

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

161

PROTECCION GALVANICA DEL ACERO  
POR MEDIO DE RECUBRIMIENTOS

JORGE FELIX TENA BETANCOURT

I N G E N I E R O Q U I M I C O

1 9 7 3

M-165679



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

PRESIDENTE:           ING. ENRIQUE VILLAREAL DOMINGUEZ  
VOCAL:                 ING. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ  
SECRETARIO:           ING. JAIME CORDERO Y BASAVE  
1º SUPLENTE:          ING. ENRIQUE JIMENEZ RUIZ  
2º SUPLENTE:          ING. SUSANA FLORES DE CASTAÑEDA

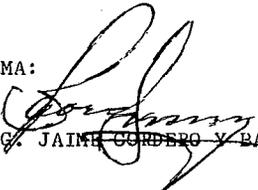
SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

AMERCOAT MEXICANA, S. A.

SUSTENTANTE:

  
JORGE FELIX TENA BETANCOURT

ASESOR DEL TEMA:

  
ING. JAIME CORDERO Y BASAVE

A mis padres,  
con admiración y cariño.

A mi esposa e hijo,  
con todo mi amor.

A mis hermanos,  
primos y amigos.

Agradezco al Sr. Ing. Jaime Cordero y Basave la ayuda que me prestó para la elaboración del presente trabajo, así mismo agradezco al personal de la Cía. Amercoat Mexicana, S.A., es pecialmente al Sr. Ing. Carlos Ludlow por las facilidades que me proporcionó para obtener la información necesaria.

## CAPITULOS

### INTRODUCCION

1. - PRINCIPIOS DE LA CORROSION.
2. - METODOS DE CONTROL DE CORROSION.
3. - PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS PROTECTORES. EXPERIENCIAS PRACTICAS.
4. - PREPARACION DE SUPERFICIES.
5. - ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS.
6. - CONCLUSIONES.

## INTRODUCCION.

Los avances que la tecnología ha tenido en los últimos años y que en las ciencias químicas han sido verdaderas revoluciones que se han traducido en modificaciones, a veces radicales, de los procesos de fabricación, en la creación de nuevos productos y en el mejoramiento sustancial de los existentes, han originado un cambio en el ambiente profesional del ingeniero químico, ya que le proporcionan más elementos técnicos para el desempeño de sus labores y lo hace consciente de la necesidad de actualizar sus conocimientos para hacer uso de los amplios recursos que proporciona la ingeniería química moderna.

La selección y uso de los materiales de construcción, el equipo de proceso, el flujo de material ó transporte que debe utilizarse, es una labor ineludible que el ingeniero químico debe realizar apoyándose en el conocimiento de las características físicas y químicas de dichos materiales, en su comportamiento y en su costo.

El perfeccionamiento de los materiales existentes y la aparición de otros nuevos, amplían el campo de selección y hacen más difícil determinar los materiales adecuados en los distintos procesos químicos en los que intervienen muchos factores.

Además de la consideración básica del costo del material, debe analizarse su grado de adaptación a las condiciones específicas del proceso, tales como : temperaturas, presiones, condiciones de los materiales en flujo, humedad, etc. Todas estas condiciones a las que el material tiene -

que enfrentarse constituyen el "ambiente" al que estará expuesto y su grado de resistencia a dicho ambiente será el factor que decida su selección.

En términos generales puede definirse que la corrosión es "La destrucción o deterioro de un material (generalmente un metal) o sus propiedades, a causa de la reacción del mismo en el medio ambiente a que está sujeto", o bien que es un cambio químico o electroquímico en el cual el material pasa de un estado elemental a un estado combinado. Se estima que esta última definición es incompleta, ya que algunas veces, el término de corrosión es empleado cuando un metal sólido pasa a una solución de otro metal líquido o fundido por ejemplo: el fenómeno que se observa en recipiente de acero usado para contener zinc fundido, el cual pierde lentamente su espesor por efecto de la disolución del fierro.

Todo lo anterior, hace estimar que la corrosión puede definirse como: "La destrucción o disolución física de un metal o aleación, por un cambio químico ó electroquímico". Esto excluye los procesos mecánicos en los cuales se destruye el material por trituración, molido o pulverización, conocidos como erosión en los cuales no existe cambio químico. En base a esto, el ingeniero químico debe considerar la corrosión como factor decisivo para la selección de materiales por usarse, analizando concienzudamente las condiciones del proceso y todos aquellos factores que se relacionan con su resistencia a la destrucción o deterioro.

Afortunadamente la corrosión ha sido objeto de amplias investigaciones y se cuenta con suficiente documentación técnica que permite conocer a fondo este fenómeno y las diversas formas de combatirlo o minimizarlo.

Cabe recordar que el grado de corrosión que tienen los materiales, está en función del medio ambiente en que se encuentran y que en términos generales los materiales inorgánicos que forman parte o se encuentran dentro de dicho ambiente son más corrosivos que los orgánicos. Este fenómeno es apreciable en las refinerías de petróleo, en donde la corrosión se debe más a sustancias como el cloruro de sodio, ácido clorhídrico, sulfúrico, azufre y agua que a los aceites, naftas o gasolinas.

En las industrias de procesos químicos se sabe que con más altas temperaturas y presiones se ha logrado crear nuevos procesos y mejorar los existentes obteniendo mayores rendimientos, más altas velocidades de reacción y más bajos costos de producción. Las mayores temperaturas y presiones implican generalmente ambientes corrosivos más severos y los nuevos procesos no serían factibles o económicos sin el recurso de recubrimientos protectores o de aleaciones resistentes a la corrosión. Prueba lo anterior el notable aumento que ha tenido la aplicación de los llamados aceros inoxidable en la industria química moderna.

Además del aspecto económico, el ingeniero químico debe considerar otros factores que deberán normar su criterio en la selección de los materiales o revestimientos anticorrosivos que se empleen en las diversas industrias. Entre los principales pueden mencionarse los siguientes:

1. - Apariencia. Aún cuando no afecta el proceso un material corroído puede ser factor que influya en el aspecto comercial. Un ejemplo de ésto se tiene en la industria alimenticia en la cual el uso de las aleaciones resistentes a la -

corrosión o recubrimientos adecuados proporcionan mejor apariencia al equipo y facilitan su mantenimiento.

2. - Contaminación de los productos. Frecuentemente se encuentra que el valor de un producto químico está en relación directa con su pureza y calidad. En esa consideración excluimos a los productos alimenticios, medicinales o reactivos en los cuales esta condición es "a priori". El ingeniero químico debe sacrificar el factor costo o vida del equipo a cambio de liberar el producto de contaminación o degradación de su calidad. Así, por ejemplo, no obstante que el acero ordinario puede durar muchos años en un ambiente determinado, es conveniente proteger el producto del efecto desfavorable del óxido de hierro usando aleaciones o revestimientos adecuados. En algunos casos la contaminación originada por la corrosión produce efectos catalíticos adversos como sucede en la fabricación de hidróxido de sodio, material sumamente corrosivo que requiere una alta pureza al utilizarse como producto primario en la fabricación de rayones de alta resistencia, papeles fotográficos, jabones de alta calidad, etc. La pureza requerida en la sosa cáustica para la manufactura de estos productos implica el uso de níquel y sus aleaciones tanto en los equipos de fabricación como en los de manejo.

3. - Reducción en los costos de operación y mantenimiento. Mediante el conocimiento de los materiales resistentes a la corrosión se pueden obtener ahorros importantes tanto en la operación como en el mantenimiento de las plantas químicas. El ingeniero químico debe atender situaciones específicas relacionadas con el equipo, las cuales puede resolver satisfactoriamente utilizando metales, revestimientos protectores o aleaciones adecuadas.
4. - Interrupciones en la producción debidas a problemas origina-dos por la corrosión del equipo. Muchas veces el asegurar la continuidad de un proceso compensa con creces la aparente diferencia en el costo de un material a otro. En este as-pecto el ingeniero químico, con el conocimiento específico de la corrosión y sus medios para combatirla podrá actuar con mentalidad preventiva.
5. - Factores de seguridad. El manejo de productos químicos a alta temperatura, ácidos y materiales explosivos e inflama- bles requirieron que los materiales de construcción del equipo y transporte, estén libres de fallas por corrosión. Este es un factor que debe analizarse y darle la debida prioridad sobre el aspecto meramente de costo de material ya que evita daños severos al equipo y aún pérdida de vidas.

Debido a la multitud de medios y condiciones corrosi-vas posibles, los cuales pueden variar con las sustancias químicas, concen-

tración, temperatura, presión, mezcla entre ellas, etc., no sería posible abarcar en un solo volumen todos los casos que se pueden presentar. Por lo tanto se tratará de enfocar esta tesis al estudio de la protección del hierro contra - la corrosión atmosférica por medio de recubrimientos de solución.

## 1. - PRINCIPIOS DE LA CORROSION.

Aún cuando la corrosión de los metales se conoce por sus efectos, ~~prácticamente~~ desde que éstos fueron usados por el hombre, el estudio de ella en lo que se refiere a sus principios básicos, se inició prácticamente en el siglo XIX, inmediatamente después del descubrimiento de la celda galvánica y de la teoría de Davy respecto a la relación directa entre la electricidad y los cambios químicos. También en ese tiempo, Wollaston propuso la teoría electroquímica de la corrosión que es básicamente la que prevalece hasta el presente y los investigadores determinaron las fórmulas de algunas aleaciones de hierro resistentes a la corrosión, contribuyendo al conocimiento fundamental de la electroquímica. Con el uso del zinc para controlar la corrosión de los cascos de los buques, se inician en 1824 los trabajos para conocer los detalles esenciales de la corrosión galvánica y protección catódica. En 1847 se demuestra que se genera una corriente y se produce corrosión en el hierro, cuando se presentan concentraciones de oxígeno en diferentes partes de su superficie.

