pb = Pb <sup>++</sup> + 2e	-0.126
Fe; Fe <sup>+++</sup>	Fe = Fe <sup>+++</sup> + 3e	-0.036
Pt; H <sub>2</sub> ; H <sup>+</sup>	1/2 H <sub>2</sub> = H <sup>+</sup> + 1e	‡ 0.000
Pt; Ti <sup>3+</sup> ; Ti <sup>4+</sup>	Ti <sup>3+</sup> = Ti <sup>4+</sup> + 1e	+ 0.040
Ag; AgBr; Br <sup>-</sup>	Ag + Br <sup>-</sup> = AgBr + 1e	+ 0.073
Pt; Sn <sup>2+</sup> ; Sn <sup>4+</sup>	Sn <sup>2+</sup> = Sn <sup>4+</sup> + 2e	+ 0.150
Pt; Cu <sup>+</sup> ; Cu <sup>++</sup>	Cu <sup>+</sup> = Cu <sup>++</sup> + 1e	+ 0.167
Ag; AgCl; Cl <sup>-</sup>	Ag + Cl <sup>-</sup> = AgCl + 1e	+ 0.222
Calomel saturado	Hg + Cl <sup>-</sup> = 1/2 Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> + 1e	+ 0.242
Calomel normal(1N)	Idem. Idem.	+ 0.280
Calomel 0.1 N	Idem. Idem.	+ 0.334
Cu; Cu <sup>++</sup>	Cu = Cu <sup>++</sup> + 2e	+ 0.340
Pt; Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-4</sup> ; Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-3</sup>	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-4</sup> = Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-3</sup> + 1e	+ 0.356
Pt; I <sub>2</sub> ; I <sup>-</sup>	I <sup>-</sup> = 1/2 I <sub>2</sub> + 1e	..... + 0.536
Pt; Fe <sup>2+</sup> ; Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup> = Fe <sup>3+</sup> + 1e	+ 0.771
Ag; Ag <sup>+</sup>	Ag = Ag <sup>+</sup> + 1e	+ 0.799
Hg; Hg <sub>2</sub> <sup>++</sup> ; Hg <sup>++</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>++</sup> = 2Hg <sup>++</sup> + 2e	+ 0.906
Pt; Ce <sup>3+</sup> ; Ce <sup>4+</sup>	Ce <sup>3+</sup> = Ce <sup>4+</sup> + 1 e	+ 1.610

te.

Las capas del óxido formadas sobre la superficie se denominan "películas" cuando su espesor es menor a 3000 Angstroms, y se dice que son "cascarillas" cuando su espesor es mayor que ese valor.

Debido a que las películas son tan delgadas, se puede despreciar su efecto destructor sobre la mayoría de las piezas metálicas, si bien en ciertas condiciones de desgaste, la velocidad a la cuál se pierde el metal se ve aumentada por eliminación de la delgada película protectora por abrasión.

Las capas gruesas de óxido las podemos clasificar en:

a.- Protectoras

b.- No protectoras

Son protectoras cuando su volumen formado es por lo menos igual al volumen del metal a partir del cuál se forma. Este tipo se observa en los metales como el cobre, el níquel, hierro y aluminio.

Los no protectores se caracterizan porque el volumen de óxido formado es inferior al volumen del metal que lo origina.

La cascarilla formada no es uniforme y por lo tanto permite el paso del oxígeno a la superficie metálica. Este fenómeno se observa en los metales alcalino y alcalino térreos.

La velocidad de la corrosión en los metales queda determinada por la formación de la capa de óxido en lo que respecta a su espesor.

La velocidad de corrosión en los metales que forma capas de óxido no protectoras queda representada por:

$$1.- y = k_1 t + A_1$$

y = Velocidad de la corrosión (espesor de la película)

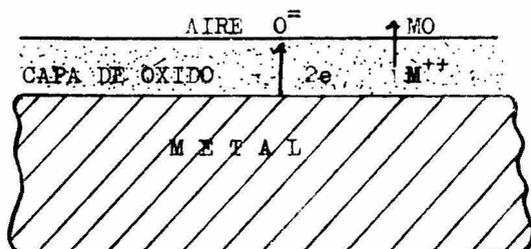
$k_1$  = Coeficiente de difusión

$A_1$  = Constante que depende de la temperatura

$t$  = Tiempo de exposición.

Cuando sobre la superficie metálica se forma una capa protectora, la difusión debe verificarse a través de dicha capa para que pueda continuar el crecimiento de la misma.

Esto lo podemos ilustrar mediante el dibujo siguiente en donde consideramos una parte metálica, la capa de óxido formada y el posible flujo iónico:



### MECANISMO

El metal se ioniza en la superficie metal-óxido y entonces - el ión metálico  $M^{++}$  y los electrones se difunden a través de la capa de óxido hacia la superficie libre. En éste lugar los electrones contribuyen a formar el ión oxígeno, mismo que reacciona con las proximidades de la superficie con el ión metálico para formar óxido metálico (M)(O).

Para el caso en donde se forma una capa protectora, la velocidad de oxidación queda expresada por la siguiente expresión-parabólica:

$$2.- y^2 = k_2 t + A_2$$

$y$  = Velocidad de la corrosión

$k_2$  = Coeficiente de difusión

$A_2$  = Constante que depende de la temperatura

$t$  = Tiempo de exposición.

Las expresiones lineales y parabólicas se observan experi --

mentalmente en muchos casos.

Resulta complejo decir que las velocidades de corrosión para el tipo de oxidación quedan totalmente determinadas por las expresiones anteriores, ya que algunos metales con óxidos protectores poseen velocidades de reacción que disminuyen con más rapidéz que las predichas anteriormente. Por ejemplo: la capa de óxido de aluminio en ciertas condiciones alcanza un espesor constante con el tiempo obedeciendo a la ley asintótica.

En otros casos como en la oxidación del hierro ó níquel a moderadas temperaturas, se observa que la velocidad de oxidación queda determinada por la siguiente expresión logarítmica:

$$3.- y^3 = (k_3 \log(A_3 t + C))^3 \quad \text{ó sea:}$$
$$y = k_3 \log(A_3 t + C)$$

$A_3, C$  son constantes que dependen de la temperatura.

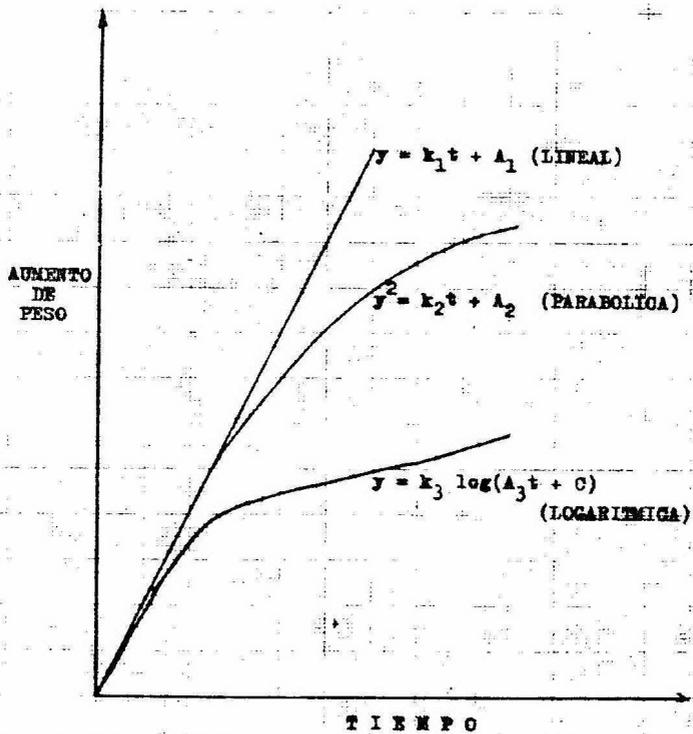
Algunos investigadores como Mott han encontrado que bajo ciertas condiciones los metales se oxidan con una velocidad que sigue a una expresión cúbica:  $y^3 = k_4 t$ .

Puede suceder que el crecimiento de la capa depende de éstas tres leyes en forma combinada.

En la corrosión existen infinidad de incógnitas múltiples y bastantes factores numerosos más o menos independientes entre sí, razón por la cuál resulta muy dificultoso desarrollar una única expresión para representar la velocidad de la corrosión. (ver gráficas en la j.)

Los factores que intervienen en los fenómenos de la corrosión los podemos clasificar en tres grupos:

- 1.- Factores que dependen del metal ó composición química, - tratamientos térmicos y mecánicos, tensiones internas etc



REPRESENTACION GRAFICA DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO DE LAS PELICULAS FORMADAS POR OXIDACION.

y mecánicos , tensiones internas etc.

2.- Factores que dependen de las condiciones de servicio ó forma de limpieza, estado de la superficie, condiciones de exposición en el medio de ataque, cargas ó esfuerzos aplicados, contactos con otros metales ó aleaciones etc.

3.- Factros que dependen del medio ambiente: de un líquido, concentración, temperatura, pH, agitación etc.

La velocidad de corrosión en los metales se determina en la práctica por la observación de la variación del peso, método largo y complicado, resultando más cómodo hacer determinaciones de variaciones de potencial.

El estudio que hemos realizado mediante la consideración de los tre tipos básicos de corrosión puede considerarse como suficientemente tratado para el buen desarrollo de nuestro programa de mantenimiento industrial. Antes de abordar nuestro próximo tema es importante hacer mención de otros tipos de corrosión con el objeto de que posteriormente comprendamos su utilidad.

#### CORROSIÓN POR PICADO

La acción no uniforme sino localizada es la característica de éste tipo de corrosión. La aceleración puede causar por la acción electrolítica ó galvánica, por efecto de una película o por efecto de las pilas de corrosión, atribuibles a heterogeneidades en el metal, tales como inclusiones, impurezas metálicas o defectos mecánicos.

La generación de esas acciones se debe a las heterogeneidades del metal y siempre existe un defecto en la cantidad de oxígeno en el área afectada debido a la acción de pantalla de los depósitos extraños o de los defectos mecánicos. Ciertos -

factores adicionales, tal como el cambio localizado del estado pasivo al activo después de iniciada la corrosión, puede acelerar la acción. Los agujeros aislados y profundos son difíciles de eliminar y si bien se consigue disminuirlo mejorando la homogeneidad del material y el medio corrosivo. También se puede producir la corrosión localizada por el golpeo de las burbujas de gas contra la superficie metálica como consecuencia de la turbulencia ó de los cambios de solubilidad. Esta es una de las formas más destructivas de la corrosión y más difícil de evitar.

#### CORROSION BAJO ESCALAS O ESCORIA DE LAMINACION

Es muy frecuente encontrar escamas o escoria de laminación en los metales principalmente en el fierro. Estas escamas son una forma de óxido de fierro que se produce durante el proceso de la fabricación de acero.

Aunque forma una película muy dura, con buena adherencia a la superficie de acero, es frágil y propensa al agrietamiento y astillamiento. Sin embargo, lo peor es que las escamas de lámina son catódicas respecto al acero, lo que acelera la corrosión galvánica cuando a consecuencia de una grieta queda expuesta la superficie de acero base adherente.

#### CORROSION POR TENSIONES

Es un tipo de corrosión acelerada; se presenta cuando se expone un metal forzado a la acción de un agente corrosivo.

Es peligroso debido a que no se manifiesta previamente como en los casos anteriores. Se produce en el acero inoxidable y aleaciones de Zn, Mg y Al. La acumulación de tensiones se puede producir por un intenso trabajo en frío ó por la concentración irregular de éstos después de la soldadura autógena.

produce roturas con agrietamiento en que el ataque sería - grave si el metal estuviera libre de tendencia de tensiones. Para que se lleve a cabo es necesario que existan dos átomos diferentes en el mismo retículo, y por consiguiente, ningún me- tal puro está sujeto a este fenómeno. Este tipo de corrosión es una especie de corrosión electroquímica.

Los materiales metálicos, además de corroerse en la atmósfera y sumergidos en líquidos, se corroen también enterrados en el suelo. Cada suelo ha de ser previamente estudiado para deter- minar el tipo de concentración de sustancias corrosivas y a la vez para determinar el tipo de corrosión adecuada para - poderla evitar por medio de una protección correcta.

Las pérdidas por ésta causa son enormes principalmente en co- municaciones, en el transporte de gas y líquidos. En éste caso también es esencial la presencia de humedad, oxígeno y que - el suelo presente propiedades electrolíticas para que se ve- rifique la corrosión.

Cuand tubos o estructuras se encuentran enterradas en condi- ciones anaerobias, por ejemplo en arcilla fuerte, la co- rrosión del metal se puede producir por existir sulfatos y bacteria reductoras de éstos. Los efectos de éste tipo de co- rrosión son mucho más patentes en los productos siderúrgicos debido a la gran cantidad de materiales que se entierran, tan- bién lo sufren los metales y aleaciones no-férreas. El meca- nismo de la corrosión varía debido a que algunos metales son incapaces de actuar como dadores de hidrógeno a las bacteri- as acelerándose la corrosión únicamente por la producción de bisulfato.

#### CONCLUSIONES

- 1.- Para que se verifique una rápida corrosión en un metal - es condición necesaria que exista: AGUA, IONES y OXIGENO.
- 2.- La atmósfera, excepto en zonas desérticas, contiene hume - dad. El vapor de agua ó pequeñas gotas a veces invisibles fácilmente llegan o se encuentran sobre la superficie de un metal.
- 3.- Los iones pueden originarse por los minerales, sales ó ma - teriales alcalinos al disolverse en la humedad existente. Las fuentes que proporcionan los minerales y demás pue - den ser los humos industriales, brisa salina, localidades - marinas, salpicaduras y derrames, contaminación de suelos, etc.
- 4.- El oxígeno que interviene en la corrosión se encuentra - generalmente en la atmósfera.
- 5.- Una mayor cantidad de iones implica una mayor cantidad - de corrosión en los metales, debido a la gran cantidad de corriente eléctrica generada.
- 6.- Un tipo de corrosión de gran importancia industrial es - el originado por sustancias fuertemente ácidas sobre los metales. El fenómeno consiste en que se produce una vigo - rosa reacción que disuelve el metal en el ánodo y trans - forma el ión hidrógeno en burbujas de hidrógeno molecu - lar en el cátodo. Esta reacción es muy enérgica y conti - nuará hasta que se consuma todo el metal disponible ó se gaste todo el ácido disponible. El metal disuelto no for - ma herrumbre al principio pero permanece disuelto en el - electrolito ácido en forma de sal de fierro mientras - exista un exceso de humedad y ácido. Cuando todo el ácido disponible se ha consumido y se evapora un poco de la -

humedad, se forma una buena cantidad de óxido que se deposita sobre las áreas corroídas de la superficie metálica.

7.- La corrosión galvánica es una de las más nocivas. Se presenta con frecuencia cuando dos o más metales diferentes se encuentran conectados eléctricamente y en tales condiciones se permite la formación de una pila de corrosión.

8.- Un metal se corroerá de preferencia dependiendo del lugar que ocupe en la serie electromotriz, siendo la corrosión con mayor tendencia en los metales que se encuentran en los primeros lugares de la tabla de la serie electromotriz.

Podemos observar que los principios de la corrosión galvánica los podemos usar con cierta ventaja en la protección catódica de superficies, usando ánodos de sacrificio ó recubrimientos inorgánicos de superficie.

## CAPITULO 4

### MÉTODOS PARA CONTROLAR LA CORROSION

Conocidas las causas que favorecen a la corrosión y la forma en determinar su avance, será más factible establecer un orden de prevención.

Son varios los métodos que se conocen actualmente para la prevención corrosiva siendo los mas comunes los siguientes:

- 1.- SOBREDISEÑO DE ESTRUCTURAS
- 2.- USO DE MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSION .
- 3.- MODIFICACION DEL MEDIO AMBIENTE
- 4.- PROTECCION ELECTROQUIMICA
- 5.- RECUBRIMIENTOS

En una planta industrial se presentan diversos tipos de corrosión, razón por la cuál no existe un sólo método que pueda considerarse como universal. Cada situación debe basarse en un estudio individual tomando en cuenta factores tales como tiempo de suspensión de labores, posibilidad de que el equipo resulte anticuado, temperaturas, ciclos de operación, apariencia, medio ambiente etc.

A menudo esta selección debe hacerse al tiempo de diseño de

una planta, por lo que se sugiere consultar con un ingeniero en corrosión, ya que de no seguir ésta práctica pueden encontrarse los profesionales y arquitectos haber dejado de aprovechar medios económicos para el control de la corrosión.

#### SOBRE DISEÑO DE ESTRUCTURAS

En éste método, se trata de combatir al efecto corrosivo por medio del uso de piezas estructurales más pesadas y láminas gruesas. El factor de seguridad excesivo en este caso, implica un derroche económico injustificado. Frecuentemente se especifican por simple hábito láminas excesivamente gruesas, cuando pueden ser mucho más delgadas y ligeras si se evitara la corrosión.

El principal inconveniente de usar estructuras reforzadas, con un margen para la corrosión, es que no se puede calcular con exactitud la duración del metal ni el costo de reposición del equipo corroído. Este método no es aconsejable en la mayoría de los casos, salvo en raras situaciones bien justificadas.

#### USO DE MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSION

En todos los casos se dispone de algún metal o aleación que sea inmune a la corrosión. Sin embargo habrá que considerar el factor económico, ya que únicamente cuando las condiciones especiales se justifiquen, se podrán emplear materiales más costosos.

Debido principalmente a su precio y cualidades estructurales el hierro y el acero son los metales que más se usan en las construcciones industriales, pero estos materiales tienen gran tendencia a corroerse con mayor rapidéz que otros materiales. Causa que obliga en algunos casos a usar aleaciones -

para retardar el proceso de la corrosión.

Una causa externa puede ser cuando existan altas temperaturas junto con sustancias químicas muy corrosivas.

Entre las aleaciones más usadas tenemos: hierro-cromo, hierro-cobre, hierro-níquel, hierro-molibdeno.

Otros metales comunmente usados son: aluminio, titanio y tantalio, cuando las condiciones son muy severas.

Actualmente se disponen de materiales plásticos tales como los termoplásticos (polietileno, cloruro de polivinilo, etc.).

Otros como los termofijos o bien los poliésteres reforzados con fibra de vidrio.

#### MODIFICACION DEL MEDIO AMBIENTE

En este método se controlan las descargas fortuitas de vapores corrosivos, o la adición de inhibidores a los líquidos de un sistema cerrado.

El uso de inhibidores químicos se limita generalmente al abastecimiento de agua, a los sistemas de circulación de agua a las tuberías de vapor y condensados y a los sistemas de salmueras.

Como se trata esencialmente de soluciones, su uso en el campo de conservación o mantenimiento está perfectamente definido. Debe tenerse cuidado en la selección de las cantidades y clase de sustancias químicas. Un inhibidor inadecuado puede a veces acelerar la corrosión en lugar de impedirla o retardarla. Sin embargo si se usan adecuadamente, constituyen una solución sencilla y relativamente barata del problema.

Algunas formas de modificar los medios ambientes:

a.- Forma de controlar el pH en un medio ambiente determinado.

Por el efecto tan marcado que tiene la acidéz del medio corrosivo, en muchos casos será posible modificar el pH del mismo por adición de sustancias alcalinas.

Esto se consigue inyectando amoniaco, ó bién por adición de sosa de tal manera que cese la corrosión, apróximadamente entre  $\text{pH} = 7$  ó  $\text{pH} = 8$ .

b.- Eliminación del oxígeno

Puede ser eliminado por el uso de reactivos que lo consuman tales como la hidrazina, bisulfito de sodio, etc.

c.- Eliminación de sales

Puesto que las sales tienen un marcado efecto corrosivo pueden ser eliminadas por un tratamiento adecuado, tal como se efectua en las plantas desaladoras, ó por el empleo de aditivos que precipitan el agua emulsionada que contiene las sales.

d.- Eliminación de la humedad

El agua como vimos anteriormente, es un factor en los fenómenos de la corrosión evidentemente su eliminación se refleja en el proceso corrosivo. Este procedimiento se aplica entre otros a la deshidratación de los gases antes de ser bombeados por los gaseoductos y puede estar basado en la absorción de la humedad por medio de etilenglicol ó bauxita.