Los antecedentes señalados permitieron encontrar los principios que constituyen la estructura básica de los modernos métodos de control de la corrosión. Posteriormente se investigaron los factores y condiciones que ocasionan la corrosión del acero por la exposición, a la acción, del agua, de especímenes de fierro en condiciones parecidas a las de servicio, concluyéndose que la oxidación es prácticamente el único factor que limita su vida útil. Bajo este nombre están incluidos todos los procesos químicos por los cuales el fierro es corroído, carcomido o enmohecido, -

cuando el fierro que se encuentra dentro de una solución es corroído, parte de él pasa a la solución en forma de iones, y por lo tanto se tienen que considerar las condiciones y efectos en las diferencias de potencial entre el fierro y lo que lo rodea. Además de lo anterior, como la velocidad de corrosión está en función de la fuerza electromotriz y la resistencia del circuito formado, se concluye que la corrosión es de naturaleza electroquímica.

La inestabilidad de los metales en sus formas refinadas, es una de las causas básicas de la corrosión, ya que éstos tienden a regresar a su estado natural. Tal fenómeno se observa en el mineral de fierro y en el moho que la acción de la lluvia forma en dicho metal, los que al ser analizados se encuentra son óxido de fierro.

#### Procesos Anódicos y Catódicos

La naturaleza básica de la corrosión es casi siempre la misma : un flujo de electricidad entre ciertas áreas de una superficie metálica colocada dentro de una solución capaz de conducir una corriente eléctrica. Esta acción electroquímica origina una alteración destructiva del metal en áreas que se llaman ánodos, en donde la corriente eléctrica quita partes de él sumándose a la solución en forma de iones.

La presencia de un electrolito es una de las primeras condiciones para que ocurra la corrosión. El electrolito puede ser agua simple o salada, un ácido, un álcali, o la humedad de la atmósfera.

El electrolito cargado de iones y los dos electrodos (ánodo y cátodo) permiten que la corriente penetre en el metal y se produzca

el fenómeno de la corrosión. Estos electrodos que pueden ser diferentes metales o distintas áreas del mismo propiciarán la diferencia de potencial necesaria para que la electricidad fluya entre ellos. Un alambre o un camino metálico es necesario como complemento del circuito para el flujo de electrones, entre el polo negativo y el positivo.

El concepto general de flujo de corriente puede ser comprendido si se visualizan imaginariamente las cargas positivas moviéndose en dirección opuesta a las negativas. Este movimiento de electrones puede efectuarse siempre que exista un puente metálico o que dos metales estén en contacto con otro. Para mejor comprensión es conveniente analizar los fenómenos electroquímicos que ocurren en un ánodo afectado por la corrosión: los átomos cargados positivamente que se desprenden desde su superficie por un lado, entran en la solución como iones, mientras que las cargas negativas, en forma de electrones, entran por el otro lado. El desprendimiento de iones positivos puede llevar en cierta dirección una o más cargas, así por ejemplo, en la corrosión del fierro, cada átomo al liberar dos electrones se convierte en ion fierro con dos cargas positivas, y éstos viajan a través del metal hasta el área catódica en cuya superficie encuentran iones hidrógeno cargados positivamente, neutralizando algunos, que tienen que llegar a la superficie a través del electrolito, en donde pierden su carga, volviéndose nuevamente átomos neutros que pueden combinarse para formar gas hidrógeno.

Esta relación de iones hidrógeno resulta de la relativa alta concentración de iones hidroxilo, los cuales están incrementando la

alcalinidad al cátodo o hacen menos ácida la solución.

En resumen, para que la corrosión ocurra, se tienen que liberar electrones del ánodo, y debe haber una formación de iones metálicos a través de una oxidación y desintegración del metal. Como el cátodo deberá aceptar simultáneamente esos electrones y con ellos neutralizar a los iones positivos o formar iones negativos, la acción no puede efectuarse aisladamente ni en el ánodo, ni en el cátodo. Las dos reacciones son simultáneas y con velocidad equivalentes pero la corrosión, la desintegración misma, ocurre siempre en áreas que actúan como ánodos.

Si se coloca una pieza de hierro ordinario en una solución de ácido clorhídrico, se obtendrá una formación vigorosa de burbujas de hidrógeno. Bajo tales condiciones el metal es corroído rápidamente y la usual disolución del metal se efectúa solo en el ánodo, con formación de burbujas de hidrógeno en el cátodo liso, aunque puede parecer que ellas están siendo puestas en libertad sobre toda la superficie, realmente se originan en las áreas catódicas. Como las áreas catódicas y anódicas pueden alternarse, la corrosión ocurre uniformemente. Si se pudiese observar esta acción se verían muchas y diminutas áreas anódicas y catódicas en la superficie del metal, las que a menudo son tan pequeñas, que resultan ser casi inseparables.

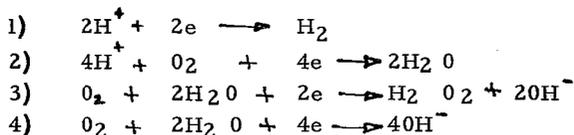
Algunas de las causas de la corrosión son : la existencia de partículas extrañas en el metal, la falta de homogeneidad en el mismo, por imperfecciones en su superficie, la orientación de sus granos y la concentración de esfuerzos y las variaciones del medio ambiente.

La ampliación de un ánodo y un cátodo mostraría a los electrones puestos en libertad, por la formación de iones ferrosos, fluyendo - a través del metal, desde el ánodo al cátodo, y encontrando iones hidrógeno - en solución, que aceptan los electrones en la superficie del cátodo, los cuales aceptados en la descarga de igual número de iones hidrógeno originan la aparición de gas hidrógeno en la superficie del metal. Así es como el proceso continúa, efectuándose la oxidación y corrosión del fierro en el ánodo - y formando hidrógeno (gaseoso) que reviste de plateado el cátodo. La formación de moléculas de hidrógeno y su evolución son las principales reacciones en la corrosión de un metal por un ácido, pero, en electrolitos neutros, tales como una solución cloruro de sodio, la evolución del gas hidrógeno es - muy lenta y su acumulación en forma de capa sobre el metal, es disminuída por el proceso llamado polarización catódica.

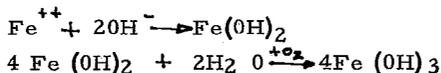
No obstante, las reacciones que envuelven al oxígeno disuelto en el electrolito pueden presentarse igualmente en la reacción catódica. El oxígeno puede reaccionar con el hidrógeno, para formar agua - (despolarización) y permitir el proceso de corrosión. En esta forma, el - oxígeno actúa como un despolarizador catódico.

Esto es, las reacciones catódicas pueden envolver la evolución del hidrógeno o alguna reacción con oxígeno. Así por ejemplo : la reacción 1), representa la liberación de hidrógeno. La reacción 2), la oxidación del hidrógeno por el oxígeno disuelto para formar el agua. Otra posible es la reducción del oxígeno en agua para formar el peróxido de hidrógeno y iones hidroxilo como en la ecuación 3), o bien la reducción completa

a iones hidroxilo como en la ecuación 4.



Los productos del ánodo y el cátodo en el proceso frecuentemente se encuentran y entran en una reacción adicional, originándose muchos derivados de la corrosión comúnmente visibles, al colocar hierro en agua se produce una reacción catódica por la cual los iones de hidroxilo emigran a través del electrolito hacia el ánodo encontrando en su recorrido iones ferrosos que se mueven en dirección opuesta. Estos iones se combinan formando hidróxido ferroso, el cual puesto en contacto con el oxígeno en la solución se transforma en hidróxido férrico, que se precipita en forma de herrumbre.



Dependiendo de la alcalinidad, contenido de oxígeno y agitación de la solución, esta herrumbre puede formarse ya sea sobre la superficie o cercana a la misma, donde puede ejercer mayor influencia en el posterior progreso de la corrosión.

El fomento de la corrosión por la acción del oxígeno es fácilmente demostrable si se coloca pedacera de hierro en dos frascos llenos de agua. En uno de ellos se burbujea oxígeno y el otro se satura con nitrógeno para mantener la solución libre de oxígeno. Después de burbujear los gases varias horas, se observa que el hierro que se encuentra dentro de la solución libre de oxígeno es brillante, no así el que está dentro del agua -

saturada de oxígeno, el cual presenta herrumbre. Por lo tanto puede afirmarse que el oxígeno en una solución ocupa un alto grado en la lista de factores que influyen en la corrosión. Por esta razón un control de la corrosión en las industrias se efectúa mediante la eliminación del oxígeno de las aguas empleadas en los diversos procesos de fabricación.

### Origen y características de las corrientes de corrosión

Las diferencias en el potencial eléctrico de distintos metales unidos entre sí y sumergidos en un electrolito, originan corrosión que es conocida como acción galvánica. Igualmente las diferencias en potencial entre un punto y otro de una superficie metálica sencilla causa corrosión conocida como acción local; que puede ser debida a causas tales como impurezas en la superficie, diferencias de estructura en la misma o diferencia en el medio ambiente cercano al metal. El conocimiento del origen de las corrientes de corrosión, es indispensable para su disminución o eliminación, mediante el cambio de los metales empleados en los recipientes donde se efectúan los procesos de fabricación ó la modificación del ambiente en el cual se realizaron dichos procesos.