Usando aminas, puede disminuirse la corrosividad del ácido sulfúrico y otros factores más pueden ser eliminados del medio ambiente para disminuir el efecto de la corrosión.

e.- Protección electroquímica

La corrosión galvánica se obtiene cuando dos metales pue

den acoplarse. Si bien lo que más nos interesa frecuentemente es disminuir la corrosión del metal activo siendo posible obtener una ventaja del hecho de que el metal activo en menor magnitud (menos activo) que actúa como cátodo queda protegido mientras que el ánodo se corroe. Acoplando deliberadamente a dos metales diferentes, podemos evitar la corrosión del menos activo (cátodo) a expensas del otro metal.

Por lo tanto para proteger una superficie de acero, debemos escoger un metal más activo tal como el Mg ó el Zn, mismos que se encuentran arriba del acero en la serie galvánica.

Cuando se acopla eléctricamente al acero, y el acero y uno de los metales activos como los mencionados anteriormente, se forma una batería amplificada de corrosión en la que el Mg ó el Zn debido a su mayor actividad constituye al ánodo, siendo el cátodo el acero. El ánodo se corroe y el cátodo se protege.

De la misma manera si se conectan el Zn y el Cu, el Zn se corroerá de preferencia, protegiéndose el Cu. Puesto que el metal atacado constituye el ánodo, el Zn servirá como área anódica, mientras que el Cu el área catódica (metal protegido).

La función de cada uno de ellos de acuerdo con su naturaleza ánodo ó cátodo temporal, será idéntica a la que encontramos en la batería de corrosión, en el caso de enmohecimiento u oxidación del fierro. La intensidad con que desde éste punto de vista reaccionarían dos metales puede medirse por la distancia que hay entre ellos en la serie galvánica. Así por ejemplo; entre el latón y el cobre, el primero acusará solo una débil tendencia a corroerse mientras que el segundo se corroerá rápidamente.

El Zn ó el Mg se disolverán rápidamente si se tratara de pro  
teger a la plata. El Mg se encuentra casi en la cima de la se  
rie electromotriz y tendrá tendencia a corroerse en preferen  
cia a cualquier metal de la serie. De manera inversa, el plati  
no que es extremadamente inerte, nunca se corroerá en preferen  
cia de otro metal.

Por supuesto que para que la corrosión se verifique deben -  
ocurrir las condiciones usuales. No obstante que la tendencia -  
aa corroerse por la distancia que hay en la serie givánica -  
como ya lo indicamos al principio. Asi mismo la tendencia a -  
la corrosión depende de la naturaleza de los metales en con  
tacto ó acoplados, la velocidad a la que ocurre el ataque en -  
el ánodo que se corroe, depende de la relación de áreas ánodo  
y cátodo conectados entre si.

Por ejemplo, si acoplamos un pequeño ánodo de Mg con un área -  
grande de acero, siendo el área anódica muy pequeña comparada  
con la gran área catódica se corroerá rápidamente. Esto se de  
be a que todo el impacto de la corriente galvánica queda con  
centrado sobre un área pequeña de metal activo.

Por el contrario, si el área catódica es pequeña con relaci  
ón a la anódica, la corrosión del ánodo será relativamente -  
lenta, puesto que la demanda sobre el ánodo se distribuye sua  
vemente y ningún punto en particular pierde demasiado metal.  
No debe olvidarse que las áreas que así se comportan son úni  
camente las que están en contacto eléctrico y no las áreas -  
que se encuentran simplemente en contacto físico.

Las áreas que se encuentran en contacto eléctrico serán -  
únicamente aquéllas que están en contacto eléctrico ó sea -  
con un circuito conductor externo (electrolito).

Lo anterior lo podemos ilustrar de la siguiente manera:



Cuando usamos remaches de un metal determinado para unir láminas de otro metal diferente, tendremos un magnífico ejemplo de los posibles efectos de la corrosión galvánica.

Si unimos placas de acero (ánodos) por medio de remaches de cobre (cátodos), se tendrá una lenta corrosión en las placas ya que el efecto galvánico corrosivo se distribuye en una área relativamente grande de acero.

Si por otro lado, se usan placas de cobre (cátodos) y se unen con remaches de acero (ánodos) observaremos una oxidación muy rápida en los remaches. Esto se debe a que la pequeña área de los remaches es atacada por toda la corriente galvánica generada por las placas relativamente grandes de cobre.

La ilustración siguiente nos representa estos ejemplos:



Los mismos resultados pueden lograrse suministrando corriente eléctrica de una fuente externa debidamente al metal que se desee proteger. En éste sistema pueden usarse fuentes de corriente directa, generadores, rectificadores, con acumuladores y pilas secas, con el objeto de evitar la rápida desintegración del ánodo se escoge generalmente un metal inerte.

La mayor aplicación de éste método se encuentra en la protección de equipo marino, tanques de agua caliente, tuberías subterráneas y submarinos.

Lo sencillo de la protección catódica es ciertamente una de sus principales ventajas y su eficiencia en presencia de un buen electrolito es indiscutible. Sin embargo, por lo general, se emplea como complemento al uso de recubrimientos en general.

Consideramos conveniente mencionar un método de protección de la corrosión a base de recubrimientos con metales anódicos. Este resultado se puede conseguir por inmersión en el metal fundido como en el caso de láminas y tuberías estañadas o galvanizadas ó por aplicación sobre el equipo por el proceso conocido como metalización.

#### f.-- Protección por recubrimientos.

Todas las medidas protectoras a que nos hemos referido pueden usarse ventajosamente en diferentes áreas particulares de las plantas industriales comunes y corrientes. Sin embargo, el medio de control de la corrosión que, en virtud de su versatilidad y eficiencia ha logrado la mayor eficiencia y aceptación, es la aplicación de recubrimientos orgánicos e inorgánicos de superficie.

Los recubrimientos al plasmarse sobre una superficie for

man verdaderas barreras de pintura que tienen como función - la protección de las superficies ya sean estas de metal, madera ó concreto. Estas barreras pueden variar desde capas relativamente delgadas aplicadas a manera de pinturas hasta revestimientos de ladrillo de 30 cm. de espesor. Nosotros trataremos únicamente de las primeras.

Cada tipo tiene su propia área de aplicación y muchas polen usarse convenientemente combinadas en mayor ó menor proporción dando origen a los sistemas de protección. Por lo tanto, un "sistema" lo definiremos como la combinación de diferentes recubrimientos sobre una superficie con el objeto de cumplir satisfactoriamente con un trabajo determinado de protección a la corrosión.

Es ésta la razón que nos conduce a realizar un cuidadoso análisis de cualquier problema de la corrosión antes de adoptar una decisión sobre el recubrimiento más apropiado que debe mos de recomendar.

La selección de la película apropiada para una situación dada no es lo único importante sino que igual importancia tiene la preparación de la superficie que se trate de proteger y la técnica de aplicación. Se dispone de una gran variedad de equipos y procedimientos para éste fin, y el resultado final de un recubrimiento dependerá de una acertada decisión y de la marcha apropiada durante la aplicación.

Aparte de éstos métodos, puede la corrosión reducirse si se logran eliminarse los esfuerzos ya que un metal sujeto a un esfuerzo puede considerarse como de naturaleza distinta a la del metal no esforzado y el primero es más susceptible a la corrosión.

Estos esfuerzos pueden eliminarse frecuentemente por un calentamiento a temperaturas cercanas a la fusión, motivo por el cual muchos fabricantes recurren a este procedimiento para mejorar la resistencia a la corrosión.

El pulido de un metal que no ocasione áreas forzadas aumenta la resistencia de los metales a la corrosión ya que produce una superficie libre de grietas y cavidades que favorecen a la formación de celdas locales.

Además la superficie pulida presenta menos puntos de contacto con el medio corrosivo.

## CAPITULO 5

### RECUERILIENTOS ORGANICOS E INORGANICOS DE SUPERFICIE

La historia de los recubrimientos data desde hace muchos siglos, teniendo su consecuencia en los materiales usados por los artistas al desarrollar o crear una imagen sobre una superficie dada, con el fin de conservarla por mucho tiempo.

Es bién sabido que en la historia de la humanidad han existido innumerables artistas que deseosos de impregnar sobre diversas superficies los personajes de una época, de paisajes ó motivos regionales, de ideas imaginativas al presente o futuro, acontecimientos guerreros etc., se vieron en la necesidad de crear las fórmulas y la técnica de la elaboración de las pinturas que cumplieran con éstos fines.

Puesto que los primeros tipos de pinturas fueron perfeccionados por los artistas, la preparación de éstas constituyó en sí mismo un arte durante muchas centurias. No fué sino hasta el siglo XVIII y XIX cuando la pintura surgió como un producto comercial, gracias al desarrollo industrial.

Sin embargo, las sustancias básicas de las pinturas seguían siendo los aceites y resinas naturales usadas tradicionalmente

te por los artistas. Estos materiales tienen algún valor como pinturas protectoras, pero su eficiencia es limitada.

Durante los inicios del siglo XX cuando los desarrollos industriales comenzaron a presentar fuertes demandas de pinturas, los hombres de ciencia se vieron en la necesidad de investigar el arte tradicional de la preparación con el objeto de superarlas.

Durante los últimos 36 años, los científicos han mejorado y revolucionado, materialmente, la manufactura de los recubrimientos de superficie.

Las magníficas propiedades de éstos recubrimientos hacen posible, a menudo, el uso de estructuras de acero ó de otros materiales en ambientes que de no ser por éstos recubrimientos su duración daría mucho que desear.

El uso correcto de estos recubrimientos pueden ahorrar, en realidad muchos millones de pesos anualmente, por concepto de pérdidas por corrosión.

Finalidad de los recubrimientos.- Un recubrimiento controla principalmente la corrosión sirviendo de barrera frente al medio ambiente corrosivo. Sin embargo esto no es tan sencillo como pudiera creerse. Teniendo en cuenta el mecanismo de la corrosión, puede verse que una pintura protectora eficaz debe llenar ciertos requisitos. Si el primer requisito es evitar el ambiente corrosivo, es obvio que el recubrimiento debe ser resistente a la corrosión de dicho ambiente, o sea si va a estar expuesto a soluciones ó humos químicos, debe ser inerte o inatacable por ésta atmósfera. Si va a estar expuesto, principalmente a la intemperie, debe resistir a la acción de la humedad y de la sal.

No basta, sin embargo, que el recubrimiento sea inerte. Debe constituir una barrera que impida que las reacciones de la corrosión continúen a través de la película. Como el proceso de la corrosión depende de circuitos eléctricos como lo observamos al tratar el estudio de la corrosión, otro requisito de una buena barrera es que no sea conductora de la electricidad. La mayor parte de las pinturas no son en realidad conductores eléctricos, pero varían enormemente en cuanto su permeabilidad iónica. Algunas pinturas permiten la difusión de los iones a través de la película con una rapidez cien veces mayor que otras. Esta característica de la permeabilidad iónica es pasada por alto frecuentemente, cuando se considera un recubrimiento protector, pero es de gran importancia.

Una película que permita el paso de los iones, actuará, en cierto grado, como un conductor eléctrico, y la corrosión puede proseguir directamente a través de la película.

Otro requisito es que la película sea impermeable al vapor de agua. Muchos materiales son extremadamente resistentes a las sustancias químicas, y no son afectados, en sí mismo por la humedad, sin embargo pueden permitir aún que pasen cantidades importantes de agua a través de la película. Si ocurre esto, la corrosión puede progresar bajo la pintura aunque aparentemente se conserve intacta.

El oxígeno es otro factor importante en la corrosión y es preciso excluirlo mediante la capa de recubrimiento si se quiere evitar completamente la corrosión por lo tanto, una pintura protectora eficaz debe ser impermeable a dicho elemento. Además, para que el recubrimiento tenga éxito, debe adherirse a la superficie que se trate de proteger, de manera que

no se desprenda.

De aquí que una pintura que se desprenda no ofrece ninguna - protección.

Podemos resumir que una pintura anticorrosiva, para que - sea eficaz debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a.- Resistencia al medio externo
- b.- Impermeabilidad iónica
- c.- Impermeabilidad a la humedad
- d.- Impermeabilidad al oxígeno
- e.- Gran adherencia a la superficie.

En la actualidad no se dispone de un solo recubrimiento que - satisfaga perfectamente todos estos requisitos, pero existen - una gran variedad de éstos que combinados adecuadamente pueden cumplir satisfactoriamente con el trabajo que se les dis- ponga y que cuando se trate de problemas especiales es muy - importante escoger el tipo más adecuado. Los humos y vapores - ácidos, la humedad y las sales presentes en el aire, aumentan - rápidamente a la corrosión.

En tales ambientes, se exige mucho de una película relativa - mente delgada.

Sin embargo es importante que un recubrimiento correctamente - aplicado, puede servir de barrera eficaz y evitar la corrosi- - ón durante un largo período de tiempo.

Composición de los recubrimientos:

La gran variedad de recubrimientos que existen en la actuali - dad tienen propiedades comunes. Se aplican en estado líquido - y forman películas sólidas y continuas, después de aplicadas - a la superficie.

Tienen diversos grados de viscosidad y existen bastantes me-

ción para convertir la pintura de una película húmeda en una completamente seca. Algunas películas son completamente catalizadas ó curadas como comúnmente se les llama en el medio de las pinturas, otras horneadas; algunas secan rápidamente, o bien con cierta lentitud, algunas endurecen y otras no. Sin embargo, toda pintura debe tener el ingrediente esencial capaz de formar una película continua sobre la superficie abierta. Este ingrediente recibe generalmente el nombre de "aglutinante". Es generalmente de naturaleza resinosa y tiene la propiedad no solo de formar una película con cierta adherencia, sino retener también pequeñas partículas de sustancias minerales ó de pigmentos.

Estos pueden estar constituidos a su vez, por otros componentes individuales.

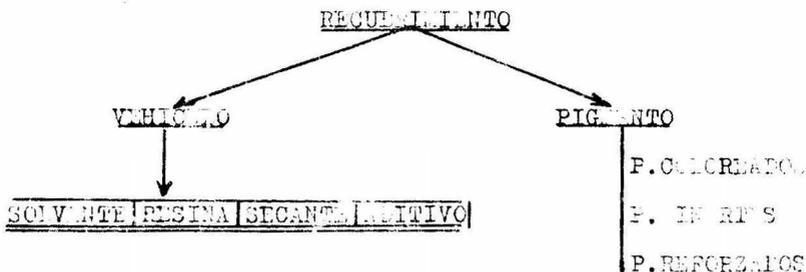
El "aglutinante", que debe encontrarse en estado líquido al aplicar la pintura se denomina "vehículo". El vehículo líquido puede convertirse en el "aglutinante" sólido, por diversos métodos. Un método consiste en disolver el "aglutinante" en disolventes volátiles, los cuáles se evaporarán después de aplicada la pintura y depositarán el "aglutinante" en estado sólido. El material volátil contenido en el "vehículo" se le llama "disolvente" ó "adelgazador".

Otro método consiste en convertir el líquido en sólido, basándose en reacciones químicas, de suerte que el "vehículo" cambie de forma sin pérdida de sustancias volátiles. En otros casos puede haber una combinación de ambos métodos.

Generalizando podemos decir que un "recubrimiento completo" esta formado de las siguientes partes:

1.- Vehículo (solvente, resina, secante y aditivo)

2.- Pigmento(pigmentos coloreados,inertes y reforzados).



De acuerdo con esto, es posible, clasificar los recubrimientos protectores de acuerdo con el tipo ó clase de resina ó "aglutinante" en que se basan .

Los pigmentos incluidos en la pintura tienen su importancia; sin embargo el "aglutinante" es , probablemente, el factor más importante y de él dependen la resistencia a los agentes químicos y a la corrosión del recubrimiento.

Existen una gran variedad de "aglutinantes" siendo los más - comunes los siguientes:

- 1.- Aceite de Linaza
- 2.- Aceite de China
- 3.- Aceite de Soya
- 4.- Aceite de Coco
- 5.- Aceite de Oliticica
- 6.- Aceite de Ricino
- 7.- Aceite de Perilla
- 8.- Aceite de Cártamo
- 9.- Aceite de Chía
- 10.- Aceite de Girasol
- 11.- Resa colofonia
- 12.- Ester Gum

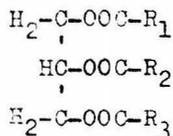
- 13- Coma Taca
- 14- Resinas Fenólicas
- 15- Resinas de Urea formaldehído y Melamina formaldehído.
- 16- Resinas derivadas de la Celulosa
- 17.-Resinas de Cumarona-Indeno
- 18- Resinas Vinílicas
- 19- Resinas Alquidálicas
- 20- Silicones
- 21- Resinas de Hule clorado
- 22- Resinas de Poliuretános e Isocianatos
- 23- Resinas Epóxicas

En forma breve trataremos de resumir las principales caracte\_rísticas de éstos "aglutinantes" con el objeto de comprender su comportamiento ante el efecto nocivo de la corrosión, y e de esta manera comparar los unos con los otros para poder - seleccionar el más adecuado desde el punto de vista cientifi\_co, práctico y económico.

Los "aglutinantes a base de aceites les podemos considerar - de la siguiente manera:

Los aceites son por lo general "ésteres de la glicerina y de varios ácidos grasos, tales como el palmítico, oléico, linolé - ico, linolénico etc."

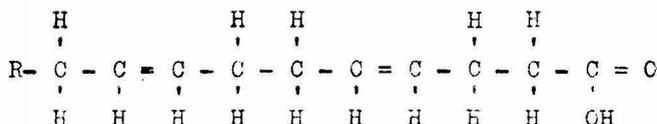
Los aceites para el estudio que pretendemos los podemos ~~resu~~ presentar estructuralmente por la fórmula de los "triglicé - ridos mixtos" ya que son los principales componentes de los\_ aceites secantes naturales:



R<sub>1</sub> = Grupos alquilos mas o menos insaturados

i = 1,2,3 .....etc.

Por otra parte los ácidos grasos(monobásicos saturados e insaturados)tienen una estructura lineal caracterizada por el agrupamiento funcional "carboxilo" que proviene de la oxidación de los aldehídos( -COOH ) y si son insaturados se caracterizan también porque además del grupo funcional "carboxilo" poseen una ó varias dobles ligaduras:



A continuación presentamos la composición de algunos aceites en función de los ácidos grasos contenidos:

ACELITE	SATURADOS (A)	INSATURADOS				
		OLEICO	LINOLEICO	LINOLEICO NICO	OLEO STEARICO	RESINOLEICO
LINAZA	9	19	24	47	---	86
RICINO	2	8	0	3	---	---
PERILLA	8	14	16	63	---	---
CARTAMO	6	32	61	1	---	---
ORTIGONA	17	6	---	---	---	78
PERILLA	8	14	16	63	---	---
CARTAMO	6	32	61	1	---	---
CHINA	5	8	4	3	80	---
SOYA	14	26	52	8	---	---

(A) = Acidos alifáticos monocarboxílicos, C<sub>14</sub> a C<sub>20</sub>, principalmente palmítico C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COOH y esteárico C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COOH.

Acido oléico(Cis-9-Octadecenoico) : C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub> tiene solo un doble enlace.

Acido linoléico(9,12,15-Octadecatrienoico).  $C_{18}H_{30}O_2$  tiene tres dobles enlaces.

Acido linolénico(9,12-Octadecadienoico) :  $C_{18}H_{32}O_2$  tiene dos dobles enlaces.

Acido eleostérico(9,11,13-Octadecatrienoico);  $C_{18}H_{30}O_2$  tiene tres ligaduras, dobles.

Acido Ricinolénico(12-hidroxi-cis-9 octadecenoico):  $C_{18}H_{34}O_2$  tiene un doble enlace.

### RESINAS FENOLICAS

Las resinas fenólicas son procesadas a partir de fenol y formaldehído.

Se usan varios tipos de fenoles de acuerdo a las características deseadas.

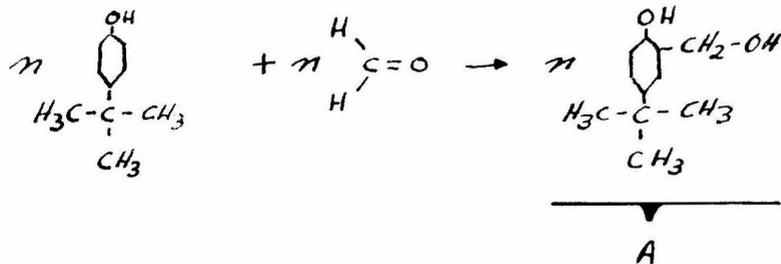
Los fenoles son compuestos que resultan de la sustitución de los hidrógenos del núcleo bencénico por agrupamientos "hidroxilos". El número de "hidroxilos que contenga el núcleo nos indica si son fenoles mono, di, tri, penta ó hexavalentes.

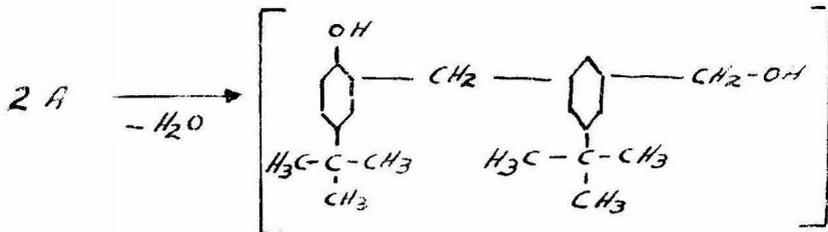
Una resina de éste tipo comunmente usada en la fabricación de recubrimientos es la "polimerización" del metilol fenol.

Se obtiene a partir de un "alquil fenol" y "formol".

Alquil fenol = para terciario butil fenol.

La reacción química propuesta es la siguiente:





El proceso de esta resina consiste en poner en el reactor - agua en la cantidad adecuada y sosa cáustica, se agrega el fe- nol manteniendo la agitación. Una vez agregado se calienta a - 60°C, cuando esté disuelto todo el fenol se agrega lentamente el formol, se saca una muestra y se cuantea el formol libre - que debe ser aproximadamente menor del 1%, después de éste pa- so que dura apróx. 3 horas, se agrega HCl dfl. hasta casi neu- tralización ó bien hasta pH = 5 , se espera a que se separe - la parte resinosa de la acuosa y se decanta, se lava dos ve- ces y se vuelve a decantar.

En éste paso del proceso se forma el metilol fenol que es un material color café claro, muy viscoso y con 30-40% de agua. Este concentrado hay que deshidratarlo y polimerizarlo. Para- lograr lo anterior, en el reactor se calienta a 140 grados C y se aplica vacío, éste vacío arrastra la resina midiéndosele la temperatura de fusión.

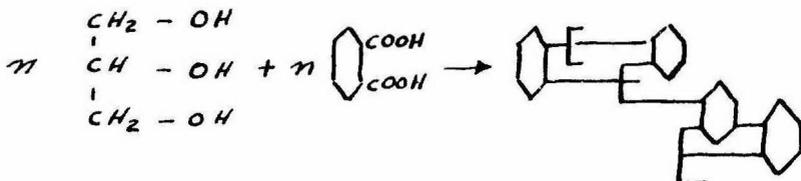
Después de unas tres horas se llega al punto adecuado de fu- sión y se descarga rápidamente la resina en charolas de lám- ina. Esta descarga debe hacerse a lo más en 10 minutos de otra manera la resina polimeriza tanto que se hace inservible.

Para que comprendamos cada uno de éstos procesos basta decir que para cada uno de los diferentes tipos de resinas hay un - proceso adecuado y distinto. Las resinas son las que le dan - las características de secado, adhesión, resistencia al agua y

agentes químicos, durabilidad.

Las resinas se pueden clasificar en "termofijos" ó "termoplásticos", según fundan ó no por el calor. Esta característica esta dada por la "funcionalidad" de los monómeros reaccionantes que forman al polímero ó sea: si la reacción es entre moléculas "bifuncionales" se obtienen polímeros "termoplásticos" de gran cadena sin ramificaciones y de mucho peso molecular que funden con el calor (ejemplo el ácido tereftálico + glicol).

Cuando la reacción se lleva a cabo entre monómeros "trifuncionales ó mayores" se forman moléculas cortas, pero muy ramificadas y de poca movilidad. Su principal característica es la de ser "termofijas" ó sea que no funden al calor (ejemplo la reacción de un polialcohol con un ácido bifuncional).



Los termoplásticos en general secan por la "evaporación de solventes" mientras que los termofijos pueden secar por oxidación, catálisis ó por calor.

Las características principales que le dan a los recubrimientos las resinas "fenólicas" son:

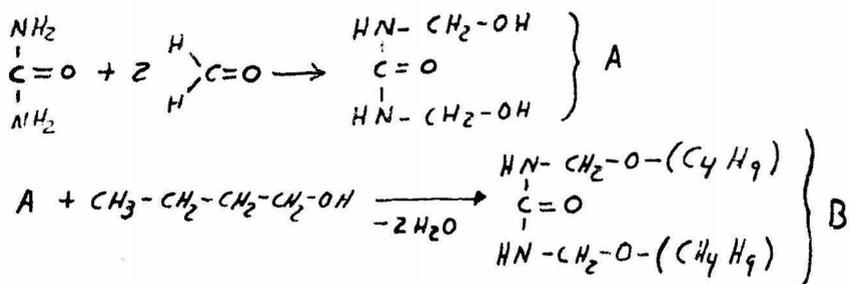
- Resistencia a la humedad
- resistencia a los agentes químicos
- resistencia física.

#### RESINAS UREA FORMALDEHIDO Y MELAMINA FORMALDEHIDO

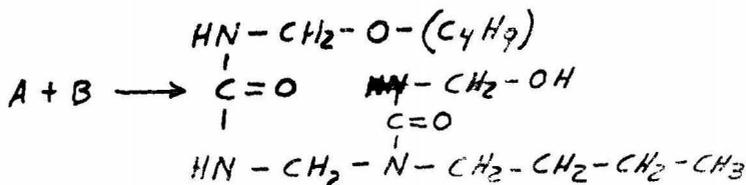
Estas resinas pertenecen a las resinas "amínicas" y son deri

vadas de la "urea ó melamina" cuando reaccionan con el formaldehído modificado con butanol.

Reacción química propuesta para la "urea formaldehído":

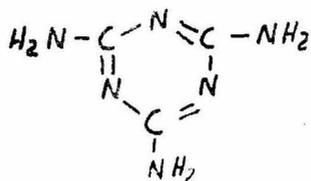


Y el polímero formado es el siguiente:



Reacción química propuesta para la reacción de la "melamina - con el formaldehído".

Es igual que la anterior, únicamente cambiamos la urea por la melamina:



MELAMINA

Este tipo de resinas nunca son usadas solas ya que son demasiado frágiles debido a su rigidez. Se combinan con aceites, resinas alquídicas ó alcídicas, fenólicas etc.

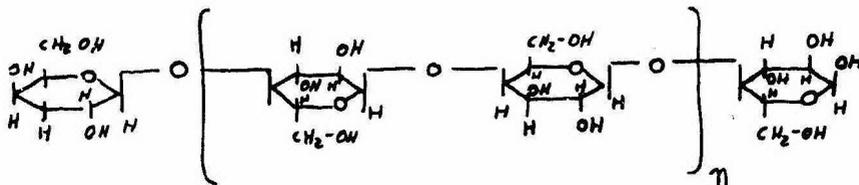
Las principales propiedades que le dan a los recubrimientos:

- Excelente duración a agentes químicos y humedad
- No soportan altas temperaturas
- Resistencia a la humedad

## RESINAS DERIVADAS DE LA CELULOSA

Estas resinas se fabrican partiendo de un polímero natural - que es el principal constituyente de las plantas, la celulosa. Esta tiene una polimerización muy alta, se le calcula un peso molecular de 500,000.

Su representación química es la siguiente:



Los grupos hidroxilos de la celulosa pueden esterificarse -- por varios ácidos y de ese modo se obtienen los derivados de ella, que son solubles, como la nitrocelulosa, acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, etil celulosa etc.

Las principales propiedades que presentan éstas resinas sobre los recubrimientos son:

- Resistencia a la tensión, impacto
- Viabilidad en todos los colores
- Baja adsorción de humedad
- Compatibilidad con otras resinas
- Estabilidad al calor y a la luz
- Aislantes
- Resistencia a ácidos y álcalis
- Bajo costo

## RESINAS DE CUMARONA -INDENO

Este tipo de resinas es usado para la fabricación de recubrimientos antioxidantes. Se obtienen a partir de la destilación fraccionada del alquitrán de hulla de 165 - 175 gradosC, al-

tratar con ácido sulfúrico para retirar las bases piridínicas. Luego se lava con sosa agitando, eliminando el fenol con fenolato por decantación y quedando el alquitrán que es lavado con agua. La fracción ya tratada se destila fraccionadamente obteniéndose el 20 % de "cumarona", 15 % de "indeno", 5 % de "monoestireno" y 60 % de "ciclopentadieno".



CUMARONA 20 %  
(165-175 °C)



INDENO 15 %  
(175-185 °C)

Los hidróxidos policíclicos obscurecen a la resina, por lo que se eliminan de la cumarona, adicionando bromo que rompe las dobles ligaduras y forma el dibromuro de cumarona que se arrastra con vapor de agua y es condensado para formar los cristales de bromo de cumarona que al tratarse con Na-Hg calentando y agitando son eliminados los cristales de bromuro de sodio quedando libre de bromo la cumarona y presentando un aspecto de líquido oleoso incoloro e inodoro.

Las resinas de cumarona - indeno se clasifican en el ramo de las pinturas en "duras", "semiduras" y en "líquidos viscosos". Las "duras" se caracterizan por tener un punto de reblandecimiento mayor a 85 grados C. Se usan como cargas plásticas - prensables.

Las "semiduras" por tener un punto de reblandecimiento mayor de 78.5 grados C y menor de 85. Se usan como relleno en termoplásticas flexibles.

"líquidos viscosos", punto de reblandecimiento menor a 30 grados C. Se usan como plastificantes en termoplásticas ó termo

fijas. Por su claridad se clasifican en : extraclaras(50) ,  
claras(40),pardas(30),oscuras(20) y negras(10).

En el "indeno" sucede lo mismo,pero los hidrógenos del metileno vecinos al juego de dobles ligaduras conjugadas son más activas de ésta manera es posible liberar al indeno de los hidróxidos policíclicos adicionando ácido pícrico,para formar el picrato de indeno en forma de cristales para luego calentar a 110 grados C para eliminar el ácido pícrico y quedar el indeno en forma de un líquido oleoso.

Cuando el indeno y la cumarona son puros se produce un copolímero puro que es una resina clara y mientras menor sea la temperatura más clara será ésta.

#### RESINAS VINILICAS

Estas resinas se presentan en multitud de formas versátiles desde elastómeros pasando por fibras sintéticas,hasta plásticos flexibles y rígidos.

Toda una familia se deriva de este grupo vinílico( $\text{CH}_2 = \text{CH} -$  son resinas que tienen mucho futuro potencial debido a su bajo costo y a la enorme gamma de características que pueden obtenerse de ellas.

Entre los derivados que se originan de estas resinas podemos mencionar a los siguientes:

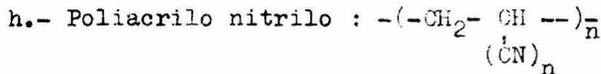
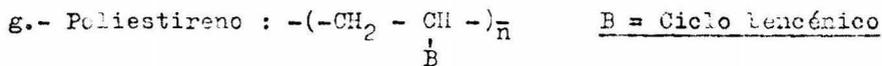
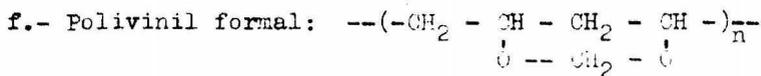
a.- Polietileno :  $-(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n-$

b.- Cloruro de polivinilo ( PVC ) :  $-(\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}})_n-$

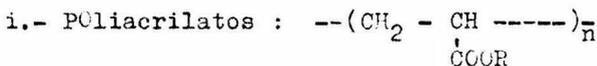
c.- Acetato de polivinilo ( PVA ) :  $-(\text{CH}_2 - \underset{\text{COCH}_3}{\text{CH}})_n-$

d.- Alcohol polivinílico :  $-(\text{CH}_2 - \underset{(\text{OH})}{\text{CH}})_n-$

e.- Polifluoroetileno :  $-(\text{CF}_2 - \text{CF}_2)_n-$



La función nitrilo es R-CN.



Los recubrimientos "vinílicos" están hechos a base de resinas que son co-polímeros del cloruro de vinilo y acetato de vinilo. Se incluye el acetato a fin de dar solubilidad a la resina y aún así, se requieren disolventes muy enérgicos.

Los polímeros de cloruro de vinilo no modificados son casi insolubles. Para un tipo de pintura, se disuelven co-polímeros con un 87 % de cloruro de vinilo y 13 % de acetato de vinilo aproximadamente y se pigmentan y modifican con plastificantes y estabilizadores. Estos recubrimientos son muy durables pues superan a las pinturas alquídicas en conservación de brillo y duración. Secan rápido.

-Se descomponen a temperaturas elevadas por ser termoplásticos. Para servicio permanente, la máxima temperatura segura es de 65 grados C.

Su resistencia al agua es excelente, pueden escogerse para servicios en inmersión. Si se quiere proteger la superficie contra la acción del agua, se recomienda un espesor mínimo de la película seca de 5 milésimas de pulgada. Su resistencia a los ácidos y álcalis es notable.

La película seca por evaporación del disolvente y se redi -

seuelve en cetonas ó en mezclas de disolventes con cetonas.

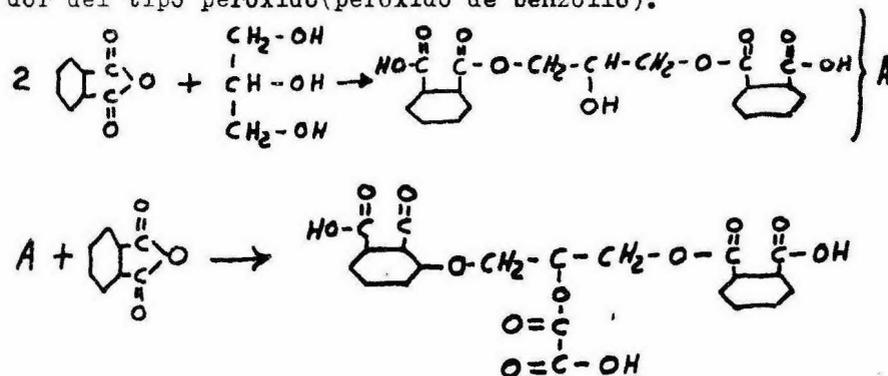
Las películas tienen buena resistencia a la gasnafta, pero se reblanecen por contacto prolongado de disolventes aromáticos, alcoholes y ésteres.

### RESINAS ALQUIDALICAS O ALCIDICAS

También suelen denominarse resinas poliéster.

A pesar de ser bastante antiguas cada día tienen mayor aplicación. Se forma por la reacción de la glicerina, anhídrido ftálico y un aceite. Son llamados también poliésteres saturados.

A las resinas poliéster se les denomina así debido a que tienen mayor reactividad y se usan para hacer encapsulados en electrónica. Normalmente se hacen con ácido maléico, ftálico, ó sebásico y algún glicol como el etilen glicol y dietilen glicol, al usarse se combinan con estireno y algún catalizador del tipo peróxido (peróxido de benzoilo).



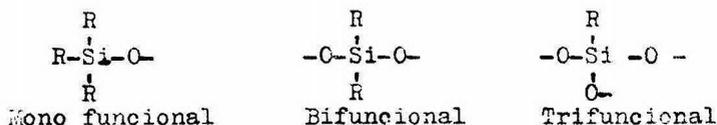
Cuando se calienta se regenera el ácido ftálico. La reacción anterior se sucede hasta que queden agotados los OH en la posición "alfa".

Debido a la regeneración del ácido ftálico debe usarse sobre clases especiales de acero inoxidable. Se usa como adhesivo.

## RESINAS DE SILICONES

Este tipo de resinas es de las más nuevas, son caras tienen sólo una aplicación limitada en materiales que requieren alta temperatura, a 500°C no experimentan ningún cambio en su molécula, a 650 grados C se descomponen dejando un residuo de sílice, su principal falla es su poca resistencia a los solventes aromáticos.

Su forma básica es:



La primera es una fórmula tipo para los aceites usados en lubricación.

La segunda es bifuncional adecuada para los encapsulados electrónicos.

La tercera es la más usada en los recubrimientos.

Entre las principales propiedades que nos interesa tenemos:

- Inercia química
- Resistencia a altas temperaturas
- Impermeables al agua
- Actúan como antiespumantes
- No son tóxicas para la vida animal y vegetal
- Totalmente impermeables a líquidos, vapores ó gases
- Buena flexibilidad
- Resisten a la abrasión.

Entre sus principales desventajas tenemos:

- Alto costo
- Se hidroliza a temperaturas regulares
- Alta tensión superficial

-No resiste solventes aromáticos.

#### RESINAS DE HULE CLORADO

Los recubrimientos de superficie de éste tipo tienen como base resinas que se obtienen por la cloración de hule natural.

Se disponen de dos tipos:

a.- Una solución de resina de hule clorado plastificada con plastificantes clorados.

b.- Una mezcla de hule clorado con resinas alquidálicas ó otros plastificantes saponificables.

Las pinturas de hule clorado tienen tendencia a "calearse" ó enyesarse, aunque a la larga, no es tan buena como la de otras pinturas alquidálicas.

Las pinturas secan rápidamente, como las lacas, y es preferible aplicarlas con pistola de aire.

Su resistencia a los ácidos y álcalis es excelente. Como secan por evaporación del disolvente, pueden con ello volver a disolverse en los mismos disolventes. Su resistencia a los aceites derivados del petróleo, disolventes y alcoholes es regular.

Estas pinturas se disuelven en los hidrocarburos aromáticos, ésteres y cetonas. El hule clorado se ablanda también y plastifica por aceites y grasas vegetales.

#### RESINAS DE POLIURETANO E ISOCIANATOS

Estas resinas cada vez tienen más usos, son aislantes, usadas como esmaltes y se forman por la reacción de un isocianato bloqueado con algún fenol y un alcohol.

Estas resinas son resistentes a la abrasión, excelente resistencia química, buena compatibilidad, excelente resistencia al agua, baja resistencia a temperaturas hasta de 105 grados C.



en los extremos de la cadena y los grupos "oxhidrilo" que se derivan de los radicales epíclorhidrónicos. Estos están muy espaciados por agentes de curado que las hacen termofraguables están suficientemente apartados unos con otros como para dar lugar a la poca cohesión y flexibilidad exigida por las películas de resina curadas. La adherencia extraordinaria de estas resinas está conectada indudablemente con la naturaleza polar de la molécula.

El grupo oxhidrilo fenólico que a menudo es causa de color pobre.

Las pinturas a base de resinas epóxi se hacen reaccionar con ácidos de aceites vegetales con ácidos de aceites vegetales para obtener una resina éster. Las resinas pueden modificarse posteriormente.