Para conocer con más detalle la corrosión debida a la acción galvánica es esencial determinar el metal que en el par sufrirá una corrosión acelerada. Las posiciones de los metales en la serie electromotriz indican en forma burda este fenómeno de corrosión. En esta serie el gas hidrógeno es usado como un elemento arbitrario de referencia y en la misma se encuentra que los elementos de la parte superior de ella a partir

del hidrógeno, irán incrementando su reactividad y los colocados abajo del hidrógeno irán siendo más inertes. Por ejemplo un pedazo de potasio sumergido en agua, ocasiona una reacción violenta, no así un pedazo de platino introducido en ácido nítrico concentrado el cual no presenta evidencia de ataque.

La serie electromotriz también muestra cuales metales pueden desplazar a otros en solución y sufrir corrosión en el proceso. Cualquier metal puede desplazar a otro que se encuentre debajo de éste en la serie. Por ejemplo, el fierro puede desplazar al cobre desde una solución con iones cobre actuando como aceptores de electrones en la corrosión del fierro; el cobre desplazado aparece como un recubrimiento en la superficie corroída del fierro. Similarmente, los iones hidrógeno pueden actuar como aceptores de electrones para cada metal arriba del hidrógeno en la serie electromotriz, como en el caso del zinc en ácido clorhídrico; los metales abajo del hidrógeno en la serie no lo desplazan rápidamente de la solución y, por lo tanto, son más resistentes a la corrosión, como en el caso del cobre sumergido en ácido clorhídrico. Por otro lado, el cobre puede desplazar a la plata de una solución con iones plata que aquí actúan como aceptores de electrones en la corrosión del cobre.

SERIE DE FUERZAS ELECTROMOTRICES

Reacción en el electrodo Extremo activo	Electrodo es- tandard, poten- cial $E^{\circ}$ (volts) 25° C	Reacción en el electrodo	Electrodo stan- dard potencial $E^{\circ}$ (volts) 25° C
$K \rightarrow K^{+} + e^{-}$	- 2.922	$Ni \rightarrow Ni^{++} + 2e^{-}$	- 0.250
$Ca \rightarrow Ca^{++} + 2e^{-}$	- 2.87	$Sn \rightarrow Sn^{++} + 2e^{-}$	- 0.136
$Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	- 2.712	$Pb \rightarrow Pb^{++} + 2e^{-}$	- 0.126
$Mg \rightarrow Mg^{++} + 2e^{-}$	- 2.34	$H_2 \rightarrow 2H^{+} + 2e^{-}$	+ 0.000
$Be \rightarrow Be^{++} + 2e^{-}$	- 1.70	$Cu \rightarrow Cu^{++} + 2e^{-}$	+ 0.345
$Al \rightarrow Al^{+++} + 3e^{-}$	- 1.67	$Cu \rightarrow Cu^{+} + e^{-}$	+ 0.527
$Mn \rightarrow Mn^{++} + 2e^{-}$	- 1.05	$2Hg \rightarrow Hg_2^{++} + 2e^{-}$	+ 0.799
$Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e^{-}$	- 0.762	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$	+ 0.800
$Cr \rightarrow Cr^{+++} + 3e^{-}$	- 0.71	$Pd \rightarrow Pd^{++} + 2e^{-}$	+ 0.83
$Ga \rightarrow Ga^{+++} + 3e^{-}$	- 0.52	$Hg \rightarrow Hg^{++} + 2e^{-}$	+ 0.854
$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$	- 0.440	$Pt \rightarrow Pt^{++} + 2e^{-}$	+ ca 1.2
$Cd \rightarrow Cd^{++} + 2e^{-}$	- 0.402	$Au \rightarrow Au^{+++} + 3e^{-}$	+ 1.42
$In \rightarrow In^{+++} + 3e^{-}$	- 0.320	$Au \rightarrow Au^{+} + e^{-}$	+ 1.68
$Tl \rightarrow Tl^{+} + e^{-}$	- 0.366	Extremo noble	
$Co \rightarrow Co^{++} + 2e^{-}$	- 0.277		

Esta serie electromotriz es válida solo para metales en concentraciones particulares de sus propias sales, pero en otros electrolitos el funcionamiento puede ser diferente. En el estudio de la acción galvánica se usa en lugar de la serie electromotriz otra serie similar, basada en la experiencia con combinaciones de metales en una gran variedad de ambientes.

En un par, el metal cercano al inicio de la serie es el ánodo y sufre una corrosión acelerada en una unión galvánica, mientras que el que se encuentra al final de la serie actuará como cátodo y recibe protección galvánica. Un espécimen de magnesio fundido alrededor de un centro o alma de acero ilustra la acción galvánica, ya que el magnesio en la parte superior de la escala es el metal más activo y puede sufrir corrosión galvánica. Excepto para los metales colocados en los extremos de la tabla, cualquier metal puede actuar como ánodo ó cátodo, dependiendo ésto del otro metal con el cual esté en contacto y su relación galvánica en el ambiente en que se encuentre.

Fijar los factores que determinan la velocidad a la cual ocurre la corrosión galvánica es un estudio muy importante que a continuación se desarrolla. El grado de diferencia de potencial eléctrico entre dos metales; es uno de los factores a que antes se hace referencia, un metal en contacto a otro muy cercano a él en la tabla, será corroído más lentamente que cuando está en contacto con uno más separado a él en la misma tabla. Para ilustración, el zinc unido con aluminio en solución de cloruro de sodio generará un potencial de cerca de 300 milivolts, mientras

que con zinc y cobre en la misma solución se generará un potencial cercano a los 700 milivolts. A mayor potencial es mayor la fuerza directa o impulsora de la corrosión galvánica y a medida que la reacción de corrosión galvánica sigue adelante, hay una acumulación de los productos de reacción en el ánodo y en el cátodo; esto causa que el potencial inicial o fuerza directora disminuya; el potencial del ánodo es llevado hacia el cátodo, y el del cátodo hacia el ánodo. Esto es análogo al cambio en la diferencia de nivel entre un líquido en dos recipientes cuando éste fluye de uno a otro.

Este cambio de potencial es llamado polarización, en el ánodo polarización anódica y en el cátodo polarización catódica.

En las reacciones de corrosión que se han estado tratando, la polarización que ocurre en los cátodos ejerce más influencia -- controlante que el grado de polarización menor que ocurre en los ánodos, -- consecuentemente sucede que el cátodo tiene una importancia práctica mayor; esto puede ser una acumulación de hidrógeno para que efectivamente se cubran las superficies catódicas y así limitar la corrosión en los ánodos hasta que el hidrógeno es removido por una u otra de las reacciones catódicas, - tales como desprendimiento, ganancia o unión con oxígeno para formar - agua.

Estas reacciones catódicas no proceden con igual - facilidad en todas las superficies metálicas, como resultado de esto, algunos metales se polarizan más fácilmente que otros, y es necesario conocer las características de polarización al igual que el potencial inicial antes de que se pueda predecir la extensión de la corrosión galvánica con cualquier

unión particular de metales. Este cambio en el potencial, que llamamos polarización es una función no solo de la corriente, sino también de la densidad de la misma. Esto puede ser ilustrado por la siguiente analogía, al observar el nivel de un líquido en dos recipientes de diferente capacidad a los que se les ha vaciado el mismo volumen de líquido.

Similarmente para la misma cantidad de corriente, la densidad de ésta en un electrodo pequeño será mayor que en un electrodo grande; por ejemplo, con un cátodo grande el hidrógeno que llega a él se esparcirá y será más accesible para removerse por reacción con oxígeno. - Esto puede ser ilustrado por otra analogía hidráulica donde el líquido fluye desde un recipiente hacia otro; si el recipiente receptor es pequeño, (representando una densidad de corriente alta), el nivel se elevará más rápidamente y la unidad llegará al equilibrio más rápido que si el recipiente receptor es grande (representando una densidad de corriente baja). Un ejemplo directo de este efecto en corrosión galvánica es mostrado por un experimento en el cual piezas de acero del mismo tamaño son conectadas en una solución salina expuesta a la intemperie, a piezas de cobre de diferentes tamaños, una pequeña y una grande. Ambas uniones generan una corriente, pero la unión con el cátodo grande produce la mayor corriente; cuando el oxígeno suministrado interrumpe la polarización catódica, se observará que la caída de corriente es más rápida en la unión con el cátodo menor que con el cátodo mayor, justo como el flujo líquido dentro del recipiente pequeño es parado antes que con uno grande. Para mostrar otra vez la acción del oxígeno como despolarizador catódico, se necesita restablecer el flujo

de oxígeno y observar como la corriente de corrosión se incrementa otra vez.

Se puede ahora entender porque es arriesgado para una unión un cátodo grande con un ánodo chico. El incremento de corrosión donde el área del cátodo es relativamente grande es demostrada por la inmersión de platos remachados en agua de mar por varios meses. Uno de estos platos consiste de dos piezas de acero unidas por remaches de cobre; después de la inmersión en agua de mar, los remaches de cobre están aún en buenas condiciones y esto no significa una aceleración de la corrosión del acero en sus contornos inmediatos. El segundo plato consiste de dos piezas de cobre unidas por remaches de acero, los cuales presentan un definido contraste con el primer plato; los remaches de acero fueron severamente atacados. Los metales son los mismos en cada caso pero la desfavorable relación de áreas del cátodo de cobre mayor y el ánodo de acero menor fueron responsables de la severa corrosión galvánica de los remaches de acero.

El mismo tipo de celda que desarrollan dos metales diferentes puede también ser desarrollado en la superficie de un solo metal, las diferencias de potencial desde un punto a otro pueden ser creadas por cambios en el medio ambiente; por ejemplo, la concentración de iones de un metal en la solución corrosiva en un punto de la superficie del mismo puede volverse mayor que en otro punto, estando el metal en contacto con la solución de mayor concentración de iones llegando al cátodo y el metal en contacto con la menor concentración actuando como ánodo y siendo

corroído. Esta será la causa del flujo de electricidad entre los dos puntos.

La existencia y localización de ánodos y cátodos en una celda de corrosión con concentración de oxígeno en una superficie metálica puede ser demostrada por el cambio de color de ciertos reactivos, así como por el uso de instrumentos eléctricos. Es demostrable que la reacción catódica produce un incremento en la concentración de iones hidroxilo como resultado de remover los iones hidrógeno o mediante la reducción del oxígeno. La fenolftaleina es un buen indicador, el cual desarrolla un color rojo cuando la concentración de iones hidroxilo es incrementada. Así al observarse esta coloración se detecta la existencia de corrosión en un sitio determinado y de un cátodo.

Similarmente el ferricianuro de potasio es un reactivo que produce color azul por la reacción con iones ferrosos tales como los formados en las áreas anódicas cuando el fierro se corroe. La aparición de este color demuestra la existencia y localización de ánodos en el fierro. Usando estos reactivos en una celda establecida de una superficie de fierro dentro de una gota de gel, se puede mostrar el desarrollo y localización del cátodo y del ánodo.

El oxígeno del aire es más accesible a la periferia de la gota y aparece un cátodo que se muestra por el color rosa. Si multáneamente un ánodo, detectado por el color azul, se desarrolla cerca del centro de la gota el cual es menos accesible para el oxígeno.

Frecuentemente las condiciones que dan origen al ataque por celdas de concentración de oxígeno están asociadas con la pre-

sencia de un depósito de algún material en un punto sobre una superficie libremente expuesta. El metal libre del material depositado es accesible al oxígeno, mientras que el que está bajo el depósito está protegido de este gas, originándose bajo el depósito una celda de corrosión debido a la formación de iones metálicos en la región anódica. Los electrones fluirán a través del metal a la superficie exterior al depósito, y una reacción catódica resultará en la reducción del oxígeno para formar iones hidroxilo, por ejemplo, una cantidad pequeña de arena sobre una superficie de bronce - acelerará la corrosión principalmente bajo la arena.

El reactivo cambiante de color utilizado previamente para demostrar la concentración de oxígeno en las celdas puede ser usado para indicar la existencia y localización de ánodos y cátodos en otros tipos de celdas de corrosión, tales como los producidos entre metales distintos o de un punto a otro en una superficie metálica simple, por ejemplo, si se coloca un clavo de hierro cobrizado hasta la mitad en un gel conteniendo cloruro de sodio, fenolftaleína y ferricianuro de potasio, se desarrollará - un área rosada alrededor de la porción cobrizada y un área azul en la porción correspondiente al hierro, aumentando la intensidad de los colores - con el tiempo. Esto muestra que el hierro continúa corroyéndose como un ánodo y se incrementa la concentración de álcali en el cátodo de cobre.

Cuando un clavo de hierro es recubierto con zinc - en un extremo y es colocado en ese mismo gel, el hierro ahora actúa como cátodo y el zinc como ánodo, ya que el color rojo lo identifica como tal.

Como el fierro no entra a la solución en esta área, no se desarrolla el color azul, siendo el zinc corroído como un ánodo y consumido con lo cual el fierro se protege. Una área blanca se desarrolla alrededor del zinc ya que al corroerse y estar en contacto con el Ferricianuro de potasio forma un producto de color blanco.

Una técnica similar puede ser usada para mostrar la acción local de una celda en una superficie metálica por la colocación de un clavo de fierro en gel preparado. Después de un corto tiempo, un área rosa se desarrolla alrededor del mango o vástago del clavo, indicando la formación de un cátodo; similarmente se desarrollarán áreas azules alrededor de la cabeza y punta donde el fierro se solubiliza indicando que estas áreas son los ánodos, de esta manera se muestra nuevamente que la corrosión en una superficie metálica es de tipo electroquímico y es causada por un flujo de corriente entre las áreas anódica y catódica.

Como se observó previamente con el clavo recubierto de zinc, el fierro estuvo actuando solo como un cátodo y la acción anódica fué suprimida por el flujo de corriente desde el zinc. Este es un ejemplo de protección catódica, la cual puede ser ilustrada por experimentos similares. En el primer caso se usó zinc unido eléctricamente a un clavo de fierro como la fuente de corriente protectora, la cual hace que el fierro actúe totalmente como cátodo y esto es comprobado por el desarrollo de un color rojo que muestra la presencia de una región alcalina catódica. Es de notar la ausencia de color azul sobre el espécimen receptor de corriente que proviene del zinc.

Como el fierro no entra a la solución en esta área, no se desarrolla el color azul, siendo el zinc corroído como un ánodo y consumido con lo cual el fierro se protege. Una área blanca se desarrolla alrededor del zinc ya que al corroerse y estar en contacto con el Ferricianuro de potasio forma un producto de color blanco.

Una técnica similar puede ser usada para mostrar la acción local de una celda en una superficie metálica por la colocación de un clavo de fierro en gel preparado. Después de un corto tiempo, un área rosa se desarrolla alrededor del mango o vástago del clavo, indicando la formación de un cátodo; similarmente se desarrollarán áreas azules alrededor de la cabeza y punta donde el fierro se solubiliza indicando que estas áreas son los ánodos, de esta manera se muestra nuevamente que la corrosión en una superficie metálica es de tipo electroquímico y es causada por un flujo de corriente entre las áreas anódica y catódica.

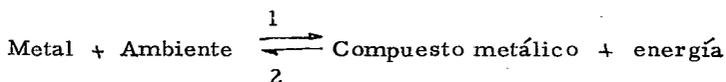
Como se observó previamente con el clavo recubierto de zinc, el fierro estuvo actuando solo como un cátodo y la acción anódica fué suprimida por el flujo de corriente desde el zinc. Este es un ejemplo de protección catódica, la cual puede ser ilustrada por experimentos similares. En el primer caso se usó zinc unido eléctricamente a un clavo de fierro como la fuente de corriente protectora, la cual hace que el fierro actúe totalmente como cátodo y esto es comprobado por el desarrollo de un color rojo que muestra la presencia de una región alcalina catódica. Es de notar la ausencia de color azul sobre el espécimen receptor de corriente que proviene del zinc.

De la misma manera, la protección catódica puede eliminar la acción galvánica destructiva como entre el acero y el cobre en un clavo parcialmente cobrizado, en donde se ve que ambos se han vuelto catódicos y no ocurre una corrosión anódica del fierro en el espécimen compuesto, el cual recibe corriente desde el zinc. El desarrollo completo de este color requiere de varias horas.

En la práctica, la corriente protectora puede ser imprimida desde un generador-rectificador, u otra fuente externa a través de un ánodo apropiado, o puede ser generada por la corrosión del zinc como en los experimentos anteriores o del magnesio.

Con relación al ambiente al que está expuesto el metal, además de lo indicado en los párrafos anteriores, éste puede ser en términos generales sólido, líquido o gaseoso o una combinación de éstos; además del estado físico del ambiente, deben considerarse otros factores que entran en juego en el mecanismo de la corrosión tales como : temperatura, presión, tiempo, impurezas, fuerzas erosivas, si el ambiente es estático o dinámico, etc. En lo que se refiere al estado físico del ambiente, predominan el líquido y gaseoso.

Bajo el mismo mecanismo energético que gobierna las reacciones químicas, analizando los principios en que se apoya la corrosión, se encuentra que ésta ocurre por una razón perfectamente natural. Esta reacción se expresaría en la siguiente forma :



Alterando las condiciones, puede invertirse la dirección de esta reacción y en esta forma obtener los beneficios del metal y sus características para el propio uso. Sin embargo, las fuerzas de la naturaleza intentarán continuamente favorecer la dirección primeramente señalada de esta reacción. Expresado lo anterior en lenguaje termodinámico, - cuando un metal está sujeto a corrosión hay en el sistema una disminución - en la energía libre o sea que  $\Delta F$  para la reacción es negativa. En el caso - de los llamados metales nobles,  $\Delta F$  puede ser positiva.

Al analizar una reacción de corrosión, el cambio del nivel de la energía por sí solo no expresará nada respecto a la velocidad a la cual se efectúa. Para analizar este punto es necesario conocer los distintos factores que gobiernan la cinética de la reacción. Considerando que la velocidad de corrosión se determina por la velocidad de flujo de electrones entre las áreas catódicas y anódicas, se puede concluir que cualquier - reducción en este flujo de corriente, reducirá el grado de la corrosión. En la corrosión de los metales deberá considerarse además la distribución de la corriente de electrones; bajo ciertas condiciones, en los metales la corrosión puede presentarse en áreas concentradas (corrosión intergranular o corrosión por puntos); en estos casos bastará una ligera corriente para producir una falla por corrosión.

Los metales tienen tendencia variable a corroerse en medio acuoso y generalmente se usan las series de fuerza electromotriz (FEM) en las que se señalan las reacciones anódicas en orden de tendencia o magnitud de la FEM bajo condiciones estandar.

Existen algunos metales y aleaciones que muestran un comportamiento más noble del que les corresponde de acuerdo con el lugar que ocupan en la serie FEM. Esta condición obedece a un fenómeno al que se le llama pasividad; este comportamiento constituye un factor muy importante en el análisis general de la corrosión y los medios usuales para combatirla. Existen varios casos de pasividad que conviene mencionar :

De acuerdo con la serie de FEM, el cromo está por encima del hierro y por lo tanto debería ser más activo o menos resistente a la corrosión que el hierro, en consecuencia, si añadimos cromo al hierro (arriba del 12%) esta aleación debería ser menos resistente a la corrosión que el acero ordinario; pero en la práctica sucede lo contrario y estas aleaciones constituyen lo que se conoce como aceros inoxidables precisamente por su resistencia a la corrosión.