Tales resinas contienen grupos hidroxilos, grupos epóxicos, uniones éter, y son derivados de materias primas de la familia de los fenoles.

Los epóxicos modificados caen también, desde el punto de vista químico, dentro de la familia de los ésteres. Por esta razón pueden aplicarse a estas resinas una gran variedad de términos, por lo que es conveniente, a veces, especificar con claridad la naturaleza de la pintura.

Cuando se expone a la intemperie aparece bien pronto el caleo, pero se trata de un efecto enteramente limitado a la superficie. La pintura no pierde brillo, ni se deteriora con la mismísima rapidéz con lo que lo hacen otras pinturas que presentan el mismo efecto de caleo. Mecánicamente la durabilidad de la película es excelente.

Los recubrimientos epóxi-éster secan rápidamente, y pueden -

y pueden aplicarse rápidamente dos manos en el mismo día, siempre que la película no exceda de dos milésimas de pulg. la pintura resiste una temperatura continua hasta de 150°C. Tiene buena resistencia a la humedad y al agua intermitente. Los materiales de tipo epóxi-éster se consideran de grado intermedio en lo concerniente a resistencia a las sustancias químicas, aunque éstas pinturas se han comportado magníficamente en áreas muy difíciles. Son más resistentes a los álcalis que los alquidales y son mejores que la mayoría de las fenólicas modificadas con aceites, pero no iguales a los recubrimientos vinílicos o a las de hule clorado. Su resistencia a los ácidos es buena siempre que el espesor de la película sea el adecuado para proteger la superficie del metal.

En cuanto a la resistencia de los solventes es decir, resistencia a los disolventes, los epóxi-ésteres son similares a los productos alquidálicos. Tienen regular resistencia a los disolventes con aceites derivados del petróleo. Se ablandan con los hidrocarburos aromáticos y se quitan fácilmente con cetonas y disolventes clorados.

EPOXICOS CATALIZADOS.- Un segundo tipo de recubrimiento epóxico es el denominado "epóxico catalizado" que se surte en dos envases. Uno de los envases contiene la resina epóxica y el otro el catalizador ó agente curador. El contenido de los envases se mezcla se mezcla precisamente un momento antes de usarse.

Los agentes para curado pueden ser de muy diversas clases y por consiguiente, los productos pueden diferir gradualmente entre si, sin embargo, sus propiedades características caen dentro de un área general. Las películas finales tienen bue -

nas propiedades generales, incluyendo resistencia al calor, a la humedad, a los ácidos y álcalis, a los disolventes, a la intemperie y a la abrasión. Las películas aplicadas a superficies de diferentes clases resisten bien la exposición a estos productos. Calean ó se enyesan sin mayores inconvenientes.

El factor dominante en relación con su aplicación, es la vida en el envase. Una vez mezclada la base con el catalizador ó agente curante, debe aplicarse el material dentro de las tres ó cuatro horas siguientes, en algunos casos los epóxicos curados con aminas una vez mezclada tiene una vida hasta de 8 ó menos horas. Existen ciertos materiales catalizados con poliámidas, que pueden conservarse hasta 72 horas.

Las películas tienen muy buena resistencia mecánica (a la abrasión, frotamiento etc.) y a temperaturas hasta de 175 grados C.

Estas pinturas no son dañadas por el agua, pero tienen cierta permeabilidad tanto al agua como a su vapor. Su resistencia depende, en parte, del espesor de la película y en parte al efecto del agua en el momento de aplicarse a la superficie de concreto, pero no cuando son aplicadas a superficies de acero.

Las películas catalizadas tienen notable resistencia a los álcalis, aún a temperaturas elevadas. Su resistencia a los ácidos es buena excepto a los ácidos oxidantes y a los ácidos orgánicos concentrados.

Como su resistencia a los disolventes es mejor que la de otras pinturas de secado al aire, resisten a los hidrocarburos aromáticos, alcoholes y ésteres. El contacto prolongado con cetonas ó disolventes las reblandecen.

Por último presentamos otra importante categoría genérica de recubrimientos denominados "inorgánicos de superficie)".

Los recubrimientos inorgánicos de superficie no contienen ni resinas, aceites como en los orgánicos. Por ejemplo los recubrimientos de silicato de Zn, diseñados para proteger superficies de acero sopleteados con arena mediante una sola mano, químicamente curada. Este recubrimiento actúa como barrera entre el ambiente y el acero, y proporciona también cierto grado de protección catódica, debido a su contenido de Zn.

Al aplicar el Zn como recubrimiento a la superficie total del acero presenta dos ventajas principales sobre la conexión de un bloque de Zn a la misma superficie de acero:

- 1.- El recubrimiento de Zn bloquea y aísla el cátodo (acero) del agua, iones y del oxígeno, constituyendo el circuito exterior de la batería de corrosión. De ésta manera, el recubrimiento de Zn además de propiciar protección catódica, ofrece un medio de protección contra el proceso normal de enmohecimiento u oxidación del hierro.
- 2.- Al recubrir el cátodo, reducimos el área catódica desnuda ó descubierta a un mínimo, y disminuimos grandemente la demanda sobre el Zn, prolongando de ésta manera la vida del recubrimiento de Zn.

Este recubrimiento es único en cuanto a su resistencia al agua salada y disolventes orgánicos. Constituye un recubrimiento excepcional para tanques de cúpula flotante y carros tanque de ferrocarril. En algunos casos han durado más de 10 (diez años) en ambos tipos de servicio sin ningún deterioro. Su notable resistencia a la abrasión le permite soportar hasta el continuo frotamiento de las zapatas sobre las que corren las

cúpulas flotantes.

## CAPITULO 6

### COMPARACION DE LOS RECUBRIMIENTOS

Para lograr y facilitar las comparaciones dividiremos los re  
cubrimientos en dos tipos: "oleoresinosos" y "plásticos".

Del estudio de la corrosión encontramos como conclusión que\_  
lo que provoca a la corrosión queda resumido en lo siguiente

#### 1.- Presencia de oxígeno seco.

En éste caso consideramos la ausencia de iones, siendo el  
resultado la oxidación de la superficie metálica pero ex  
tremadamente lenta.

#### 2.- Presencia de oxígeno.

Se considera la presencia de humedad y la ausencia de -  
iones en el medio corrosivo. El resultado es una oxidación  
lenta.

#### 3.- Presencia de oxígeno, iones y agua.

Resultado: rápida oxidación.

De lo anterior podemos concluir que la presencia de iones -  
acelera la corrosión y la ausencia la retarda.

La razón teórica consiste en que los iones constituyen los -  
mejores portadores de la corriente contribuyendo de ésta ma\_

nera al funcionamiento de la pila de corrosión.

Con éstas bases encontramos los siguientes resultados para los dos tipos de recubrimientos, considerando que las pruebas realizadas por ambos son semejantes tanto en cantidad calidad y el mismo tiempo de exposición.

TIPO	RESISTENCIA AL OXIGENO	RESISTENCIA AL AGUA	RESISTEN. A OXIDACIONES IONICAS	ADHERENCIA.
Oleoresinoso De puro aceite Barnices Alquidólicos	REDUCIDA	REDUCIDA	REGULAR CON RA- FIDA - DIS INU.	B
TIPO PLASTICO Vinílicos	BUENA	BUENA	BUENA	B.
Epóxicos Hule clorado				PIRO- CRI- TICA.

B = BUENA

De éstas observaciones deducimos que los mejores resultados pueden obtenerse mediante el uso de recubrimientos de carácter plástico y por lo tanto los recubrimientos de éste tipo son mucho más eficaces en la mayoría de los casos en condiciones difíciles.

El tipo "oleoresinoso" debido a la poca resistencia de las pinturas de aceite u oleosas, no podemos esperar mucho poder de aislamiento de los mismos, y no retardan mucho el tiempo de la velocidad de corrosión del metal que cubren. Esta clase de pinturas sufre un defecto muy marcado: son rápidamente atacadas por sustancias cáusticas que se forman como productos secundarios, en el proceso de la corrosión, sustancias que las

convierten en "jabones blandos".

Puesto que los aceites estan compuestos por ésteres de la glicerina (combinación de los ácidos orgánicos de peso molecular elevado, tales como el palmítico, esteárico, oleico, etc. con la glicerina) al reaccionar con los álcalis, se prodece la "saponificación" dando origen a la sal correspondiente y a la regeneración de la glicerina. La sal formada se denomina jabón.

Esta reacción de saponificación es idéntica a la usada en la fabricación de jabones con aceites y grasas animales y vegetales. Como consecuencia de ésto las pinturas de aceite pierden su capacidad protectora muy rápidamente. Se vuelven esponjosas y los iones, oxígeno y agua pasan a través de la película cada vez con menos dificultad y la corrosión y formación de orín avanzan rápidamente.

A medida que avanza la destrucción química de la pintura oleosa, se forma a menudo, pequeños poros que dejan expuestos al metal desnudo, el cuál naturalmente se corroe con rapidéz, el enmohecimiento, que avanza rápidamente en un punto desnudo produce picados.

La única ventaja que tienen las pinturas de aceite sobre las plásticas en lo que respecta a protección es la buena adherencia a diferentes clases de superficie, razón por la cuál no se desprenden totalmente, aún cuando se hayan convertido en jabones, y si se observan casualmente, parece que siguen dando protección efectiva. Un deterioro posterior de la película permite la formación de más y mas baterías de corrosión cada una de las cuales produce sustancias cáusticas que atacan la pintura y se repite el ciclo de picamiento.

Los recubrimientos plásticos (vinílicos, epóxicos, etc.) se comportan de manera diferente.

Tienen buena resistencia a los ingredientes de la corrosión y cuando existe una película perfecta, uniforme, sin roturas la corrosión ocurre con extraordinaria lentitud. Los iones pa san con suma lentitud, si es que pasan, y la corrosión bajo la película es lenta.

Las vinílicas y epóxicas también resisten a una gran variedad de sustancias químicas, de suerte que son de mucha utilidad e en las plantas de productos químicos. Tienen la ventaja adicional de ser muy resistentes a la abrasión.

El principal inconveniente de las pinturas vinílicas y epóxicas es su poco poder penetrante y humectante. Estas pinturas requieren de una cuidadosa preparación de la superficie y cierta aspereza de la misma para lograr adherencia duradera. La gran tendencia de las películas de éstas pinturas permite desprenderlas de superficies que no hayan sido preparadas debidamente.

Las pinturas vinílicas dan generalmente los mejores resultados cuando se aplican sobre "primarios" especiales.

En la hoja siguiente presentamos una tabla comparativa de recubrimientos (orgánicos e inorgánicos) expuestos bajo ciertos factores.

Tratamos principalmente a los recubrimientos alquidáticos, de hule clorado, epóxicos, vinílicos e inorgánicos.

De ésta tabla podemos concluir lo siguiente:

- 1.- En atmósferas corrosivas, las pinturas de aceite aplicadas al acero, no retardan mucho la corrosión por lo ya explicado. Al avanzar la corrosión los productos cáusti-

FACTOR	ALQUILICAS	HULE CLO - RADO	EPOXICOS	VINILICOS	INORGANICO.
Resistencia al paso de iones y humedad.	Muy mala	buena	buena	Muy buena	Buena resistencia a la humedad.
Resistencia a los productos originados por corrosión.	No resiste. La película es atacada.	Se pela	Muy buena	Se pela. La película no es atacada.	Breve - no la corrosión.
Sensibilidad a la corrosión. Pérdida de adherencia.	No es sensible.	Muy sensible.	Muy sensible.	Muy sensible.	Sensible
Tipo de falla del recubrimiento en atmósfera corrosiva.	La película falla por degradación a jabón.	Se pela y se amolla.	Ampolla - miento.	Se pela y se amolla.	Ninguna
Resistencia química.	Mala	buena	Muy buena	Muy buena	Pobre
Espesor de película y continuidad	Moderado espesor de película.	Películas delgadas por mano.	Películas gruesas.	Generalmente películas delgadas por mano.	Medianas
Propiedades físicas.	Endurece a la intemperie.	Dura	Tenaz y dura. Algunos tipos quebradizos.	Excelente Tenaz.	Excelente. Dura y tenaz.
Resistencia a la intemperie.	Buena, calea.	Regular buena.	Duradera pero calea y cambia de color.	Muy buena	Excelente.
Resistencia a los solventes	Muy mala	No es buena.	Varía según el tipo.	Resiste - ciertos hidrocarburos. No a los cetonas ni ésteres.	Excelente.
Resistencia a la temperatura.	Mala	Buena pero limitada. 65°C.	Excelente 40-120 grados C.	Limitada. 65-115 g.C.	Excelente. 370 g.C en pasta
Facilidad de aplicación.	Fácil	Requiere cuidado.	Requiere cuidado.	Requiere cuidado.	Requiere cuidado

cos formados atacan y deterioran el cuerpo de la película, - reduciendo su capacidad protectora.

2.- Las pinturas vinílicas y otras pinturas plásticas tienen buena resistencia química. Sin embargo en las grietas las vinílicas se desprenden y deterioran debido a los productos cáusticos resultantes de la reacción corrosiva.

3.- Las pinturas epóxicas resultan ser las más apropiadas para situaciones difíciles y existen formulaciones especiales para cada caso. Una desventaja es el cambio de tono del color debido a las variaciones de la humedad relativa.

4.- Los recubrimientos de hule clorado pueden ser usados con grandes resultados en la protección de los interiores de cisternas ya que resisten la humedad y no son tóxicos.

5.- Los recubrimientos inorgánicos resultan ser de muy alta eficacia .



QUÍMICA

## CAPITULO 7

### PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El "programa de mantenimiento industrial" lo definimos como - el conjunto de conceptos, experiencias que se han acumulado - durante el trabajo, con el objeto de ayudar a resolver los - problemas corrosivos que se presentan en toda industria a - base de recubrimientos de superficie aplicados en forma pla- nificada para lograr una máxima eficiencia, mínimo tiempo de operación, mayor duración y un costo económico menor por año. El acero se oxida, la madera se parte ó se tuerce, los materia- les de construcción se desintegran al absorber agua. Todo es- to causa un costo de protección, pero probablemente sea más - costoso no proteger adecuadamente. Un exceso de recubrimien- to puede ser ó resultar antieconómico.

Cuando se desea cubrir una superficie, el costo inicial por - litro de recubrimiento es sólo un factor. Los principales fac- tores que debemos tomar en cuenta son:

- a.- Costo de preparación de superficie
- b.- Costo de aplicación
- c.- Costo por tiempo perdido.

Con éste programa de "mantenimiento" se pueden eliminar re -  
trasos costosos en la producción de cualquier industria. Se  
pretende reducir costos de mantenimiento a largo plazo hasta  
en un 50% para las estructuras, maquinaria y otros equipos.  
El programa de "mantenimiento industrial para el control de  
la corrosión mediante recubrimientos de superficie" lo hemos  
dividido en cuatro fases importantes:

- 1.- Fase de análisis(analítica)
- 2.- Fase de preparación(superficie)
- 3.- Fase de aplicación
- 4.- Fase de inspección(antes y después)

#### FASE DE ANALISIS:

Consiste en efectuar un análisis de las condiciones de una -  
planta con el objeto en determinar los factores que influyen  
en su medio ambiente y en los recubrimientos.

Los principales problemas ó factores que causan el deterioro  
son:

- a.- Variaciones de la temperatura
- b.- Humedad
- c.- Impacto
- d.- Abrasión
- e.- Corrosión

VARIACIONES DE LA TEMPERATURA.- Todas las superficies expues  
tas a variaciones de tempertura presentan un problema de man  
tenimiento. El calor puede ocasionar la decoloración del re-  
cubrimiento daño mínimo pero de un gran valor estético y en  
el peor de los casos la ampolladura ó quema total del recu -  
brimiento.

Quando las temperaturas son del grado de congelación ó meno-

res, las superficies pueden sufrir daños extremos y por consiguiente los recubrimientos también. Los recubrimientos que se usen para éstas condiciones deben formularse para el caso en que las temperaturas sean altas, a base de resinas epóxi ó bien de silicones ó las inorgánicas. Para el caso de bajas temperaturas, deben formularse para aplicación en frío y generalmente para superficies húmedas. Deberán secar rápidamente y formar una superficie esmaltada dura, durable y fácil de limpiar. Las resinas epóxi dan buenos resultados.

**HUMEDAD .-** Este problema incluye exposición al vapor, humedad condensación e inmersión en agua.

Para las superficies sujetas a los diversos tipos de humedad es esencial que el recubrimiento usado se adhiera firmemente a las superficies húmedas, debe secar normalmente bajo éstas condiciones y repeler la humedad para proteger a la superficie.

Se recomiendan los recubrimientos plásticos.

**IMPACTO.-** Puesto que el concreto es quebradizo por naturaleza pueden romperse ó rajarse por golpes constantes, los resanes no son satisfactorios porque el concreto no se adhiere también así mismo. Este problema de mantenimiento requiere de un acabado especial. Similarmente, las superficies de metal y de madera sujetas a golpes ó impacto, requieren la protección con acabados que sean lo bastante tenaces y flexibles.

**ABRACION.-** Todas las superficies en que exista tránsito continuo y estén expuestas a los daños de la abrasión sufren de la abrasión. En tabique de mampostería es recomendable recubrirlos con materiales de suficiente consistencia para rellenar los poros del bloque ó tabique.

Luego la superficie debe alisarse con objeto de aumentar la apariencia del muro y de esta manera se obtendrá excelente resistencia a la abrasión.

**CORROSION.** - La constante exposición a los elementos, como la lluvia, frío, calor, rayos ultravioleta, desgasta poco a poco a los recubrimientos protectores.

Para que un acabado trabaje efectivamente, éste debe ser lo suficientemente fuerte para resistir a los elementos.

Deberá ser también lo suficientemente flexible para expandirse y contraerse como la propia superficie en la que está aplicado, ó sea que debe tener un coeficiente de dilatación semejante al de la superficie.

Los ácidos y álcalis atacan y destruyen a los recubrimientos convencionales en muy corto tiempo. Los productos químicos deben ser perfectamente identificados para usar el más apropiado sistema de recubrimiento que la superficie a proteger necesite.

#### COSTO DEL RECUBRIMIENTO

El costo del recubrimiento de protección en sí, generalmente no sobre pasa el 25% del costo total en el mantenimiento de protección, sin embargo, la calidad del recubrimiento es factor importante en el costo por m<sup>2</sup> por año, lo cual en mantenimiento es de primordial importancia considerar.

Las decisiones que deben tomarse al comprar el recubrimiento para mantenimiento nunca deben basarse en el "costo por litro". La consideración de importancia es su contenido en sólidos y la propia selección de sólidos (resinas, pigmentos, aceites, etc.).

Este es el único modo para asegurarse que un recubrimiento -

efectivamente resolverá las necesidades de protección.

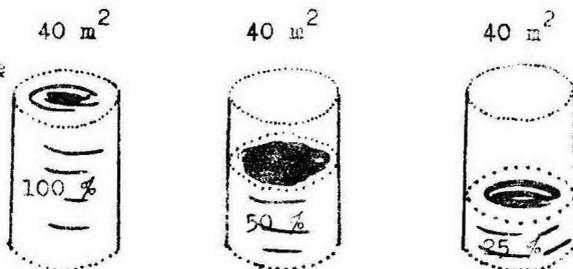
La porción de sólidos en un litro de pintura corresponde a - la película que queda en la superficie una vez que los otros - materiales se evaporan en el proceso de secado.

Teóricamente 1 litro de pintura consiste de 100 % de sólidos y puede cubrir a una superficie de 40 metros cuadrados con - un espesor de película de casi una milésima de pulgada. Esto - es suponiendo que la superficie esté perfectamente limpia, li - sa y no sea porosa, durante su aplicación.

El porcentaje de sólidos por volumen, sin embargo, varía gene - ralmente de acuerdo con el tipo de material.