El cromo, al igual que otros metales y aleaciones presentan pasividad por la formación de películas protectoras en la superficie del metal; esta película puede ser un óxido del metal o la adsorción de una película de oxígeno que actúa como barrera protegiendo al metal del ambiente.

Sin embargo, el término pasividad es relativo y esa pasividad depende de las condiciones a que esté sujeto el metal o aleación. Por ejemplo, el acero inoxidable puede comportarse pasivo en ácido nítrico pero es atacado por el ácido clorhídrico concentrado.

### Clasificación de la Corrosión

Generalmente la corrosión se clasifica en base -

a la forma como se manifiesta y aún cuando en esta forma es arbitraria, pue de servir de base para su estudio. Algunas formas de corrosión son las siguientes :

- 1) Corrosión por ataque uniforme o corrosión total.
- 2) Corrosión galvánica.
- 3) Corrosión atmosférica.
- 4) Corrosión por celdas de concentración.
- 5) Corrosión por puntos.
- 6) Corrosión intergranular.
- 7) Corrosión por esfuerzos inducidos.
- 8) Corrosión por erosión.

Corrosión uniforme. - Esta es la forma más común en metales y aleaciones y representa la principal causa de destrucción de material y es la más sencilla de controlar ya que habiéndose determinado su solución implica el uso de materiales adecuados, inhibidores, capas protectoras o combinación de estos medios. Los demás tipos de corrosión son más difíciles de predecir y controlar, causan mayores problemas ya que su manifestación es imprevista en muchos casos.

Corrosión galvánica. - Este tipo de corrosión se produce cuando dos metales o aleaciones están en contacto ya sea directo o a través de una solución conductora. En estas condiciones se establece un potencial entre los dos metales y se origina el flujo de corriente que iniciará la corrosión con una velocidad dependiente de las reacciones en la superficie de ellos:

El grado de resistencia a la corrosión de los metales está en función a la ubicación de ellos con respecto a la serie electromotriz.

Los potenciales galvánicos son usados prácticamente en baterías. En la pila Daniell, conteniendo soluciones de actividad unitaria, el potencial standard del cobre en contacto con iones cúpricos es de  $0.34V$ , y el zinc con iones zinc de  $-0.77V$ , produciendo una diferencia de potencial de  $1.1V$ . En algunos casos de corrosión galvánica la situación es menos simple, ya que el ambiente acuoso usualmente no contiene iones de actividad unitaria y la superficie del metal está extensamente cubierta con una película de óxido. Bajo estas circunstancias la referencia a la serie electromotriz debe estar hecha con cuidado. Por ejemplo, el aluminio se encuentra abajo del zinc, por lo tanto éste será anódico, ya que el zinc lo protege cubriéndolo con una película de óxido.

Ya que la difusión de oxígeno es frecuentemente el factor que determina la rapidez de corrosión en medio acuoso, la relación de las áreas cátodo/ánodo determina el grado de intensidad del ataque galvánico.

Tales efectos ocurren en juntas de estructuras unidas por un diferente metal y pueden ser evitados por un recubrimiento (metálico), por ejemplo, cadmio o preferentemente zinc.

Ya que el óxido de fierro, como los óxidos de cobre son rápidamente reducibles, el acero se recubre frecuentemente con cadmio si se va a usar junto con aluminio. Los metales pueden ser aislados uno de otro, recubriéndolos con otro metal usando revestimientos adecuados, para evitar pares peligrosos, mucho depende de las condiciones de servicio.

La corrosión galvánica puede ocurrir sin que dos metales estén en contacto directo. Si se tiene una solución de un ácido débil en agua - (por ejemplo, ácido carbónico) y éste fluye a través de tuberías de cobre, y llega a un tanque galvanizado, cualquier partícula de cobre desprendida de las tuberías, se depositará en el tanque galvanizado produciéndose la siguiente reacción :



y los cátodos de cobre eficientes producirán un intenso ataque local sobre el recubrimiento de zinc. Similarmente si dos metales están aislados uno del otro la corrosión puede ocurrir también, si los productos de corrosión del metal catódico se depositan en el metal anódico y se reducen a metal - puro, por ejemplo, fierro y aluminio.

Algunos pares de metales pueden cambiar su polaridad. El zinc es anódico con respecto al fierro y es ampliamente usado como recubrimiento y tal proceso se llama galvanizado siempre y cuando éste no se encuentre combinado. En condiciones acuosas el zinc se corroe preferentemente protegiendo al fierro. (Siendo esta propiedad una base para la elaboración del presente trabajo). La precipitación de hidróxido de zinc mantiene condiciones anódicas en la superficie del zinc, pero arriba de 60° C aproximadamente se forma una película dura y compacta de óxido de zinc el cual es catódico con respecto al fierro. Si se requiere protección debe usarse otro material anódico, por ejemplo el magnesio. El magnesio es ampliamente usado como ánodo de sacrificio en tanques de aceite, barcos, etc.

La corrosión por agrietamiento puede surgir bajo condiciones de corrosión galvánica, pero el término también incluye todas las formas de corrosión que son peculiares a las condiciones de agrietamiento. Estas pueden ser creadas por partículas de polvo sobre una superficie que puede ser higroscópica, juntas entre dos placas ribeteadas, etc. Mucha corrosión por agrietamiento surge del efecto de exclusión de oxígeno. Algunos metales que son altamente resistentes en presencia de oxígeno (titanio y acero inoxidable) pueden sufrir duramente este tipo de ataque. Un diseño inteligente puede ayudar a reducirlo eliminando lugares donde la humedad se concentre.

Un factor muy importante en la corrosión galvánica es el llamado efecto de área o sea la relación entre las áreas catódicas y anódicas y lógicamente aumenta el efecto de la corrosión cuando se tiene un área catódica grande y una área anódica reducida, como anteriormente se mencionó. Este tipo de corrosión puede atacarse de muy distintas formas según el caso específico :

1. - Debe evitarse la combinación de metales en aquellos casos en los cuales el área del menos noble sea relativamente pequeña.
2. - Pueden aislarse las uniones de distintos metales (una válvula a la tubería, roldanas, pernos, etc.).
3. - Puede aplicarse pintura o recubrimiento a ambos metales.
4. - Se puede evitar o disminuir la corrosión galvánica seleccionando la combinación de metales en tal forma que estén

lo más cercanos posible en la serie de FEM.

5. - En algunos casos pueden usarse inhibidores químicos de acuerdo con la naturaleza de la solución presente.

Corrosión Atmosférica. - Los metales están siempre cubiertos con una muy delgada capa de óxido. Usualmente éstas rápidamente alcanzan espesores limitados, pero hay muchos casos, particularmente en atmósferas contaminadas, cuando en metales y aleaciones la película continúa aumentando a temperatura ambiente. El grado de humedad y el contenido de la atmósfera son los dos factores importantes que determinan el al cance o límite de la corrosión atmosférica.

Esta es usualmente una humedad crítica correspondiente a las condiciones de condensación, más allá de las cuales la cantidad de corrosión atmosférica se incrementa considerablemente. Entre más contaminada esté la atmósfera, más agresiva será la película condensada.

Cuando una superficie metálica se pone en contacto con agua pura ésta es cubierta con una capa de humedad que muy delgada, con una molécula de espesor a humedad relativa de 60% y dos moléculas a 90%. Cualquier material higroscópico presente en esta capa la volverá de mayor espesor y las condiciones son entonces acuosas. Pequeñas partículas de dichas sustancias, incluyendo carbón y ceniza, se convertirán en núcleos para el ataque corrosivo. Las atmósferas contaminadas frecuentemente contienen azufre y óxidos. Los gases están disueltos en la humedad y algunas superficies metálicas catalizan la oxidación del sulfuro desde cuatro hasta seis valencias. Los productos finales consisten en gran parte de ácido sulfúrico.

Muchas películas que deslustran los metales se forman en una atmósfera -  
conteniendo grandes proporciones de iones sulfato. El azufre y productos  
azufrosos que no están oxidados pueden reaccionar con la superficie me-  
tálica para formar sulfuros, algunos de los cuales están parcialmente oxi  
dados a sulfatos, o de otra manera estimulan la reacción catódica e incre-  
mentan el rango de corrosión.

Los sulfuros son más deficientes que los óxidos de azufre y ellos  
por consiguiente producen aumentos en la corrosión.

La concentración de cloruros en la atmósfera disminuye rápida-  
mente desde un alto valor al nivel del mar a menos que esté prevalecte  
un viento en la costa. Los cloruros son muy propensos a localizar la ini-  
ciación de un ataque corrosivo en superficies usualmente resistentes, por  
ejemplo, el aluminio y el cromado (película de cromo), originando la crea  
ción de hoquedades las cuales se vuelven profundas. Existe contaminación  
y humedad variables y puesto que algunas reacciones de superficie están  
condicionadas grandemente por la formación de óxidos en el aire y la reac-  
ción del metal con el anión, esto dificulta poder generalizar acerca de las  
reacciones de los metales y aleaciones en atmósferas.

Corrosión por Celdas de Concentración. - Al estar un metal o -  
aleación en presencia de un ambiente no uniforme, pueden desarrollarse  
celdas que producirán corrosión. Si el ambiente es una solución, la parte  
del metal expuesta a la solución más diluída se volverá más anódica o sea  
más activa y viceversa, así mismo el mismo metal en presencia de solu-  
ción más concentrada se hará más noble (catódico).

Este tipo de corrosión depende mucho de las características de flujo del ambiente y generalmente se relaciona con ellos, soluciones estáticas o cambio de velocidad en el flujo de éstas. La corrosión originada por celda de concentración es muy común bajo los depósitos tales como : óxido, suciedad u otros sólidos. Para evitar este tipo de corrosión se recomienda :

1. - Evitar las juntas remachadas utilizando juntas soldadas cuando sea posible.
2. - Diseñar los tanques o recipientes de tal manera que puedan drenarse completamente, suprimiendo esquinas agudas y áreas con ambiente estático.
3. - Remover los sólidos en suspensión o mantenerlos en flujo constante durante operación.
4. - Diseñar juntas con empaques accesibles de tal forma que puedan remover en períodos de paradas largas.
5. - Procurar que el ambiente se mantenga uniforme.

Corrosión por puntos ó picado por corrosión. - Este tipo encierra aquellos casos en los cuales la corrosión se manifiesta en una forma extremadamente localizada. Las áreas anódicas son puntos localizados en los que la corrosión tiene acción profunda que produce orificios o perforaciones del metal o aleación. Como es fácil deducir, este tipo de corrosión es difícil de controlar y predecir y es el que produce generalmente fallas prematuras si se considera como base la pérdida en peso del metal en general, y se origina principalmente por desuniformidad -

interna del metal o aleación ó por diferencias en la uniformidad del ambiente. En el caso de los metales o aleaciones que forman películas "pasivas", éstas pueden ser afectadas por el ión cloro. Por ejemplo : el ión cloro en las soluciones tiene un poder de penetración que tiende a romper las películas protectoras de dichos metales originando ataques concentrados en puntos.

La corrosión por puntos mantiene mucha similitud con la de celdas de concentración y puede atacarse con los mismos medios que se mencionaron anteriormente. Hay algunas aleaciones que se fabrican especialmente para resistir este tipo de corrosión. Por ejemplo, los aceros - inoxidables tienen tendencia a ser corroídos en esta forma, pero si se añade a la aleación un 2% de molibdeno, aumenta grandemente su resistencia.

Corrosión Intergranular. - Esta obedece a factores eminentemente metalúrgicos en relación con las estructuras internas de los metales y aleaciones. Como su nombre lo indica, esta corrosión se concentra en los límites de los granos o estructura de los metales y aleaciones que origina en un debilitamiento o la desintegración de la estructura misma del metal. Los aceros inoxidables presentan frecuentemente este tipo de corrosión, debida en este caso a disminución en el contenido de cromo en las zonas intergranulares o en aquellas zonas en las que se aplica soldadura; existen tratamientos térmicos que restablecen el equilibrio en las aleaciones inoxidables para evitar el ataque en las zonas intergranulares y también con la adición de elementos que actúan como estabilizadores, tales

como columbio y titanio.

Corrosión por Esfuerzos Inducidos. - En los casos en los cuales los metales o aleaciones están sujetos a esfuerzos, la combinación de éstos y el efecto de la corrosión misma pueden producir fallas en ellos a las que se les llama genéricamente corrosión por esfuerzos. Los esfuerzos que producen este tipo de falla son de tensión y pueden deberse ya sea a cargas aplicadas directamente o bien a esfuerzos residuales; éstos últimos son los que generalmente producen la corrosión por esfuerzos inducidos ya que los miembros estructurales tienen márgenes sobrados que impiden fallas por la carga que se les aplique. En cambio los esfuerzos residuales inducidos en el metal o aleación por soldadura o trabajo en frío tienen un valor elevado que usualmente está en el límite elástico del material o muy cerca de él.

El mecanismo de este tipo de falla tiene dos etapas definidas: la iniciación y la propagación. En la etapa de iniciación la corrosión hacia la falla y su propagación se debe a la combinación de la corrosión y la carga o esfuerzo inducido. Existen varias teorías para explicar este mecanismo, algunas de ellas se apoyan en el hecho de que al aplicar esfuerzos a un metal o aleación se crean zonas anódicas que acentúan la corrosión.

Para evitar este tipo de corrosión y en base al efecto de los esfuerzos residuales, una solución al problema puede ser un tratamiento térmico al metal para relevarlo de dichos esfuerzos, otra consiste en seleccionar el metal o aleación de tal forma que sea completamente resistente al ambiente corrosivo, reduciendo la agresividad del ambiente, ba-

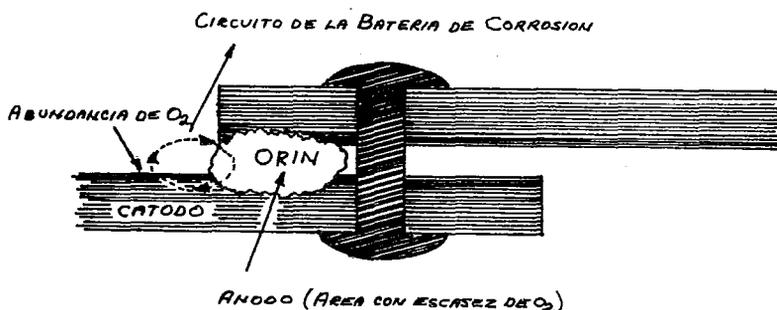
jando la temperatura, disminuyendo la concentración, añadiendo inhibidores o recubriendo adecuadamente al material.

**Corrosión por Erosión.** - Se origina generalmente por el efecto combinado del desgaste mecánico del metal, el cual es producido por el movimiento relativo del fluido corrosivo y la corrosión misma. Sin embargo, el movimiento del fluido en el mismo puede disminuir la corrosión en el metal como se mencionaba en el caso de corrosión por celdas de concentración. Este tipo de corrosión muchas veces produce fallas inesperadas en corto tiempo, lo cual puede deberse a que las pruebas de evaluación se hayan efectuado bajo condiciones estáticas o bien que no se hayan considerado los efectos de la erosión.

Aún cuando todos los metales y aleaciones son susceptibles a la corrosión por erosión, ésta es más peligrosa en los que basan su resistencia en la formación de películas protectoras (pasivación) tales como el aluminio, titanio y los aceros inoxidable. La erosión en estos metales daña o destruye la película protectora haciendo que el metal sea atacado rápidamente por la corrosión. El daño a esa película protectora depende de varios factores como : concentración, temperatura, pH, velocidad del fluido, sólidos en suspensión, etc.

Existen casos en los que el aumento en la velocidad del fluido corrosivo mejora su resistencia a la corrosión, por ejemplo, la velocidad aumenta la efectividad de los inhibidores. También el tipo de flujo influye en esta forma de corrosión y generalmente el flujo turbulento aumenta el grado de corrosión en comparación con el flujo laminar.

Corrosión en hendeduras.- La presencia de hendeduras, huecos, cavidades o bolsas en las estructuras de acero constituyen un problema especial de corrosión y que es extremadamente difícil de combatir con éxito, ya que aquellas tienen tendencia a corroerse con mucha mayor rapidez que las superficies metálicas adyacentes.



Como en todos los casos, deben hallarse presentes los factores esenciales del proceso de la corrosión, o sean el oxígeno, el agua y los iones. Las cavidades contienen con toda seguridad, sales solubles y soluciones de estas sales, de suerte que se tienen iones y agua más que suficientes para formar un electrolito. El otro elemento necesario es el oxígeno. Tal como se ha observado en la corrosión del hierro y en la corrosión galvánica, la transformación del oxígeno en cáustico (oxhidrilo) está asociada con el área catódica (el área protegida). De dos áreas metálicas involucradas en una batería de corrosión, como la señalada en la figura anterior, el área que está expuesta a un ambiente con

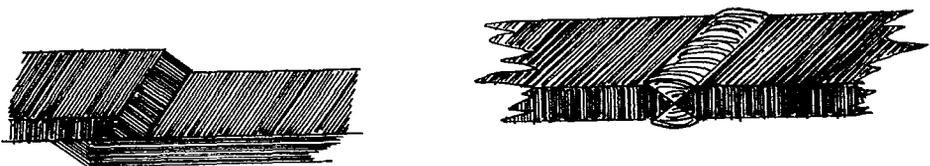
mayor concentración de oxígeno, se convertirá en cátodo, y forzará a la otra que tiene escasez de oxígeno a actuar como ánodo, originándose la corrosión en ella.

Se sabe, por una larga experiencia, que es muy difícil detener este tipo de corrosión. La aplicación de pintura sobre la cavidad generalmente no da resultado satisfactorio porque las sales atrapadas y la herrumbre cargada de productos corrosivos, así como el agua inducirán el pronto ampollamiento de la pintura, ocasionando el deterioro prematuro de la película y también porque los bordes agudos o cortantes de la cavidad, - quedarán deficientemente protegidos por la pintura, de manera que la - corrosión del borde comenzará de inmediato. La ruptura de la película a lo largo del borde, seguida de la pérdida progresiva de la adherencia, ocasiona un comportamiento defectuoso de la pintura.

Por tal motivo, es preferible usar soldadura en lugar de remaches y punteado y la soldadura en las juntas deben ser continuas y no - separadas o punteadas.



En traslapes ambas puntas deben ser soldadas o mejor aún, - usar una junta achaflanada soldada en ambos casos.



Si se usan remaches, éstos preferentemente deben ser de cabeza plana y esmerilados a ras, pero si se utilizan remaches salientes, es preferible que sean de cabeza redonda y no angular.