El poder efectivo de cubrimiento por litro de pintura vará - según los sólidos por volumen. Esto lo podemos apreciar mejor mediante la siguiente figura:

NOTA:  
Milésima de  
pulgada de  
película -  
seca.



1 milésima de pulgada      1/2 mil. de pulg.      1/4 mil. pulg.

Observemos que si se aplica un material que contenga 100% de sólidos a 1 milésima de pulgada de película seca de espesor, encontramos que puede cubrir alrededor de 40 m<sup>2</sup> por litro - cuando esta fresco.

Ya que un material de 100% de sólidos no contiene solventes - que se evaporen, tendremos la misma capa ó película de una mi - lésima de pulgada de espesor cuando haya secado.

Si se usa un material que contenga un 50 % de sólidos, la mi -

tad se evaporará dejando una película de media milésima de pulgada de espesor de película una vez seca. O sea que se obtienen los 40 m<sup>2</sup> de superficie cubierta sólo que con media milésima de espesor de película. O de otra manera se obtendrá un cubrimiento de 20 metros cuadrados por litro de recubrimiento cuando se necesite proporcionar una película de una milésima de pulgada de espesor seco.

En la tercera figura se observa que el material que contiene 25 % de sólidos, el 75 % se evaporará de tal manera que si se necesita una película de una milésima de pulgada, solamente alcanzará a cubrirse una superficie de 10 metros cuadrados por litro de recubrimiento.

El valor protector de un recubrimiento depende de su espesor de película seca. Los sistemas modernos de recubrimientos necesitan no menos de 3 milésimas de espesor de película seca. Existen casos donde necesariamente se necesita aumentar el espesor de película seca, para llenar irregularidades microscópicas de la superficie, tales como las indentaciones causadas por la limpieza con chorro de arena al metal ó por lo menos por un medio altamente corrosivo.

Con el programa de mantenimiento industrial se proporciona información del recubrimiento, tanto en lo referente a l m<sup>2</sup> por litro como en espesor de película húmeda. El espesor de película puede ser medido por medio de un medidor de película húmeda. Existen también varios tipos de medidores para película seca entre ellos se encuentran el micrómetro.

Si con el uso de un medidor de película húmeda se obtiene una lectura de 6 milésimas de pulgada de espesor húmedo se tendrá una película seca de 3 milésimas de pulgada si el pro

ducto contiene 50 % de sólidos por volumen.

El cubrimiento teórico es una estimación que se hace de un recubrimiento considerando el contenido de sólidos por volumen. Al aplicarse un recubrimiento, debe considerarse que existirán pérdidas durante la aplicación, a pesar de la habilidad del aplicador, parte del material se pierde y si se toman también en cuenta las características de la superficie a pintar, tales como la porosidad, irregularidad, etc.

El cubrimiento práctico toma en cuenta esos factores y le indica el número de metros cuadrados en los que un litro de material debe ser extendido para proporcionar el espesor mínimo de la película seca necesario para una completa protección a la corrosión y medio ambiente.

Los cálculos que se pueden hacer al respecto son los siguientes:

#### 1.- RENDIMIENTO TEÓRICO POR LITRO (RT)

El RT se define como la cantidad de metros cuadrados que puede cubrir un litro de recubrimiento a una milésima de película seca dividido entre el espesor recomendado en milésimas de pulgada (ER).

$$RT = R/ER \dots\dots\dots (a)$$

RT = Rendimiento teórico por litro

R = Rendimiento teórico (Cantidad de metros cuadrados que puede cubrir un litro de recubrimiento a una milésima de película seca). Dato dado por el fabricante.

ER = Espesor recomendado en milésimas de pulgada.

Ejemplo; Supongamos que un recubrimiento de 100% de sólidos tiene un R = 40 metros cuadrados y se desea conocer el RT que tendría si el espesor de película recomendado es de 2 mi

lésimas de pulgada.

Solución:

$$RT = X$$

$$R = 40$$

$$ER = 2$$

Por la fórmula (a):  $RT = 40/2 = 20 \text{ m}^2$

**b.- COSTO TEORICO POR METRO CUADRADO POR ESPESOR DE PELICULA (CRT).**

El costo teórico por metro cuadrado por espesor de película se define como la relación que existe entre el costo real (CR por litro de recubrimiento y el rendimiento teórico por litro (RT).

$$CRT = CR / RT \dots\dots\dots(b)$$

Ejemplo: Si el costo real por un litro de recubrimiento es de 18.00 (M.N.) y el  $RT = 20 \text{ m}^2$  entonces el metro cuadrado de recubrimiento con un espesor de película de 2 milésimas tiene un costo de :

$$CRT = 18/20 = \$ 0.90$$

Estos dos cálculos deben ser usados para comparar el costo de otros recubrimientos que cumplan con los requerimientos necesarios para satisfacer eficientemente el trabajo que se les proporcione.

**c.- FACTOR DE DESPERDICIO(f<sub>d</sub>).**

Prácticamente se ha encontrado que existe un factor de desperdicio debido a configuración de la superficie, complejidad de trabajo, experiencia de los aplicadores, salpicaduras del recubrimiento etc., y que pueden variar entre el 10 y 30 %.

**Ejemplo:** si en nuestro ejemplo anterior consideramos el 30 % entonces el costo por metro cuadrado debido al desperdicio es:  $cf_d = CRT \cdot fd = 0.90 \times 0.30 = \$ 0.27$

**d.- COSTO REAL POR METRO CUADRADO POR ESPESOR DE PELICULA ( CRMCEP).**

$$CRMCEP = CRT + cf_d \dots\dots\dots (d)$$

$$CRMCEP = 0.90 + 0.27 = \$ 1.17$$

El RT queda también definido en función del % de sólidos en volumen mediante la siguiente expresión:

$$RT = R \times \% SV/100 \dots\dots\dots (e)$$

**Ejemplo:** Si el  $R = 40 \text{ m}^2$  y el % de Sólidos en Volumen(SV) es de 60% entonces;

$$RT = 40 \times 60/100 = 24 \text{ m}^2$$

**Ejemplo:** Se desea calcular el %SV de un recubrimiento que tiene un valor de  $RT = 40 \text{ m}^2$  y un  $R = 40 \text{ m}^2$ .

$$\%SV = RT \times 100/R = 40 \times 100/40 = 100\%$$

De esta manera podemos elegir el recubrimiento más económico

**FASE DE PREPARACION**

Una vez que los recubrimientos han sido seleccionados ,el paso siguiente es asegurarse que el material tendrá permanente adherencia.El recubrimiento no podrá adherirse firmemente a la superficie si existe algo bajo la capa del recubrimiento que no este firmemente ligado a la superficie por pintar.

La fase de preparación consiste en seleccionar un método de limpieza de la superficie capaz de proporcionar una superficie dispuesta para que el recubrimiento pueda adherirse notablemente.

La preparación de las superficies tiene solamente un propósito: eliminar cualquier interferencia que impida la adherencia de la pintura, tales interferencias como el herrumbre, costras de óxido, escamas de fundición, suciedad, productos químicos, aceites, soldaduras, pinturas anteriores etc., de modo que el recubrimiento pueda cumplir adecuadamente.

Entre los principales métodos usados para la limpieza de superficies tales como el acero, metales varios, concreto y otra superficie tenemos los siguientes:

#### 1.- Para superficies de acero

Puesto que el acero es el metal estructural más usado y es la superficie que se encuentra con mayor frecuencia en medios corrosivos, debemos brindarle una mayor atención. Los principales problemas que se presentan en la superficie de acero son la escoria de laminación, escamas y el óxido que es necesario eliminar.

La escoria, llamada escoria de laminación ó escamas azules es una capa de color azul negro que se forma sobre las láminas durante su fabricación. Generalmente se adhiere firmemente al acero nuevo, pero se afloja con el tiempo, debido a la diferencia de coeficientes de dilatación. Si se aplica un recubrimiento sobre la escoria, lógicamente que ésta se desprenderá al desprenderse la escoria.

Las escamas deben eliminarse también, puesto que ocupan un lugar más abajo de la serie galvánica acelerando la corrosión.

El orín tiene un color variable desde rojo fuerte hasta café oscuro y puede estar suelto o en forma de polvo, duro ó quebradizo, razón por lo que es necesario eliminarlo ya que contribuye a la rotura del recubrimiento y favorece la corrosión ulterior.

Los métodos más usados para eliminar éste tipo de problema son los siguientes:

- a.- Sopleteado con abrasivos(chorro de arena"sandblasting").
- b.- Limpieza con medios químicos
- c.- Limpieza con herramientas de fuerza
- d.- Limpieza con herramientas manuales

#### SOPLATEADO CON ABRASIVOS

Por medio de éste método se consigue una superficie áspera que ayuda a dar mayor adherencia al recubrimiento. Es uno de los métodos ideales, ya que elimina completamente el orín y las escamas dejando una superficie de color gris uniforme, sin manchas negras de óxido o sombras. En la práctica, el grado de limpieza varía considerablemente y depende de la rapidez de la limpieza, cantidad de aire y tipo del abrasivo.

Existen normas de grado de limpieza para superficies de acero para éstos métodos. La Steel Structures Painting Council ha fijado las siguientes:

- a.1.- Sopleteado a metal blanco.- Orín, escamas, pintura vieja ó cualquier otra materia extraña puede eliminarse y debe eliminarse hasta obtener un acabado gris claro uniforme.

Especificación: SSPC-SP-5-52T

Usar arena de 40 mallas

Anclaje: 1.5-2 milésimas de pulgada de profundidad.

a2.- Sopleteado comercial.- Orín,escoria de laminación y cualquier otra materia extraña debe eliminarse,pero no toda la base incrustada y escamas de laminación.Terminado el sopleteado aparecen rayos ó estelas oscuras.

a3.- Chorro de arena brocheado ó limpieza a "ráfaga" .- Impurezas sueltas ó flojas(escoria,óxido)son eliminados no así las escamas de laminación y el óxido firmemente adherido a la superficie.

Especificación: SSPC-SP-7-52F

Rápida pasada de la arena sobre la superficie.

Independientemente de estas normas se usa el mismo equipo y procedimiento.

El equipo incluye al abrasivo(arena,gravilla ó munición), - aire comprimido,mangueras,boquilla y depósitos.

#### PROCEDIMIENTO

El abrasivo se carga en un tanque cerrado 200 a 400 litros de capacidad y se alimenta aire a alta presión en una cámara mezcladora que se encuentra en el fondo.El aire toma una cantidad determinada de abrasivo y lo arrastra a gran velocidad por una manguera unida a la boquilla sopleteadora.La boquilla dirige la corriente de aire cargado de abrasivo sobre la superficie.

El abrasivo influye notablemente en el acabado,dependiendo de su diseño ó perfil ya que si la superficie terminada es demasiado tersa ó pulida,no existirá suficiente anclaje para el recubrimiento.

Si la superficie es muy áspera,pueden resultar puntos agudos del metal sobre el recubrimiento y quedar sin protección.

Entre los abrasivos más usados con sus principales caracte -

rísticas tenemos a los siguientes:

a.1.1.- Abrasivos de arena sílica

Son de bajo costo, fácil de obtener, de mayor uso, sus partículas se pueden obtener de varios tamaños, desde 8 mallas hasta 80 mallas (granos finos).

La arena por lo común no debe ser mayor de 16 mallas ó tenderá a martillear la superficie y no alcanzará las pequeñas depresiones. Los grandes granos no limpian tan rápido como los pequeños, habiendo un límite en los granos pequeños.

Debe usarse arena dura para evitar el polvo, arena sucia y ciertos tipos de arena limpia rompen al chocar con la superficie y producen gran cantidad de polvo. Esto es una desventaja porque entorpece la visión del operario y hay que limpiar el polvo después del sopleteado y la calidad del terminado es inferior.

Se recomienda usar el tipo más eficiente de arena para sopleteado y el más económico, el "pedernal graduado".

a.1.2.- Abrasivos de acero (gravilla).

Son fragmentos angulares, duros con bordes cortantes, de acero ó de hierro vaciado, produce menos polvo, corta más rápido y puede recuperarse para nuevo uso.

Sus desventajas son: mayor costo y deja demasiado áspera la superficie. Un abrasivo grueso corta profundamente la superficie dejando puntos salientes del metal. Al aplicarse el recubrimiento tiende a escurrirse de estas puntas, dejándolas al descubierto, por lo que se requieren varias manos extras para obtener -

una película satisfactoria sobre una superficie semejante. Si éste abrasivo se usa largo tiempo en condiciones de humedad puede llegarse a oxidarse y en lugar de limpiar, contaminará a la superficie.

a.1.3.-Munición de acero ó hierro

Se usa también como abrasivo, pero el sopleteado con municiones es relativamente poco eficaz porque las partículas son redondas y tienden a martillear la materia extraña en la superficie sin quitarla. El sopleteado con arena ó con abrasivo de acero producen por lo general una mejor superficie para aquella futura aplicación de recubrimientos protectores.

A continuación presentamos una tabla de la "steel structures painting council" que indica las profundidades máximas del perfil logrado con los diversos tipos de abrasivos:

ABRASIVO	TAMANO MAXIMO DE LAS PARTICULAS (MILLAS)	PROFUNDIDAD MAXIMA DEL PERFIL (mil. de pulg)
Arena muy fina	80	1.5
Arena fina	40	1.9
Arena mediana	28	2.5
Arena gruesa	18	2.8
Gravilla de acero # G-50	25	3.3
" " # G-40	18	3.6
" " # G-25	16	4.0
" " # G-16	12	8.0
Munición fierro # S-230	18	3.0
" " # S-330	16	4.0
" " S-390	14	3.6

## SUMINISTRO DE AIRE

Para lograr una limpieza apropiada por sopleteado, el suministro de aire y el equipo, son de capital importancia. El aire comprimido debe ser suficiente en cantidad, la manguera y la boquilla del tamaño apropiado.

El aire a alta presión es una cosa imprescindible porque la fuerza de las partículas abrasivas depende de la velocidad del aire en la boquilla. Se recomienda que para obtener los mejores resultados la presión del aire debe ser por lo menos de 100 psi, con un gasto de no menos de 300 ft<sup>3</sup>/min., para una boquilla con un orificio de 9.5 mm.

Con presión más baja, la rapidez de la limpieza disminuye. Si la presión de la boquilla baja a 60 psi, deberá cesar la operación de sopleteado, porque en éste punto el consumo de arena y el gasto serán excesivos. (Lo anterior se refiere a la presión de salida en la boquilla, no en el tanque de la compresora).

Es necesario que la presión se mantenga constante, lo que sólo puede lograrse suministrando un volumen de aire adecuado.

## TAMAÑO DE LA BOQUILLA

Si el tamaño de la boquilla aumenta, debe aumentarse el volumen de aire suministrado a la boquilla para mantener constante la presión, en la boquilla.

Si las boquillas son demasiado grandes ó si la presión o el volumen de aire son muy bajos, será casi imposible desprender las escamas fuertemente adheridas, y el trabajo será muy lento.

El procedimiento usual del sopleteado es usar arena y aire secos; sin embargo a veces se usa el sopleteado mojado ó hume

do, se inyecta agua en la boquilla ó se mezcla con la arena en el depósito. Con éste procedimiento se produce muy poco polvo, pero queda la superficie cubierta de lodo que luego es preciso quitarlo con agua. A veces se agrega ácido fosfórico al agua de lavado para disminuir la oxidación.

No se recomienda el sopleteado húmedo, para preparar superficies para pintar, porque el metal siempre se oxida un poco antes de que se pueda pintar y el ácido fosfórico, deja una superficie con polvo suelto que debe cepillarse antes de aplicar el recubrimiento.

#### EQUIPO

##### a.- Manguera para sopleteado con arena

El volumen de aire inyectado esta en relación con la boquilla por lo que es necesario escoger el tamaño correcto de la manguera si se quiere lograr ésto. Normalmente una manguera de 25.4 mm de diámetro interior es suficiente para una boquilla de 9.5 mm y si la longitud de la manguera es de 15 m ó menos entonces el diámetro de la manguera debe ser de 31.7 mm. Si el diámetro es menor se experimentarán pérdidas de presión en la línea, a menos que se usen boquillas de diámetros menores. Como las mangueras de tal grueso son incómodas para manejar, es conveniente a menudo, adaptar una manguera de 3.9 m y de 19 mm de diámetro, a la manguera principal para colocar en aquella boquilla, lo que permite trabajar con mayor facilidad al operario.

##### b.- Boquillas

Las más comunmente usadas son de 6,3 mm, 8 y 9.5 mm de diámetro interior. Naturalmente cuanto mayor es la boquilla, mayor es el área que puede limpiarse en determinado tiempo. Por lo

común con 100 psi y una boquilla de 9.5 mm se obtiene una velocidad de sopleteado de aproximadamente de 2 1/4 de veces mayor que una de 6.3 mm.

El material de la boquilla de uso más común es el de cerámica, hierro vaciado y el carburo de tungsteno.

Los dos primeros son los más baratos y su uso se limita a 2 horas de continua operación. La tercera resiste hasta 800 hr resultando a la larga las más económicas.

#### c.- Recipientes de arena para el sopleteado

Todos los recipientes de arena para el sopleteado tienen la misma función esencial, que es la de proporcionar una cantidad determinada de abrasivo a una corriente de aire a alta presión.

La diferencia entre los depósitos estriba en su tamaño y número de cámaras. Un depósito para 5 ó 6 sacos es uno que puede contener entre 220 y 270 kg de arena, y es el tamaño que generalmente se encuentra en el servicio de conservación y mantenimiento, sin embargo para trabajos menores se usan depósitos de 65 kg. Estos depósitos se fabrican con una ó dos cámaras; los primeros sirven únicamente para trabajar intermitentemente mientras que los segundos se adaptan a trabajos continuados. Cuando se trabaja con depósitos de una cámara, una vez que se ha agotado el abrasivo contenido en ésta hay que interrumpir el sopleteado para volver a cargar la cámara con nuevo abrasivo.

En los depósitos de dos cámaras, mientras en una cámara, esta alimentando la manguera de sopleteado, un ayudante está lleno es decir, llenando la otra cámara, de tal manera que siempre se encuentra llena ó por lo menos hasta la mitad, y la ope -

ración de sopleteado puede continuar ininterrumpidamente. Esto hace naturalmente, más rápida la operación de limpieza, y aumenta su eficacia al mismo tiempo que disminuye su costo.

Aunque la mayor parte de los depósitos de arena para el sopleteado son puestos en marcha ó parados por un ayudante, es conveniente en ciertas circunstancias, que el operario mismo que maneja la boquilla puede ejecutar ésta operación.

Por lo consiguiente, algunos fabricantes han agregado una válvula operada a control remoto por aire comprimido, colocada en la boquilla, que permita poner al operador en marcha ó parar la máquina aunque se encuentre alejado del depósito, no sólo desde el punto de vista de la economía de arena, sino también el de la seguridad.

#### EQUIPO DE SOPLETEADO

Un equipo adecuado es esencial para un buen trabajo de sopleteado, pero no basta sólo el equipo sino se necesita también una buena técnica.

Proponemos la siguiente técnica a seguir:

- 1.- Regular la cantidad de arena de modo que exista siempre la suficiente para limpiar con rapidéz, pero no tanta que sofoque la corriente de aire.
- 2.- Mantener la boquilla lo suficientemente cerca de la superficie para evitar pérdida de fuerza. La boquilla común y corriente debe mantenerse a 25 cm de la superficie. Algunas boquillas de diseño especial pueden mantenerse a una distancia mayor.
- 3.- Sopletear ordenadamente. Mover la boquilla de atrás hacia adelante y de adelante hacia atrás sobre una pequeña área, hasta dejarla completamente limpia. No se mueva la boquilla a capricho, ni la deje demasiado a los lados.