Siempre que sea posible es recomendable el uso de estructuras con miembros circulares, con lo cual se evita el problema del recubrimiento de las aristas y ángulos, también es recomendable evitar las soldaduras de los patines de ángulos y canales.

Por lo anteriormente expuesto es recomendable la intervención de un experto en corrosión cuando se diseña una estructura metálica. En las estructuras metálicas ya existentes, deberán llenarse los huecos con masillas o rellenos apropiados, así como revisarse las técnicas de soldadura empleada, eliminando las salpicaduras que existan, bolsas, grietas y huecos de toda especie en áreas que vayan a ser pintadas.

Corrosión Bajo las Escamas o Escoria de Laminación. - En virtud de que es muy frecuente encontrar en los metales laminados escamas o escoria que constituyen un factor importante de corrosión, es conveniente que se quiten o eliminen completamente mediante sopleteado con chorro de arena, con lo cual se obtienen mejores resultados con las pinturas o revestimientos protectores que se apliquen al acero que presenta estas características.

Las escamas o escoria de laminación son una forma de óxido de

fierro que se produce durante el proceso de la fabricación del acero. Aunque forman una película muy dura, muy bien adherida a la superficie del acero, es frágil y propensa a agrietamiento y astillamiento. Sin embargo, lo peor es que las escamas de laminación son catódicas respecto al acero, lo que - acelera la corrosión galvánica cuando a consecuencia de una grieta queda - expuesta la superficie del acero subyacente.

El fracaso que resulta de pintar sobre escamas de laminación - puede verse en la figura siguiente. Como las escamas de laminación no - cubren uniformemente la superficie del acero, si se aplica una pintura o - un revestimiento a dicha superficie quedarán desnudas pequeñas áreas del acero entre éste y la pintura.

La pintura no puede evitar el agrietamiento o astillamiento de las escamas de laminación a menos que sea un perfecto aislador. Pero como ninguna pintura es un aislador perfecto, se formarán algunas baterías de corrosión. Si se producen fracturas o grietas locales, pequeñas áreas de acero desnudas quedarán sujetas al ataque de grandes áreas catódicas. Al aparecer la picadura y formarse el orín, la acumulación de éste bajo el borde de la escama, la agrietará y terminará por romperla, aflojando una pequeña parte de la escama. Ahora bien, como la pintura se ha aplicado directamente sobre la escama de laminación y no está - adherida al acero, en el momento de romperse y desprenderse la escama es de esperar el fracaso del revestimiento. La continuada formación de orín aflojará el revestimiento o en su caso la pintura, lo que se pondrá de manifiesto por el descascaramiento, ampollamiento y ruptura del revesti-

miento, así como por la pérdida de la adherencia.

Como conclusión de lo visto anteriormente se puede decir que para que la corrosión se lleve a cabo, deben concurrir las condiciones usuales. Es decir, debe haber presencia de oxígeno (todo oxígeno necesario para la corrosión se encuentra en la atmósfera y todo el metal expuesto está constantemente en contacto con él), agua (la atmósfera, excepto en las zonas desérticas contiene humedad) e iones (humos industriales, smog, brisa salina, localidades marinas, salpicaduras y derrames, contaminación de suelos, etc. todas éstas son fuentes que pueden proporcionar minerales, sales o materiales alcalinos que al disolverse en la humedad existente, al igual que los ácidos producen iones).

Por lo general, una gran cantidad de iones da como resultado una rápida oxidación y corrosión, Esto se debe a que una deficiencia o aumento de iones generan un circuito de baja o alta eficiencia conductora, y el flujo de corriente se reducirá o aumentará.

## 2. - METODOS DE CONTROL DE CORROSION.

La tendencia de los metales a corroerse es una cosa natural que debe reconocerse como inevitable. La tarea del ingeniero químico es controlar sus efectos destructores con un mínimo de costo. Hay cinco métodos principales para el efecto :

- 1) Sobre diseño de estructuras.
- 2) Uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión.
- 3) Modificación del ambiente, uso de inhibidores.
- 4) Protección electroquímica; protección catódica.
- 5) Protección por aislamientos.

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas peculiares y hay ciertos casos en que cada uno de ellos resulta el más económico. Como en una planta industrial se presentan diversos tipos de corrosión, no existe un solo método que pueda considerarse como universal. Cada situación debe estudiarse individualmente y la decisión adoptada debe basarse en factores tales como el tiempo de suspensión de la labores, posibilidad de que el equipo resulte anticuado, temperaturas y ciclos de operación, apariencia, ambiente, etc. Es necesario considerar, para cada problema separado de corrosión, estos factores individuales y seleccionar el medio que proporcione la mayor protección con la mayor economía.

1. - Sobre diseño de Estructuras.

Un método de combatir o anticiparse a los efectos de la corrosión consiste en el uso de piezas estructurales más pesadas y láminas más gruesas en previsión de pérdidas o desgaste de ellas. Frecuentemente se especifican láminas excesivamente gruesas, cuando podrían usarse mucho más delgadas y ligeras si se evitara la corrosión. Existe ahora la tendencia de usar piezas estructurales más livianas y emplear los métodos de protección adecuados.

El inconveniente de usar estructuras reforzadas, con un margen para la corrosión, es que no se pueden calcular con exactitud ni la duración del metal ni el costo de reposición del equipo corroído.

2. - Uso de Materiales Resistentes a la Corrosión.

Debido principalmente a su precio y cualidades estructurales, el hierro y el acero son los metales que más se usan en las construcciones industriales, como ya se ha señalado previamente, estos metales tienden a corroerse o a convertirse en óxidos con mayor rapidez que otros materiales. Por consiguiente, los ingenieros químicos recurren, en condiciones de exposición extremadamente severas al uso de aleaciones que retardan el proceso de corrosión. La operación a altas temperaturas junto con sustancias químicas fuertemente corrosivas, pueden originar una situación demasiado severa para cualquier otra clase de material estructural o de protección. En estos casos, el costo inicial elevado de estos metales se justifica fácilmente por su larga duración.

Entre los metales que más comúnmente se usan para

aleaciones con el hierro figuran el cromo, cobre, níquel y molibdeno. De los metales que se usan en su estado puro, el aluminio es el único que tiene un precio razonable y que se emplea ampliamente, mientras que metales más raros como el titanio y el tantalio, se usan únicamente cuando las condiciones son extraordinariamente severas. La decisión de usar este tipo de construcción u otro medio de control, dependerá, en gran parte, de las condiciones de exposición y del costo final de los métodos considerados. En la mayor parte de las plantas, las exposiciones son tan sólo medianamente corrosivas, de suerte que el empleo de aleaciones o de metales raros como materiales de construcción no resulta económico.

Además de las aleaciones, se pueden disponer en la actualidad de muchos materiales plásticos resistentes a la corrosión. Materiales termoplásticos tales como el cloruro de polivinilo y el polietileno se usan en tuberías para líquidos y vapores. Las resinas epóxicas y compuestos poliésteres reforzados con fibra de vidrio se emplean en tuberías que deben soportar ciertas temperaturas límites y también en tanques y reactores.

### 3.- Modificación del Ambiente, uso de Inhibidores.

Este procedimiento implica, generalmente, controlar 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 salmuera. Como

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

#### 4. - Protección Electroquímica. Protección Catódica.

Un tercer método que puede utilizar el ingeniero químico es la protección catódica. Se ha visto cómo dos metales pueden acoplarse para producir corrosión galvánica. Si bien lo que interesa frecuentemente es disminuir la corrosión del metal activo, es posible sacar ventaja del hecho de que el metal que actúa como cátodo queda protegido mientras el ánodo se corroe. Acoplando deliberadamente dos metales diferentes, podemos evitar la corrosión del menos activo (cátodo) a expensas del otro metal.

Por lo tanto, para proteger la superficie del acero, debemos escoger un metal más activo, es decir, uno que se halle arriba en la serie galvánica ó electromotriz. Para este objeto, se usa generalmente el magnesio. Cuando se acopla eléctricamente al acero, se forma una batería amplificada de corrosión en la que el magnesio, debido a su mayor actividad, constituye el ánodo y el acero el cátodo. De esta suerte, el ánodo de magnesio se corroe, quedando el cátodo de acero intacto.

Los mismos resultados pueden lograrse suminis-

trando corriente eléctrica de una fuente externa, al metal que deseamos proteger. En este sistema pueden usarse como fuentes de corriente directa : generadores, rectificadores, acumuladores, pilas secas y un metal inerte, para evitar la rápida desintegración del ánodo.

El método de protección catódica ha encontrado su principal aplicación en equipo marino, tanques de agua caliente, tuberías subterráneas y submarinas. La sencillez es, ciertamente, una de sus principales ventajas, y su eficacia en presencia de un buen electrolito es indiscutible. Sin embargo, por lo general, se emplea como complemento al uso de revestimientos protectores.

#### 5. - Protección por Aislamiento.

Barreras. Todas las medidas protectoras referidas anteriormente pueden utilizarse con ventaja en diversas áreas particulares de las plantas industriales, sin embargo el medio de control de la corrosión que es más versátil, eficaz y ha logrado la mayor aceptación, es la aplicación de pinturas o revestimientos protectores. Estas barreras de pintura tienen a su cargo la protección de la mayor parte de las superficies de metal, madera o concreto en casi todas las plantas. Son, indiscutiblemente, las principales armas de que dispone el ingeniero, de corrosión y los principales medios para la conservación y mantenimiento de las plantas.

Estas barreras pueden variar desde capas relativamente delgadas a manera de pintura hasta revestimientos de ladrillos de 30 centímetros de espesor. Cada tipo tiene su propia área de aplicación y muchos pueden usarse combinadamente en mayor o menor proporción. Por lo tanto

es indispensable un cuidadoso análisis de cualquier problema individual de corrosión, antes de adoptar una decisión sobre el método apropiado.