- 4.- Mover la boquilla lentamente. Un operario experimentado, trabajando con una boquilla de 9.5 mm con equipo apropiado y arena de buena clase, puede limpiar a metal blanco - no más de 15 m<sup>2</sup>/hr, de acero ordinario, en las mejores condiciones. El trabajo no puede apresurarse, en ésta etapa.
- 5.- Terminado el sopleteado, quitar el polvo con brocha ó aspiradora.

Algunos operarios creen que deben quitar solamente las escamas flojas de orín y frecuentemente dicen que las escamas firmemente adheridas están en el acero y que no pueden quitarse, pero si pueden eliminarse y se han de quitar cuando se especifica una limpieza a metal blanco.

La eliminación final del polvo es en extremo importante, si queda polvo, evita que el recubrimiento quede en contacto con el metal y se pierde la adherencia siendo vano el trabajo anterior.

#### LIPIEZA CON MEDIOS QUIMICOS

Esta forma de limpieza se usa comunmente para limpiar objetos que son de tamaño adecuado para ser sumergidos en un tanque de solución ácida y se prefiere al sopleteado con arena, porque se requiere menos trabajo y no se produce polvo. La limpieza con ácidos actúa en dos formas diferentes:

- a.- En un principio, el ácido sirve tanto para disolver las escamas como el óxido. Sin embargo las escamas de laminación no son un material homogéneo, sino que consiste de varias capas químicamente diferentes, cada una de las cuáles reacciona a diferente velocidad con el ácido sulfúrico. La capa exterior no se disuelve fácilmente en el ácido, mientras que las más internas reaccionan vivamente.

Gracias a roturas o grietas de la capa ó costra superficial de la escama, el ácido penetra hasta el fondo, en donde reacciona con las capas internas con el consiguiente desprendimiento de hidrógeno. Esto crea una presión sobre las capas contiguas, llegando a hacer que estallen ó se desprendan. Por consiguiente, además de la disolución de las escamas, estos también son forzados a desprenderse de la superficie de acero.

El acero limpio de escamas y de óxido, tiende a oxidarse rápidamente. Para evitar esto, y a fin de preparar la superficie para la aplicación de recubrimientos, con frecuencia se incluye en éste proceso un baño de ácido fosfórico. Este ácido representa una reacción con el acero y forma una película de fosfato de hierro. Este producto actúa como un inhibidor de la oxidación y constituye una buena base para las pinturas.

TECNICA.- Desengrasar con un disolvente como el xilol.

Si hay depósitos de grasa o aceite sobre la superficie del metal impedirán que el ácido moje y disuelva las escamas de óxido.

Sumerger el objeto en ácido caliente hasta que se disuelvan todas las escamas y el óxido. Un baño apropiado es una solución de ácido sulfúrico al 10 %, y a una temperatura de 80 grados Centígrados.

Enjuagar el objeto con agua caliente.

Sumerger el objeto en una solución de ácido fosfórico al 5 % y a 80 grados Centígrados, para disminuir la rapidéz del enmohecimiento.

Enjuagar con agua caliente y secar.

Para obtener los mejores resultados con la pintura sería con

veniente aplicarla antes que el acero se inicie a oxidar, de preferencia el acero no deberá permanecer sin pintar más de 4 horas.

Este procedimiento ha dado resultados satisfactorios en algunos casos ; sin embargo no es enteramente seguro debido a que las soluciones ácidas puedan contaminarse. Si no se tiene cuidado la contaminación se acumulará en la superficie de los líquidos y se depositará sobre el acero al sacarlo de baño. Por consiguiente , si la adherencia de la pintura ser rigurosa y la exposición muy severa (inmersión continua) no debe considerarse el baño ácido como el método preferido para la preparación de superficies. En tales casos se recomienda mejor el sopleteado con arena.

#### LIMPIEZA CON FLAMA

Este método consiste en pasar rápidamente una flama de soplete de oxiacetilénico sobre la superficie metálica. Sobre la superficie de acero no pintada, el rápido calentamiento origina tanto la dilatación del acero como de las escamas. Como estos materiales poseen diferentes coeficientes de dilatación, tienden a separarse y en consecuencia las escamas de laminación y la presión de vapor de agua sirve también para forzar la escama a desprenderse de la superficie de acero. Para determinar la operación, es necesario restregar con cepillo de alambre la superficie de acero. Los mejores resultados se obtienen si se aplica el recubrimiento cuando el metal está aún tibio. Aunque la operación, es la misma, el fundamento de la limpieza de superficies pintadas usando la flama es diferente. Con éste procedimiento, la pintura se quema ó se ablanda y luego se quita de la superficie. No ocurre el esta-

lido; sin embargo, el residuo quemado resulta, a menudo, sumamente gomoso y hace la operación de raspado difícil y tedioso.

La limpieza con flama tiene algunos inconvenientes, no siendo el menor de los mismos el peligro de incendio. En primer lugar, la superficie preparada por éste procedimiento es, por lo común, de menor calidad que la obtenida con otros procedimientos. En segundo lugar, el intenso calor torcerá los delgados calibradores metálicos a menos de que se tenga sumo cuidado y por último, el costo tiende a ser excesivo. Bajo buenas condiciones de limpieza con flama cuesta aproximadamente \$12.00 a \$ 14.00 por metro cuadrado.

Teniendo en cuenta todos éstos factores, la limpieza y preparación de las superficies metálicas por el procedimiento de la flama resulta inferior y antieconómico.

En consecuencia, su uso debería quedar limitado a aquellos casos en que los métodos previamente descritos no sean apropiados y donde se disponga de un amplio margen en lo que respecta a impurezas de la superficie por contaminación.

#### LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS DE FUERZA

Las herramientas de fuerza son aquellas que pertenecen generalmente a cualquiera de éstas clases:

- a.- Cepillos rotatorios de acero (eléctricos)
- b.- Esmeriles y lijadoras (eléctricos)
- c.- Herramientas de impacto (neumáticas)

Los cepillos de alambre son los más usados.

Impulsados con energía eléctrica ó aire comprimido, las herramientas de esta clase funcionan mediante un disco giratorio de duras cerdas de alambre aplicado a la superficie

del metal, su acción desprende y desgasta algunas escamas, pero es poco eficaz para escamas firmemente adheridas. Hay también la tendencia a pulir la superficie del metal, por lo que la pintura no tiene la adherencia deseable.

Pueden adaptarse cinceles ó raspadores a herramientas operadas eléctricamente ó con aire comprimido, para obtener un efecto de impacto, que pueden usarse para desmenuzar a costas gruesas de orín. Este método empleado sólo, resultaría muy caro para preparar debidamente grandes superficies; sin embargo puede usarse en combinación con lijado mecánico, para limpiar superficies que no van a estar expuestas a severas condiciones. Cuando se usan herramientas de impacto, debe tenerse cuidado de que la superficie no queda excesivamente escopeleada.

#### LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS MANUALES

Cuando no es posible usar el sopleteado con arena ni se puede disponer de equipo mecánico, está justificado el empleo de herramientas manuales. Si se trata de pequeñas áreas, especialmente si no son muy accesibles, la limpieza a mano es preferible a otros métodos.

Las herramientas manuales comunmente usadas son: cepillos de alambre, cinceles, martillos especiales etc.

Naturalmente ésta clase de operaciones es lenta, y por consiguiente, no se recomienda para limpiezas de áreas extensas. Además, se puede fácilmente dañar la superficie que se trate de limpiar.

La limpieza a mano se usa generalmente para quitar toda la pintura, orín ó escamas que no están firmemente adheridas. Es casi imposible quitar de ésta manera las escamas sólidamente

fijas.

Las superficies metálicas que tienen que estar expuestas a -  
inmersión constante no deben limpiarse nunca con herramien--  
tas a mano, ni siquiera mecánica. Estos procedimientos deben -  
restringirse a casos en que los objetos pintados van a es -  
tar expuestos solamente a humos ó derrames ó lavados ocasio--  
nales.

Es conveniente también lavar éstas superficies con un solven--  
te apropiado, a fin de eliminar grasas, aceites ó cualquier -  
otro contaminante. Esto debe hacerse antes de proceder a la -  
limpieza con herramientas manuales ó mecánicas.

De éstos cinco métodos, podemos concluir que el sopleteado -  
con arena resulta ser el mejor procedimiento para preparar -  
superficies de acero. Hay casos, sin embargo, en que éste pro--  
cedimiento no resulta práctico ni económico y por lo tanto -  
hay que pensar en otros procedimientos que lo sustituyan.

En estas condiciones, el procedimiento más adecuado dependerá  
de la clase de acabado que se vaya a usar, de la exposición y  
del estado de la superficie. Cada caso debe analizarse par--  
ticularmente.

Algunas recomendaciones al respecto:

Método de prepa-- ración de super-- ficie.	Recubrimientos de tanques. Interior.	Humedad y se-- quedad, alter-- nadas.	Humos y vapo-- res secos.
Sopleteados a - metal blanco.	Ideal	Ideal	Ideal
Sopleteado co - mercial.	Causa dificul-- tades.	Causa difi - cultades.	Regular
Sopleteado a - ráfaga.	Causa dificul-- tades.	Causa difi-- cultades	Regular
Medios químicos	Causa dificul-- tades.	Causa difi-- cultades	Regular
Herra. mecánicas	Causa dificul-- tades.	Causa difi-- cultades.	Regular
Herra. manuales	" "	" " "	Depende de la calidad limpi

## OTROS METALES

El sopleteado de arena es casi siempre el mejor método, pero se recomiendan otros procedimientos sustitutos ó adicionales especiales para ciertos metales por ejemplo:

Hierro vaciado.- Es un metal poroso, y por consiguiente absorbe humedad u otro líquido en el que se encuentre en contacto. Para eliminar los materiales absorbidos por hierro vaciado, debe antes calentarse y luego sopletearlo, lo que puede hacerse colocándolo en un horno durante 8 a 12 hrs hasta 150 grados centígrados, ó calentándolo con soplete hasta que alcance esta temperatura.

Zinc.- Las superficies de Zn limpias, nuevas, ya sean galvanizadas ó metalizadas, deben prepararse mediante un ácido especial como tratamiento para zinc. Esta solución debe formularse especialmente para limpiar y mordentar el Zn, proporcionando así una superficie con cierta rugosidad para la subsecuente aplicación del recubrimiento. Es factible también usar un sustituto como por ejemplo un ligero sopleteado con arena. Si se deja tiempo suficiente para que actúe la intemperie sobre el zinc, no es necesario ningún tratamiento previo a la aplicación del recubrimiento.

Metal nuevo galvanizado.- Es necesario lavar con un disolvente (xilol) para eliminar la grasa y la contaminación química con agua limpia. Puesto que el zinc usado en el proceso de galvanizado llena firmemente los poros del metal, no necesita de un primario con excelente adherencia.

Cobre ó latón.- las superficies de éstos metales deben sopletearse ligeramente con arena para quitarles el óxido y proporcionar superficies rugosas para la mejor adherencia del -

recubrimiento. La grasa puede eliminarse con xilol.

Aluminio.- Todas las superficies de Al deben desengrasarse ya sea en forma manual ó por inmersión.

Para obtener los mejores resultados en ambientes corrosivos es conveniente aplicar un tratamiento del tipo cromato, ó un sustituto aceptable, cuando las condiciones corrosivas no sea severa, por ejemplo un tratamiento fosfatizado.

Cuando no resulta práctico un tratamiento de éste tipo se pueden obtener resultados satisfactorios sopleteando ligeramente la superficie con arena fina.

Detalles estructurales.- La mayor parte de los recubrimientos no quedan bien aplicados sobre esquinas ó hendiduras estrechas. Cuando se aplican sobre las esquinas ó vertices los recubrimientos líquidos se retiran del borde ó pico al secarse, sin importar el cuidado con que se haya hecho la aplicación. Las grietas presentan otro problema debido a la dificultad de hacer que el recubrimiento penetre en las aberturas. Si se quiere proteger adecuadamente algunas estructuras debe eliminarse los bordes ó filos, grietas ó aberturas estrechas, esmerilando las soldaduras rugosas, filos ó bordes agudos hasta dejarlos estrechos y tersos. Las salpicaduras de soldadura deben desprenderse ó allanarse perfectamente con un raspador ó cincel; las costras unidas con puntos de soldadura deben soldarse de nuevo con un cordón continuo. Los bafles deben soldarse por ambos lados, los pernos y remaches deben estar fijos.

Si se quiere una soldadura adicional debe hacerse antes del sopleteado, lo mismo que el esmerilado.

Concreto,.- Las superficies de concreto las podemos clasificar en tres tipos:

- 1.- Colado en formas ó moldes(muros,etc.)
- 2.- Tratados a la llana aplanados(pisos y pasillos etc.)
- 3.- Concreto rociado(gñnrite)

#### CONCRETO COLADO

Es de las superficies más difíciles de preparar adecuadamente, ya que siempre tiene huecos, poros y sitios ásperos, deben alisarse primero con rasqueta, y los hoyos y huecos deben rellensarse con lechada de cemento y finalmente mordentar la superficie con ácido muriático. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a.- Eliminar todas las proyecciones ó asperezas de la superficie para formar una pasta lisa ó superficie, con una rasqueta o llana.
- b.- Mezclar una parte de cemento y dos de arena con agua suficiente para formar una pasta de consistencia de crema.
- c.- Aplicar la mezcla a los poros, hoyos ó grietas, frotando con una tela áspera ó con una llana de madera.
- d.- Quitar el exceso de mezcla de tal manera que se obtenga una superficie limpia y compacta.
- e.- Mantener húmeda la superficie por algunos días para curar el cemento.
- f.- Mordentar la superficie totalmente con una mezcla de una parte de ácido clorhídrico y dos partes de agua.
- g.- Extender la solución con brocha ó rociadora de jardín.  
Mojar perfectamente la superficie. La solución debe burbujear durante 15 ó 30 segundos, tiempo suficientemente para que el concreto quede mordentado.  
Al cesar el burbujeo, el ácido queda neutralizado. Se recomienda que los operarios usen guantes de goma, al aplicar

la solución lavarse inmediatamente con agua si el ácido llega a salpicarlo lavar la superficie con agua. Cepillar durante el lavado para eliminar las sales.

h.- Una superficie debidamente mordentada presenta un aspecto granular y libre de brillo mate .Si quedan algunas áreas lustrosas repetir el tratamiento con el ácido.

i.- Dejar secar la superficie antes de aplicar el recubrimiento.

#### AGUARDOS APLANADOS CON LLANA

Las superficies de concreto aplanadas son, por lo general, más lisa y fáciles de preparar porque es poco probable que tengan bolsas de aire huecos. Lo único que se requiere es mordentar completamente la superficie de brillo y limpiarla de suciedad.

Deben tratarse con una parte de ácido por dos de agua, lavarse y secarse como se indico al tratar el concreto vaciado ó colado. Si después de éste tratamiento todavía queda pulida la superficie ,hay que repetir el tratamiento con ácido. Una superficie debidamente mordentada debe tener un diente característico ó una aspereza ligera perceptible cuando se frota con los dedos.

En algunos casos, los pisos de concreto son tratados con endurecedores a fin de tener una superficie más tersa y compacta La aplicación de recubrimientos sobre concreto endurecido no es recomendable, y debe evitarse si no se han hecho pruebas previas en lo que se respecta a la adherencia .En ocasiones es necesario mordentar un piso endurecido recurriendo al HCl concentrado hasta mordentarlo varias veces si es necesario.

#### CONCRETO ROCIADO (GUNITO)

Estas superficies se obtienen rociando concreto mediante boquilla. Una vez obtenido el espesor deseado, se aplanan con una llana de madera. El acabado es completo y compacto como el del concreto aplanado, puede ser necesario aplanar la superficie con una mezcla de cemento como en el caso del concreto, colado.

#### YESO Y ESTUCO.-

El recubrimiento puede aplicarse directamente al yeso ó estuco siempre que la superficie esté limpia y seca.

Las áreas ásperas deben lijarse, y el polvo ó material suelto debe quitarse. La pintura no debe aplicarse nunca sobre una superficie polvosa. Generalmente debe evitarse el mordentado con ácido porque cierto tipo de yeso se disuelve completamente en el ácido.

#### ASBESTO CEMENTO

Por lo general éste tipo de superficies se trata de láminas, que a pesar de tener un 90 % de cemento, son completamente diferentes de cualquier otro tipo de material de construcción. Este tipo de láminas son más lisas y densas que cualquier otro tipo de superficie y por esto las clasificaremos en tres tipos:

a.- Sin tratar

b.- Tratadas

c.- Glaseadas (polvo fino sobre la superficie)

SIN TRATAR .- Son fáciles de recubrir si están limpias y secas. Desafortunadamente cuando el concreto se está desgastando deja una capa de asbesto que recoge y guarda la suciedad para esto hay que refregar bien la superficie antes de pintar.

TRATADAS.- Consisten en láminas tratadas con cera durante -- el proceso de fabricación. La cera se cae muy pronto una vez que éstas láminas son instaladas y si se pretende pintarlas la pintura no se adhiere correctamente. Para este caso se recomienda recubrirlas hasta después de dos años de haber sido instaladas.

GLASEADAS.- Se recomienda tratarlas con HCl y recubrirlas con caucho sintético.

#### MADERA TERCIAADA (TRIPLAY)

Se recomienda que las superficies de triplay se lijén y se limpien de aceites ó resinas alguna para obtener magníficos resultados, aunque existen algunas clases de recubrimientos que pueden aplicarse directamente.

En interiores es necesario asegurarse que la madera se encuentra limpia y si es necesario rellenar quebraduras, hoyos y en los nudos poner goma laca para prevenir el sangrado. Lijar y la superficie si ésta es brillante. Quitar la pintura mala.

En exteriores quitar el alquitrán de los nudos con aguarrás. Aplicar en los nudos goma laca ó barniz un día ó dos antes de pintar, especialmente si la madera es de pino.

#### METODO ECONOMICO PARA LA FASE DE PREPARACION DE SUPERFICIE

El método que proponemos se basa no precisamente en el costo inicial, sino en un costo de largo plazo y efectividad ya que el costo inicial en muchos casos puede ser no real.

Tenemos por ejemplo los costos comparativos de diferentes métodos de preparación de superficies para un área específica teniendo en cuenta que ésta área será la misma para todos los casos que a continuación presentamos (material, tipo de re

cubrimiento y condiciones de trabajo).

Tomemos por ejemplo el siguiente caso:

METODO DE LIMPIEZA	COSTO INICIAL (PESOS M.)	DURACION DEL RECU BRIMIENTO APLICADO
CHORRO DE ARENA A METAL BLANCO .....	\$ 1,250.00	MAS DE 7 AÑOS
CHORRO DE ARENA COMERCIAL .....	\$ 937.50	ENTRE 5 y 6 AÑOS
CHORRO DE ARENA BROCHEADO .....	\$ 437.50	ENTRE 2 y 4 AÑOS
HERRAMIENTAS MECANICAS .....	\$ 675.00	ENTRE 2 y 4 AÑOS
HERRAMIENTAS MANUALES .....	\$ 675.00	INCERTO

El costo real para un sistema de dos capas de recubrimiento con limpieza de "chorro de arena comercial" por un lado y "chorro de arena brocheado" por el otro, es indudable que después de de 6 años de la aplicación, la superficie limpiada con chorro de arena comercial sólo necesitó una nueva capa final para su mantenimiento, mientras que la superficie limpiada con chorro de arena brocheado necesitó de una limpieza inicial con chorro de arena comercial, un sistema nuevo de recubrimiento.

La significación económica de éste ejemplo es manifiesta, a simple vista pero nosotros le daremos un significado numérico considerando una superficie tratada de  $900 \text{ cm}^2$  (  $1 \text{ ft}^2$  ). Costo para una superficie de  $900 \text{ cm}^2$  totalmente terminada - sin incluir el costo de aplicación del recubrimiento:

Limpieza con chorro de arena comercial .....	\$ 1.50
Recubrimiento(2 capas) .....	\$ 1.65
Costo total .....	\$ 3.15

Mantenimiento durante 6 años .....	\$ 0.765
Costo total durante este tiempo: $3.15 + 0.765 =$	<u>\$ 3.915</u>
Limpieza con chorro de arena brocheado ....	\$ 0.765
Recubrimiento(dos capas) .....	<u>\$ 1.655</u>
Costo total .....	\$ 2.420
Mantenimiento durante 6 años .....	<u>\$ 3.156</u>
Costo total durante este tiempo	\$ 5.576

Ahorro económico usando el primer método:

Por  $900 \text{ cm}^2$  de superficie :  $5.576 - 3.915 =$  \$ 1.661

Para concluir, podemos indicar que es de suma importancia con siderar correctamente el método de limpieza adecuada para ca da superficie a recubrir ,tomando en cuenta el ahorro econó- mico que se obtiene a largo plazo de operación. El costo de la limpieza es determinante al considerar el costo real del recubrimiento.

FASE DE APLICACION

Una vez logradas las dos fases anteriores, es de suma impor - tancia el considerar al recubrimiento seleccionado para de - sempeñar un trabajo dado, incluido en un sistema de protecci- ón con el objeto de obtener mejores resultados en el trabajo que se le ha asignado.

Recordemos que no existe un sólo recubrimiento capaz de re - sistir todos los medios corrosivos que existen en la natura - leza y más aún los provocados por los medios industriales.

Un sistema de protección lo definimos como la "combina -

ción de más de un recubrimiento de tipo diferente aplicados sobre una superficie con el fin de evitar en lo mayormente - posible los ataques destructivos que provoca la corrosión.

Los sistemas generalmente consisten de tres partes:

1.- PRIMARIO

2.- INTERMEDIO

3.- ACABADO

#### PRIMARIO

El primario se denomina a la capa primera del sistema que de be aplicarse a la superficie a recubrir y por lo tanto se - considera como el cimiento en que descansará el sistema completo, de aquí su notable importancia.

Los primarios son recubrimientos especiales que deben poseer cualidades especiales tales como: inhibidores a la corrosión, excelente adherencia a la superficie preparada, proteger efectivamente el sustrato de la corrosión, tener suficiente - flexibilidad y resistencia a los elementos corrosivos a que se enfrenta.

Inhibir la corrosión.- Es una propiedad del recubrimiento - que consiste en la capacidad de sofocar y retardar cualquier reacción de corrosión del hierro expuesto al desnudo en las grietas ó bajo la película continua del primario.

Excelente adherencia a la superficie preparada.- El primario debe tener buena y uniforme adherencia al metal en superficies preparadas, aunque la preparación de las mismas no sea - la ideal, con cierto margen de tolerancia para las impurezas de la superficie, tales como el óxido, escamas, sales etc.

Proteger efectivamente el sustrato de la corrosión.- O sea - que resista al descascaramiento y ampollamiento en las grietas

tas y picaduras.

Tener la suficiente flexibilidad y resistencia a los elementos corrosivos a que se enfrenta.- El primario debe tener resistencia al agua, iones y oxígeno para evitar en lo posible, la corrosión bajo la película, buena resistencia a la humedad y la intemperie a fin de garantizar la protección del metal, aún en el caso de que éste tenga, temporalmente, la mano del primario.

Resistencia general a los agentes químicos, semejante al de las pinturas aplicadas sobre de él, a fin de que todo el sistema no sufra el deterioro si se encuentra expuesto a los ambientes químicos severos.

Entre los primarios se consideran tres categorías:

- 1.- PRIMARIOS CON BASE DE ACEITE (ALQUIDALES)
2. / PRIMARIOS CON BASE DE RESINAS SINTÉTICAS PLÁSTICAS
- 3.- PRIMARIOS INORGÁNICOS

#### PRIMARIOS CON BASE DE ACEITE

Los primarios alquidáticos generalmente son de poco uso debido a su escasa resistencia a los álcalis, las capas de acabados vinílicos ó epóxicos que generalmente se usan no se adhieren debidamente. La adherencia entre primario alquidático y una capa vinílica de superficie es, comúnmente, crítica, y depende de la duración del tiempo de secado que ha tenido el primario desde su aplicación. Si la capa de superficie se aplica demasiado pronto, puede ocurrir el reblandecimiento ó el arrugamiento. En cambio si se deja pasar mucho tiempo después de la aplicación de un primario alquidático, la capa vinílica de superficie no se adhiere ó se adhiere caprichosamente.

Para muchos primario alquidáticos, el tiempo de secado se restringe a 24 ó 48 hrs después de su aplicación. Generalmente el tiempo mínimo de secado que se requiere para evitar el reblandecimiento por los disolventes de la capa de superficie es de un día para otro.

#### PRIMARIOS CON BASE DE RESINAS SINTETICAS PLASTICAS

Los primarios de éste tipo satisfacen con los requisitos anteriormente tratados. Son resistentes al agua, a las sustancias químicas, ofrecen resistencia a los iones y al oxígeno. Las capas vinílicas y epólicas de acabado resisten a las sustancias químicas, se adhieren por lo común, a primarios de resinas sintéticas debidamente formuladas. Sin embargo, la aplicación de primarios plásticos puede ser más crónica (crítica) y la tolerancia en cuanto a la contaminación de la superficie puede ser menor que la permitida con los primarios alquidáticos. Además los primarios a base de plásticos se formulan con disolventes más enérgicos que los usados en los primarios alquidáticos de suerte que el levantamiento de pintura vieja puede ser un problema.

#### PRIMARIOS INORGANICOS

Estos constituidos principalmente con Zn en polvo ó bien con silicato de zinc, han demostrado que son capaces de proporcionar notable protección al acero. Algunos tipos de estos primarios tienen la propiedad de evitar la corrosión aún cuando porciones de superficie no se haya pintado cuidadosamente. Su protección es catódica.

#### INTERMEDIO

La capa intermedia ó capas, tienen varios propósitos. Uno de los más importantes es proporcionar el espesor necesario.

Además de que debe ser formulado para que se adhiera al primario y todavía procure una buena base para la capa final. Los pigmentos usados son del tipo inerte y de los que dan poder cubriente '(en algunos casos, también se usan pigmentos inhibidores de la corrosión).

Esta capa debe ser compatible con el resto del sistema y debe ser complementario a su propia participación en la resistencia necesaria. Generalmente es formulada en un color neutro del sistema completo substancialmente diferente de la capa final. Esto obliga al aplicador a efectuar aplicaciones uniformes y gruesas de la capa final, lo que asegura el adecuado espesor de la película y máxima protección de la superficie. Esto tiene gran importancia para mantenimiento ya que nos sirve de indicador cuando se logra desprender la capa final en pequeñas porciones y de ésta manera poder prevenir un mal mayor.

En algunos sistemas, la capa intermedia no es un acabado especial, pero es la primera de dos aplicaciones de la capa final.

#### ACABADO

El propósito de la capa final, es el de ofrecer protección y decoración.

Para realizarlo se debe tener mucho cuidado en la selección de la capa final la que debe tener una composición adecuada de pigmentos y resinas que logre adherirse sobre las capas anteriores, retención del calor, frío, humedad, impacto, abrasión y corrosión química atmosférica.

Conocida la función y el propósito del sistema trataremos en forma muy sintética los métodos más comunes para aplicar los recubrimientos que en sí es lo que cubre la fase de aplica -

ción, siendo los siguientes los más importantes:

1.- Método de aplicación con brocha

Es de los métodos más caros y más tardados en su aplicación. Sin embargo, en ciertos acabados se les recomienda para obtener la mejor penetración. Las brochas pueden ser de pelo ó de fibras sintéticas como las de nylon. Las medidas más comunes son de 3.5 a 4.5 de pulgada.

2.- Método de aplicación con rodillo

Es uno de los más populares debido a su rapidéz. Su principal desventaja es que no alcanza a cubrir las esquinas y otros lugares como hendiduras, por esto se requiere como auxiliar la brocha.

Si se usa el sistema de doble pasada su aplicación resulta uniforme. No puede ser usado con todos los recubrimientos.

3.- Método de aplicación con pistola

Es el más rápido de aplicación y más uniforme. No pueden usarse con todos los recubrimientos por lo que se han adoptado tres tipos diferentes para su uso:

a.- Convencional.- Consiste simplemente en un sencillo y versátil método de aplicación. El equipo necesario es fácilmente asequible, y un buen porcentaje de cubrimiento y formación de película.

Bastante aire comprimido se necesita en éste método y un sobrepasado en el rocío, puede convertirse en problema. Se necesita buena ventilación.

b.- Pistola en caliente.- El recubrimiento es calentado para reducir su viscosidad. Esto resulta cuando se dispone de baja presión de aire, lo cuál reduce el sobre paso en el rocío y la ventilación del medio ambiente; ofrece un excelente cubri-

miento y formación de película .Este es el más caro de los métodos con pistola.

c.- Pistola sin aire.- En éste sistema, en lugar de un compresor de aire, se usa una bomba de alta presión. Se evita así el sobre paso en el rocío y se eliminan las violentas vibraciones. Es rápido y proporciona grandes economías en la operación. No es recomendable para superficies pequeñas. El costo es mas caro que con el método convencional.

#### FASE DE INSPECCION

El programa de mantenimiento industrial requiere de tener siempre cuidado de los problemas que se presentan en el detectoro de las superficies. Puede considerarse a la inspección como el punto clave para alcanzar un éxito completo en la protección anticorrosiva.

El especialista en mantenimiento industrial ayudará a conducir ésta labor, haciendo inspecciones periódicas en las estructuras, maquinaria, equipo y a todas las áreas presentadas en la industria.

De esta manera las fallas serán prontamente detectadas y permitirán oportunamente la protección adecuada de las superficies afectadas con un costo mínimo de operación.

La función de ésta fase queda resumida como la constante vigilancia del comportamiento de los recubrimientos en las diferentes áreas aplicados con el objeto de mantener una capa regularmente estable. Es importante que para cada superficie recubierta se le asigne una tarjeta de control indicando la hora, fecha, condiciones de aplicación, limpieza así como el sistema seleccionado, tiempo medio de duración y condiciones

de trabajo diario a que han de quedar expuestos.

Con esto no únicamente se recomendará tal ó cuál sistema - sino que nos ayudará notablemente a prevenir las futuras fallas en los mismos.

Como una información adicional al ACABADO, cabe mencionar el método de aplicación con pistola eléctricamente cargada.

Su funcionamiento es semejante a la pistola convencional y - la ventaja consiste en evitar que el haz de partículas recubrientes se dispersen en una mayor superficie y por consiguiente un desperdicio en recubriente. El campo electrostático formado alrededor de la pistola logra lo anteriormente - dicho.

## CAPITULO 8

### SISTEMAS Y RECUBRIMIENTOS RECOMENDADOS

Los requisitos impuestos a un revolucionario recubrimiento por las reacciones de corrosión, no cubre en su totalidad a otras necesidades prácticas que dependen de las condiciones de trabajo, pero son cubiertas por la fase analítica, por tal motivo efectuaremos una breve descripción del factor que implica a la naturaleza química del medio, con el objeto de seleccionar cierto tipo de recubrimientos para cierto tipo de medios químicos.

La naturaleza química del medio la clasificamos en: ácidos, álcalis, sales, solventes, agua e intemperie.

#### ACIDOS

Entre los ácidos de mayor importancia tenemos: al  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2CrO_4$ ,  $CH_3-COOH$ .

ACIDO SULFURICO ( $H_2SO_4$ ) .- En concentraciones hasta del 50% es muy corrosivo más aún si la temperatura se incrementa.

Entre 50-70 % su corrosividad es moderada y a más de 70 % su corrosividad disminuye hasta que al llegar al 80% es considerada como no corrosiva.

Las soluciones de más de 70 % son fuertemente higroscópicas y en derrames accidentales, el ácido absorbe humedad, diluyén

dose y con ello se vuelve corrosivo.

Para estos medios hay dos tipos de recubrimientos:

a.- Para inmersión

b.-Para no inmersión.

Inmersión.- En concentraciones hasta del 70 % se tiene un -  
ataque rápido del sustrato recubierto en cualquier parte del  
recubrimiento; los epóxicos catalizados expuestos a éste áci-  
do es atacado, particularmente a baja temperatura. A más de 70  
% éste ácido carbonizará y virtualmente desintegrará cualqui-  
er material orgánico. Esta tendencia aumenta al aumentar la -  
temperatura, sin embargo los materiales basados en resinas de  
cloruro de vinilo son las menos afectadas por ésta acción -  
carbonizadora. Ningún recubrimiento líquido se recomienda pa-  
ra inmersión. Este tipo de problemas sólo se soluciona si se  
usa acero inoxidable en el medio expuesto.

No inmersión.- En medios donde existen humos ó vapores pue -  
den ser usados recubrimientos de buena calidad tales como -  
los vinílicos ó epóxicos.

Los ductos para vapores donde puede ocurrir condensación y -  
que constituye un problema especial deberán ser protegidos -  
con algún sistema vinílico de altos polímeros.

Para salpicaduras de ácido sulfúrico concentrado (óleum, un re  
cubrimiento de cloruro de vinilo de altos polímeros, dará bue  
nos resultados siempre que los derrames sean lavados rápida-  
mente.

ACIDO CLORHIDRICO (HCl).- Es muy corrosivo para el acero en -  
casi todas las concentraciones. Puesto que un compuesto forma  
do por un gas disuelto, tiene una marcada habilidad para pe -  
netrara en los recubrimientos inmersos en él. Estas dos pro -  
piedades aumenta con el aumento de la temperatura. Para inner

sión se recomienda usar los recubrimientos de cloruro de vinilo ó de hule clorado que trabajan bién a temperaturas normales.No debe usarse acero inoxidable.

Inmersión.- Si los recubrimientos se aplican con películas delgadas son susceptibles de ampollarse.No se recomienda ningún recubrimiento delgado ó de solución para inmersión.

Productos especiales laminados a bajas concentraciones y temperaturas que no sean mayores de 37.5 grados pueden ser usados.

No inmersión.- Usar películas gruesas para resistir vapores ó salpicaduras del HCl.Resulta cómodo usar los recubrimientos vinílicos de altos sólidos.

ACIDO NITRICO( $\text{HNO}_3$ ) .- Es fuertemente corrosivo al acero aumentando con la temperatura y concentración.Penetra en los recubrimientos en todas las concentraciones y temperaturas.Se carbonizan y desintegran completamente a temperaturas y concentraciones altas.

Inmersión.- No se emplea ningún recubrimiento,pero pueden usarse láminas de cloruro de vinilo bajo limitaciones de temperatura y concentraciones establecidas.Se usa comunmente el acero inoxidable.

No inmersión.- Los vapores del  $\text{HNO}_3$  son muy corrosivos,penetrantes y con efecto de degradación sobre los recubrimientos Los recubrimientos vinílicos altos sólidos en películas gruesas,son necesarios para controlar condiciones ligeras de vapores.Los epóxicos no se recomiendan a menos que los vapores sean muy ligeros ó cuando los recubrimientos estuvieran expuestos a solventes que puedan atacar a los vinílicos.

En condiciones de salpicaduras intermitentes,los sistemas -

vinílicos de altos polímeros pueden ser usados. En condiciones severas nada se recomienda. (Pesos Moleculares elevados).  
ACIDO FOSFORICO ( $H_3PO_4$ ). - La concentración comercial es de 85 %, es poco corrosivo al acero en concentraciones diluidas usándose comúnmente como inhibidor. La corrosión aumenta con la concentración.

Los tanques de almacenamiento para este ácido se recubren normalmente sólo para prevenir la contaminación del producto.  
Inmersión.- Se recomienda usar para concentraciones diluidas de  $H_3PO_4$  y temperaturas límites establecidas el sistema de cloruro de vinilo. Para altas concentraciones usar láminas de cloruro de vinilo.

No inmersión.- Sistema de cloruro de vinilo y otro gran número de recubrimientos ya que el ácido fósfórico no ataca al acero ni a los recubrimientos.

ACIDO CROMICO ( $H_2CrO_4$ ). - Es medianamente corrosivo al acero en forma diluida, se usa en algunos casos como inhibidores. En soluciones concentradas es moderadamente corrosivo.

El producto comercial se maneja en escamas y su principal uso esta en la industria de la galvanoplastia. Sus concentraciones comúnmente usadas son de 12 a 35 % de ácido crómico.

Inmersión.- Usar doble laminado de cloruro de vinilo

No inmersión.- Para salpicaduras y vapores de ácido diluido usar recubrimientos vinílicos. Los epóxicos no se recomiendan en la mayoría de los casos.

ACIDO ACETICO ( $CH_3-COOH$ ). - Las concentraciones de este ácido varían en sus efectos corrosivos de corrosividad moderada a fuerte corrosividad en las superficies de acero. El grado de corrosividad de esta sustancia aumenta rápidamente con el

aumento de la temperatura.

La concentración del ácido acético comercial es 100% y se le conoce con el nombre de ácido acético glacial.

Inmersión.- En caliente el ácido acético tiene una tendencia muy fuerte a penetrar en los recubrimientos produciendo ampollamiento. No se recomienda recubrimiento alguno. Aunque el aluminio, cobre ó aleaciones de níquel solucionan éste problema en gran parte.

No inmersión.- Se recomiendan recubrimientos vinílicos altos sólidos.

En condiciones severas de vapores ó derrames, el recubrimiento reducirá cierto reblandecimiento.

ALCALIS.- Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de calcio.

HIDROXIDO DE SODIO (NaOH).- Por ser los más comunes industrialmente y además los más representativos enfocaremos de un modo general las características de estos tipos de sustancias.

La sosa, la potasa y el hidróxido de calcio, no son corrosivos al acero ó concreto de ahí que el uso de los recubrimientos para su almacenamiento en tanques ó equipo de transporte tienen casi como única finalidad prevenir la contaminación del producto químico.

Sin embargo cuando se almacenan y transporta en tanques de acero desnudo, estos productos en altas concentraciones pueden dar como resultado el efecto conocido como fragilidad cáustica del acero. En su más severa forma esto dá como resultado fracturas del recipiente de acero.

Los materiales cáusticos a altas concentraciones, principal--

mente en caliente atacarán rápidamente a materiales como el zinc, y aluminio.

Los materiales fuertemente alcalinos reaccionan químicamente con las películas de pinturas de aceite atacándolas rápidamente.

En consecuencia, cuando las películas de aceite se exponen al escurrimiento de estos materiales como la pintura se degrada a un material jabonoso y en exposiciones prolongadas se desprenden de la superficie.

Para concentraciones cáusticas con 50 % de concentración se recomiendan los recubrimientos vinílicos ó epóxicos.

La selección también depende de las limitaciones de la temperatura.

Para concentraciones cáusticas del 73 % se recomiendan los recubrimientos epóxi-fenólicos a temperaturas no mayores de 132 grados C.

En condiciones de no inmersión pero aún con derrames, usar los recubrimientos vinílicos ó epóxicos. Se recomienda lavar inmediatamente los escurrimientos para evitar probables daños al personal de operación.

### SALES

Las sales minerales no pueden ser agrupadas para describir su comportamiento químico porque pueden exhibir gamas extremas de comportamiento ácido ó básico, dependiendo del ácido ó base de la que parten. Además hay un numeroso grupo de sales minerales neutras, como el cloruro de sodio.

Las sales las podemos clasificar en ácidos, neutras y básicas SALES ACIDAS.- Son muy corrosivas al acero, y en muchos caso al concreto. En su forma diluída, las sales ácidas deberán ma

nejarse generalmente de la misma manera que los ácidos desde el punto de vista del recubrimiento a usar. Así por ejemplo, las limitaciones de la temperatura dadas para un recubrimiento serán aproximadamente las mismas para una sal ácida diluida que para un ácido.

También el problema de poros en un recubrimiento de solución aplicado es más ó menos el mismo que para el material ácido. Es decir que cuando un recubrimiento de solución vinílico ó epóxico pudiera ser usado para recubrir tanques que manejan sales ácidas calientes, la más segura recomendación es un recubrimiento laminado.

Cuando se trate de sales ácidas concentradas, la situación es ligeramente menos severa que con soluciones diluidas. Sin embargo, pueden tolerarse temperaturas un poco mayores con soluciones concentradas, y el problema de ataque en los poros se reduce. Aún en estas condiciones la mejor recomendación es un recubrimiento laminado.

Para no inmersión se recomienda un recubrimiento vinílico -- epóxi. Pero debe tenerse cuidado extremo para quitar cualquier cristal de sal ácida que haya sobre la superficie antes de la aplicación del recubrimiento. Normalmente se lava con agua dulce limpia, seguido del sopleteado con arena en la forma usada. Debe ponerse extremo cuidado para evitar la contaminación entre capas de recubrimiento, por los cristales de estas sales ácidas. Si no se toman estas precauciones se tendrá fallas rápidas en el recubrimiento.

SALES NEUTRAS.- Son altamente corrosivas a las superficies de acero, particularmente en concentraciones diluidas. Por lo general tendrán lugar una falla del recubrimiento protector-

es en los poros en donde la solución salina atacará rápidamente y picará la superficie de acero. En soluciones diluídas las limitaciones de temperatura en un recubrimiento son generalmente iguales a las de un recubrimiento en agua. En soluciones diluídas las limitaciones de temperatura en un recubrimiento son generalmente iguales a las de un recubrimiento en agua. En soluciones de sales neutras concentradas (salmuera) las limitaciones a la temperatura del recubrimiento son generalmente menores a las de un recubrimiento en agua.

En inmersión se recomienda un sistema formado por un recubrimiento inorgánico de zinc recubierto con un material orgánico impermeable tales como el hule clorado, vinílico, epóxico--poliamida ó epoxi-alquitrán de hulla.

No inmersión.- El recubrimiento inorgánico de zinc se recomienda y el terminado puede ó no ser usado. Pueden usarse también los recubrimientos orgánicos expuestos en los casos anteriores.

SALES ALCALINAS O BASICAS.- Las sales débilmente alcalinas han demostrado una ferrosividad al acero similar a las sales neutras y deberán manejarse en la misma forma que las sales neutras.

Las sales fuertemente alcalinas, como el fosfato trisódico, tienen un comportamiento aproximado a los materiales alcalinos aún cuando son débilmente corrosivos al acero y deberán manejarse del mismo modo que los álcalis.

SOLVENTES.- Los solventes son sustancias no corrosivas, con excepción de los solventes clorados. Estos en presencia de humedad, tienden a formar HCl por lo que se hace corrosivo. Los solventes, presentan problemas especiales para los recu-

brimientos protectores, ya que tienen una tendencia pronunciada a disolver ó penetrar en los recubrimientos. Este efecto disolvente -penetrante, puede ser reversible, porque la película regresa a su condición inicial al quitar la sustancia solvente; este efecto puede ser irreversible cuando el daño es permanente ó cuando el recubrimiento ha sido totalmente removido. Es importante siempre tener en cuenta que los materiales vinílicos son permanentemente solubles en muchos solventes industriales.

Los recubrimientos epóxicos catalizados y horneados generalmente dan alguna protección a los solventes.

Para seleccionar el material de recubrimiento adecuado es de extrema importancia tomar en cuenta la temperatura, duración a la exposición y si ésta será continuada ó alternada. En algunos casos, condiciones alternadas húmedas y secas pueden ser más severas que el efecto repetido de esponjamiento y corrugado de la película de recubrimiento.

Bajo la mayoría de condiciones de exposición a solventes, la mejor recomendación es un recubrimiento inorgánico de zinc. Sin embargo puede haber algún problema en solventes clorados húmedos con agua, pero no habrá ninguno con solventes clorados secos.

A continuación presentamos una lista de solventes comunes con su recubrimiento más adecuado:

Cetonas, ésteres, éteres, alcoholes y disulfuro de carbono.- Se recomiendan los recubrimientos inorgánicos de zinc tanto para inmersión como para no inmersión.

Solventes clorados como el dicloruro de etileno, metileno y tricloro etileno usar para inmersión recubrimientos inorgánicos

cos de zinc y cuando éstos solventes se mantengan secos usa epóxicos curados con aminas, para no inmersión.

Tetracloruro de carbono, hidrocarburos aromáticos como el toluol ó Xilol usar para inmersión inorgánicos de zinc y para no inmersión; epóxicos curados con aminas, poliamidas y alquitrán de hulla.

Gasolina de avión, solventes derivados del petróleo, aceites combustibles y aceites cortados, usar: inorgánicos de zinc, vínicos ó epóxicos de buena calidad para condiciones de inmersión ó derrames, (cortados=ligeros).

Finalmente presentaremos una lista de recomendaciones generales para recubrimientos y sistemas de recubrimientos, así como el uso destinado, el espesor de la película requerido, los métodos de aplicación más convenientes y algunas características generales para cada caso.

RECUBRIMIENTO	SISTEMA	APLICACION	ESPAESOR	C. GENERALES
Mantenimiento de acero bajo recubrimiento vinílico, principalmente cuando se usa equipo de aplicación sin aire.	Vinil-alquídico. Pigmentos inhibidos. Altos sólidos. Primario.	Puede aplicarse con equipos sin aire, convencional ó brocha.	Recomendado: 2-3 mil.	Existen formulaciones diseñadas para aplicarse con sistemas sin aire.
Mantenimiento del acero, galvanizado y concreto en áreas químicas.	Mezcla de resinas sintéticas con pigmentos inhibidores. Excelente. Primario.	Se recomienda brocha de pelo. También se usa con equipo convencional y con equipo sin aire.	1.5 mil	Son muy versátiles, gran adherencia y resistencia química. Se puede usar en inmersión de agua.
Mantenimiento de superficies de acero, concreto, galvanizado. Vapores, salpicaduras, derrames de solventes y álcalis	Epóxico curado con poliamidas pigmentos, inhibidos, altos sólidos. Primario.	Brocha de pelo, atomización, rodillo.	2 mils.	Muy buena adherencia, debe recurrirse en algunos productos después de 4 ó 8 hrs. Resiste la corrosión bajo películas por acción de caústicos.
Mantenimiento industrial. Reparación de inorgánicos y primarios orgánicos. Torre de transmisión.	Epóxico no catalizado rico en Zn 2 componentes. Primario.	Brocha, pistola ó convencional.	1 mils.	Para usarse sólo ó con recubrimientos vinílicos ó epóxi. Conductor eléctrico débil. Secado rápido.

RECUBRIMIENTO	SISTEMA	APLICACION	ESPESOR	C. GENERALES
Como enlace entre galva - nizado, inorgánicos, aluminio y acabados de todo tipo que no tengan adherencia directa.	Mezcla de resinas - sintéticas sin pigmento inhibidor. Primario	Brocha ó - pistola.	1 mils.	Grán adherencia. Secado rápido, recubrir en 2 ó 4 hrs. según instrucciones del fabricante.
Mantenimiento industrial. Proporciona un cierto grado de protección catódica	Epóxico - catalizado rico en Zn. 2 componentes. Primario.	Brocha ó - pistola. Sólo para inorgánico sin preparación especial.	0.5-1	Para recubrirse con acabado epóxico, curado completo lento. Gran adherencia.
Para aplicarse sobre inorgánicos únicamente.	Resina sintética especial. Primario.	Brocha ó - pistola. Sólo para inorgánicos sin preparación especial.	0.5-1	Puede recubrirse en cuanto seque. No produce ampollamiento.
Para estructuras donde existen condiciones fuertes de humedad ó químicas.	Recubrimiento epóxico curado con poliámida Altos sólidos.	Sistema sin aire adelgazando.	5 mil.	Grueso, fuerte con propiedades versátiles de aplicación, no es tóxico Acabado mate
Mantenimiento en general.	Epóxicos curado con poliámidas. Alto brillo	Brocha ó - convencional. Adelgazar.	3 mils.	Puede ser usado en áreas de condiciones severas.
Concreto ó metal Para inmersión en agua, solventes ó productos químicos.	Epóxico curado con aminas s.p. inhibidores. Primario. Acabado.	Sistema sin aire - Brocha ó convencional.	Primario 1 mils. Acabado 15 mil.	Sistema para uso general en inmersión en almacenes de combustible gas-aviación. Positivo resultado en sayó la USA.

USO DEL RECU.	SISTEMA	APLICACION	ESPESOR	C.GENERALES /
Concreto, áreas de pisos, tanques de agua de concreto, áreas radioactivas, tanques acero servicios especiales como soluciones alcalinas 50 %.	Epóxico curado con aminas formado de pintura inter. y acabado.	Sin aire, convencional.	Primario 1 mils Acabado 15 mils sol. - acuosas. 10 mils para sol. no acuosas	Modificado para obtener gran dureza, resistencia a la abrasión y a los ácidos. Comparado con los epóxi te curado al aire.
Tanques de acero, rancho nes y carros tanque. Para inmersión en álcalis a altas temperaturas. Apto para uso alternativo de solventes y soluciones quím.	Epóxi-fermólico de dos componentes curado con horno a baja tem.	Sin aire, brocha ó convencional.	Primario 8 mils Acabado total máximo: 12 mils.	La película final debe hornearse a 65 grados durante 16 hrs. ó a 93 grados en 4 hrs.
Superficies de ó metal. Inmersión en agua, petróleo crudo a largo y gasolina de caja contenido aromático. Planta de tratamiento de aguas negras de papel, hidroeléctrica y química.	concreto Epóxico-alquitrán de hulla de dos componentes. No se requiere primario.	Sin aire, convencional.	Para mantenimiento. 8 mils - sobre el primario 16 mils para inmersión.	Para uso general de inmersión especial en interiores
En medios donde se desarrollan microorganismos.	Anti-vegetativo bá se alquitrán de pino.	Aspersión	4 mils.	----

USO DEL RECU.	SISTEMA	APLICACION	ESPESOR	C. GENERALES
Para galvanizado, metal, madera y otros acabados.	Acabado a base de hidrocarburos	Aspersión	2 mils.	Buena resistencia a los ácidos y álcalis diluidos. Mala en solventes, excelente acabado de aislamiento.
Alta temperatura, sobre metal diseñado para recubrir estructuras sujetas a la intemperie y a temp. 200°.	Cumarona Indeno	Pistola	1.5 mil Inter. 3 mils.	Resistencia química moderada; regular para solventes
Para interiores mantenimiento sobre metal, - concreto, yeso	Emulsión (PVA)	Pistola brocha, rodillo.	1.5-3 mils.	Resistentes e impermeables, resisten a los hidrocarburos alifáticos. Exteriores.
Mantenimiento sobre metal, concreto, asbesto, yeso, etc.	Acabado Emulsión (PVC)	Pistola brocha, rodillo.	3 mils.	Buena resistencia a la intemperie para mant. en exteriores.
Para concreto asbesto, cemento, yeso.	Acabado Vinílico emulsionado.	Pistola, brocha ó rodillo.	3 mils	Excelente resistencia y durabilidad en exteriores no pierde su color. Resiste ácidos y alcohol productos del petróleo. Película dura flexible no inflamable resiste a la abrasión.

886 DEL RECU.	SISTEMA	APLICACION	ESPESOR	C.GENERALES
Mantenimiento para interiores de chimeneas de acero expuestas a tanques de vapores y humos ácidos.	Primario - y acabado. Inorgánico blanco poscurado. Dos líquidos, reactivos - no inflamables y pasta de Zn blanco. Solución curadora.	Atomización convencional. No aplicar sobre concreto.	2 mils.	Resiste el intemperismo como los demás. No se calea y su color blanco permanece inalterable y limpio con el tiempo.
Ambientes secos. Limpieza manual, ambientes húmedos - sin salinidad	Primario minio al - quidálico. Acabado. Esmalte al quidálico.	Brocha ó - aspersion.	Primario 3 mils Acabado 3 mils Total 6 mils	Sin acabado el minio al quidálico - se recomienda como acabado de taller.
Ambientes secos. Limpieza manual.	Primario Minio al - quidálico. Acabado Aluminio.	Brocha ó aspersion.	Primario 3 mils Acabado 3 mils Total 6 mils	El minio - solo como - primario se usa como mano de taller
Ambientes - húmedos sin salinidad. Sobre hierro acero ó Al.	Primario Cromato de zinc. Acabado Esmalte al quidálico ó aluminio	Brocha ó aspersion.	Primario 3 mils Acabado 3 mils Total 6 mils	
Altas temperaturas.	Primario A base de - silicones.	-----	3 mils	Soporta temperaturas - hasta de - 540 grados.
Ambientes - húmedos y salinos con gases derivado del azufre.	Primario vinil - epóxi modificado. Acabado Vinílico al - tos sólidos	Aspersion	Primario 1 mils Acabado 6 mils Total 7 mils	

USO DEL RECU.	SISTEMA	APLICACION	ESPEJOR	C. GENERALES
En medios don de se desarrollan micro-organismos.	Primario Antivegetativo - vinílico	Aspersión	4 mils	--
Mantenimiento de tanques interiores de combustible y de lastre. Tiene excelente resistencia a los combustibles del petróleo y al agua dulce ó de mar.	Epóxico-primario y acabado epóxico curado con aminas (poli)	Atomización sin aire ó convencional usar brocha. No aplicar sobre concreto.	3/4 de milésima de pulg.	Manipulación mecánica 5 a 10 min, después de aplicado. Los acabados aplicar después de 24 hrs a 21 grados.
Para taller - previo a la construcción.	Primario inorgánico de zinc autocurante. Dos líquidos reactivos no inflamables.	Igual que al anterior.	3/4 de mil.	Manipulación mecánica, 15- minutos después de aplicado el primario y aplicar el acabado 24 hrs después a 25 grados.
Mantenimiento de acero estructural, cascos arriba de la línea de flotación, interiores de tanques para solventes. No usar para servicios de ácidos ó álcalis.	Primario Inorgánico de silicato de Zn, postcurado. Dos líq. reac. no infl. y polvo de Zn finamente dividido. Solución curadora estandar inflame ó no.	Atomización conv., no- usar brocha. Una mano para solución curada y dos para solución no inflamable.	2.4 mil por mano.	Debe ser curado con solución curadora a altas temperaturas. En caso de requerir un acabado orgánico se lavará con agua dulce para eliminar residuos de la reacción.

USO DEL REUB.	SISTEMA	APLICACION	ESPESOR	C.GENERALES
Igual que el anterior.	Primario inorgánico de silicato de Zn. Autocurante. Dos líq reactivos no inflamables y polvo de Zn finamente dividido.	Atomización conv. No usar brocha. No aplicar sobre concreto.	2 1/2 a 3 1/2 mil.	Se requieren 72 hrs ó más para un curado completo antes de recibirlo. La película es insoluble en agua a los 20 ó 30 minutos.
Unico para mantenimiento de tanques de almacenamiento y transporte de alimentos secos y de aceites comestibles de baja acides y humedad. No usar en ác. y álcalis fuertes.	Inorgánico silicato de Zn. Autocurante. No tóxico en contacto con alimentos. Dos líq. no inflamable y polvo de Zn finamente dividido.	Atomización conv. no usar brocha no aplicar sobre concreto.	3 mils	Requiere de 24 hrs después de aplicado para ponerlo en servicio. Resiste temp. hasta de 315 grados.
Mantenimiento de acero estructural, puentes, torres de transmisión etc.	IDEM PRIMARIO Permanente	IDEM	IDEM	Puede recibirse a las 24 hrs. Insoluble en agua en una hora puede curarse con solución curadora.
Mantenimiento para interiores de tanques para fenol, solventes y productos químicos.	Primario Inorgánico de silicato de Zn, post-curado libre de polvo. Dos líq. reactivos no inflamables y Zn finamente dividido.	Atomización convencional. No usar brocha. No usar sobre concreto. Usar solución curadora no inflamable.	3 mil.	Puede limpiarse con agua caliente ó con vapor de baja presión. No se recomienda para inmersión en sol. ác. ó alcalina.

## CAPITULO 9

### CONCLUSIONES

El programa de "mantenimiento industrial para el control de la corrosión" que hemos desarrollado tiene como objeto prestar un servicio inmediato en beneficio de la industria en nuestro país.

Para lograr un éxito completo en la consideración de este programa, es importante que el ingeniero en corrosión ó en mantenimiento siga las cuatro fases del programa tal como se propone en virtud de que han sido pensadas para eliminar pérdidas de tiempo en investigar a ciegas que tipo de producto puede ser útil para resolver tal ó cuál problema de corrosión.

Es fundamental el considerar en el costo económico total, mas que en el costo del producto mismo el costo de la limpieza de la superficie, pues ya se vió que éste costo es determinante no sólo en el costo total sino en la durabilidad y eficiencia del recubrimiento a aplicar.

El costo de mano de aplicación no está incluido porque puede variar según el tipo de producto y la región donde se aplique, de tal manera que su significado final pueda considerarse

séle una vez determinado el tipo del producto y el método de limpieza.

Las bases sobre las que fundamentamos nuestro estudio son - científicamente actualizadas y comprobadas.

De ésta manera damos por concluída nuestra obra, esperando - sinceramente, que no únicamente sirva para cumplir con un requisito escolar, sino por el contrario, como lo mencionamos al inicio de éste capítulo, que pueda ser consultado como consejero efectivo para la solución de todos aquéllos problemas - producidos por el efecto destructivo de la corrosión.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Herberth H.Uhlig. Corrosion Handbook. Ed. John Wiley & Sons Inc. N.Y. 1966
- 2.- C.D. Mantell. Electrochemical Engineering. Fourth Edition. Ed. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1959.
- 3.- Creighton and Koehler. Electrochemistry. Second Edition. V-II. Ed. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 1959.
- 4.- E. Jimeno y P.R. Morral. Física, Mecánica y Química. T-I Ed. Universidad de Madrid 1955.
- 5.- S. Glasstone . Textbook of Physical Chemistry. Second edition. Ed. D. Van Nostrand Company, Inc. 1959.
- 6.- pH Teoría y práctica. E. Villareal. Ed. Textos Universitarios UNAM 1967.
- 7.- Brage Colding. Polymers and Resins. Ed. D. Van Nostrand Company, Inc. 1959.
- 8.- Simonds-Weith-Bigelow. Handbook of Plastics. Second Ed. Ed. D. Van Nostrand Company, Inc 1955.
- 9.- Modern Plastics Encyclopedia. V-44 No 1 A. Ed. Mc Graw-Hill Book Company, Inc 1967.
- 10- Various Authors. Synthetic Resins and Allied Plastics. - Third Edition. Ed. R.S. Morrel 1951
- 11- Herbert R. Simonds. Industrial Plastics. Ed. Pitman Publishing Corporation.
- 12- Curso de plásticos y Silicones (I y II) 1967. Julio Terán. Facultad de Química. UNAM.
- 13- Resinas epóxi en la industria de la pintura. Distribuidora Shell de México, S.A. Curso de pinturas 1966 en el Instituto Mexicano de Técnicos en Pinturas y Tintes.

- 14.- Catálogos varios de Binks Manufacturing Co. y de De -  
Vilbiss.
- 15.- Catálogos y revistas de las siguientes sociedades:
- Amer Coat Mexicana, S.A.
  - Dupont de México, S.A.
  - Mobil Atlas, S.A.
  - Pinturas ICI de México S.A. de C.V.
  - Cía. Sherwin Williams, S.A. de C.V.
  - General Paint Co. de México, S.A.
  - Pinturas Optimus, S.A.
  - Comex, S.A.
  - Productos Solex, S.A.
  - Cía. Mexicana de Pinturas Internacional, S.A.
  - Pinturas Pittsburgh, S.A.
  - Sylpyl, S.A.
  - Devoe de México, S.A.