La selección de la barrera adecuada para una situación dada no es el único factor ya que igual importancia tienen la preparación de la superficie que se trata de proteger y la técnica de aplicación. Se dispone de una gran variedad de equipos y procedimientos para este fin, y el éxito final de una pintura o revestimiento dependerá de una acertada selección y apropiada aplicación de él.

### FUNCION DE UN REVESTIMIENTO

Si un revestimiento debe controlar la corrosión sirviendo de barrera frente al medio ambiente, debe ser resistente a la acción corrosiva de él: si está expuesto a soluciones o humos químicos, debe ser inerte o inatacable por esta atmósfera, si está expuesto a la intemperie, debe resistir la acción del oxígeno, de la humedad y del sol.

No basta, que el revestimiento sea resistente por sí mismo, sino que debe constituir una barrera que impida que las reacciones de la corrosión prosigan a través de la película. Como el proceso de la corrosión depende de circuitos eléctricos, los revestimientos no deben ser conductores de la electricidad. Aún cuando la mayor parte de las pinturas no son conductores eléctricos, varían grandemente en cuanto a su permeabilidad a los iones. Así, algunas de ellas permiten la difusión de éstos a través de la película con una rapidez cien veces mayor que otras. Esta característica de la permeabilidad a los iones es de enorme importancia, ya que la película que permite el paso de ellos actuará en cierto grado,

como un conductor eléctrico prosiguiendo la corrosión directamente a través de la película.

Otro factor 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 mismos, 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.

Como el oxígeno es otro factor importante en la corrosión, es preciso excluirlo mediante capas de revestimiento protectores que deben ser impermeables a dicho elemento y adherirse a la superficie que se trata de proteger.

En resumen : una pintura anticorrosiva, para que sea eficaz, debe llenar los siguientes requisitos :

1. - Resistir el ambiente exterior.
2. - Excluir la humedad.
3. - Excluir los iones.
4. - Excluir el oxígeno.
5. - Adherirse a las superficies.

No existe actualmente una pintura que satisfaga perfectamente todos estos requisitos, pero hay una gran variedad de revestimiento, dentro de los cuales es posible escoger el apropiado a cada problema. Como los humos y vapores ácidos, la humedad y las sales presentes en el aire, aumentan grandemente la rapidez de la corrosión. -

Es necesario para evitar este fenómeno durante un largo período de tiempo que el revestimiento escogido sea el apropiado y se aplique debidamente.

### 3. - PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Las modernas pinturas protectoras, mejor llamadas revestimientos protectores, tienen su origen en los materiales que los artistas utilizaron en la realización de sus obras pictóricas. En la historia de la humanidad se encuentra que los artistas reunieron los materiales y desarrollaron los métodos para preparar pinturas y por tal motivo la preparación de pinturas y barnices constituyó, en sí misma, un arte durante muchas centurias.

Con el desarrollo industrial que tuvo lugar en los siglos dieciocho y diecinueve, comenzó a surgir la pintura como producto comercial. Sin embargo, los ingredientes básicos para su preparación seguían siendo los aceites y resinas naturales usados tradicionalmente, los cuales tienen algún valor como pinturas protectoras, pero su eficacia es limitada.

En el presente siglo, el gran incremento de la industria ha originado fuertes demandas de pinturas de diversas características, a las que las ciencias químicas atiende mediante estudios y trabajos de investigación.

Durante los últimos treinta años, crecientes y vigorosos esfuerzos científicos han revolucionado, la manufactura de las pinturas y en la actualidad, ya se dispone de algunas que resisten casi todas las sustancias químicas y condiciones o ambientes corrosivos. A estas pinturas, que se distinguen de las que se usan para fines decorativos, se les llama revestimientos protectores y son valiosos auxiliares de la ingeniería,

que hacen posible, el uso del acero y de otros materiales, en ambientes corrosivos, ya que aumentan su duración y permiten el ahorro de grandes cantidades de dinero en concepto de pérdidas por corrosión.

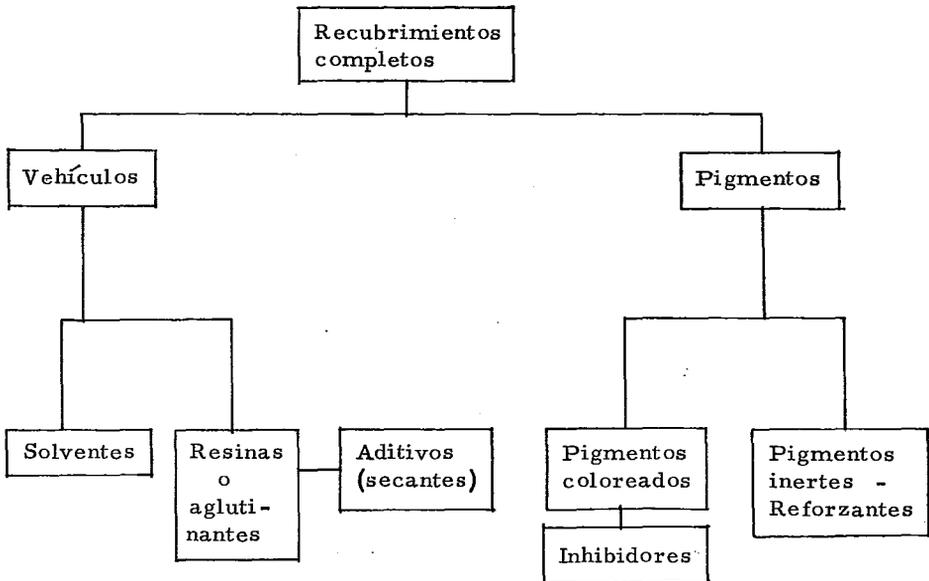
### Componentes de las Pinturas y Revestimientos Protectores.

Aún cuando actualmente hay centenares de pinturas protectoras y muchas variedades de cada tipo, todas ellas se aplican en estado líquido y tienen la propiedad de formar películas sólidas y continuas, después de ser aplicadas en una superficie. Las hay de diversos grados de viscosidad o fluidez y existen variados medios de convertir la película húmeda en una completamente seca, aún cuando algunas pinturas son catalizadas o curadas u horneadas, pueden secar rápidamente, ó con lentitud, o no endurecer completamente, todas deben tener un ingrediente esencial capaz de formar una película continúa sobre la superficie que cubren. Este ingrediente esencial recibe comúnmente el nombre de aglutinante, el cual generalmente es de naturaleza resinosa, tiene la propiedad de formar una película adherente y de retener pequeñas partículas de substancias minerales o de pigmentos. Así pues, un revestimiento protector, debe tener dos componentes fundamentales : el aglutinante y el pigmento y a su vez, esos componentes, pueden estar constituidos por otros individuales.

El aglutinante, que debe hallarse en estado líquido al aplicar la pintura, se llama por lo común, en esta fase, vehículo y puede convertirse en el aglutinante sólido por diversos métodos :

1. - Empleando sustancias conocidas como disolventes volátiles o adelgazadores con objeto de diluir o disolver el aglutinante, las cuales se evaporan después de ser aplicada la pintura y depositar el aglutinante en estado sólido.
2. - Originando reacciones químicas, por medio de las cuales el vehículo cambia de estado sin pérdida de sustancias volátiles.
3. - Por combinación de ambos métodos.

#### COMPONENTES DE RECUBRIMIENTOS



Teniendo presente estos componentes esenciales de los revestimientos protectores, puede verse que es posible clasificarlos de acuerdo con el tipo o clase de resina o aglutinante que los constituyen. Los pigmentos incluidos en la pintura tienen naturalmente importancia; pero sin embargo, el aglutinante es probablemente el factor más importante ya que de él depende que el revestimiento sea resistente a la corrosión y a los agentes químicos.

Los aglutinantes más usados en las pinturas anticorrosivas son :

1. - Alquidáticos.
2. - Hule clorado.
3. - Epóxicos.
4. - Vinílicos.
5. - Inorgánicos.

Hay muchos otros aglutinantes, tales como el polifluoetileno, el cloruro de vinilideno, los co-polímeros de estireno y butadieno, neopreno, polietileno, fenólicos, furanos, poliuretanos y combinaciones de éstos. Sin embargo, los que aparecen en primer término son los que más se usan, y el estudio de sus propiedades da una idea más clara de los resultados que pueden obtenerse al usarlos en las pinturas o revestimientos protectores contra la corrosión.

1. - Alquidáticos. - También llamados alquídicos ó alcídicos son resinas aglutinantes usadas en la fabricación de los primeros "esmaltes sintéticos", los cuales durante los últimos treinta años, aprox

madamente, han desplazado en gran parte a las tradicionales pinturas de aceite que eran empleadas para la conservación o mantenimiento industrial, debido a su mayor rapidez de secado y dureza, a su mejor retención del brillo y a su mayor resistencia al agua, y en igualdad de espesor de película, a su mayor durabilidad. Las pinturas con aglutinantes alquidálicos han llegado a ser los recubrimientos preferidos para la conservación o mantenimiento de instalaciones industriales, ya que su durabilidad es buena en exposiciones de intemperismo normal.

Los alquidálicos tienen buena resistencia a la humedad, al agua intermitente, como es la lluvia, y a los efectos corrosivos de las sales neutras, pero su resistencia a los álcalis y ácidos diluidos es pobre. Los ácidos diluidos tienen menos efecto sobre la película que los álcalis diluidos, debido no tanto a fallas en ella sino más bien a su penetración y al ataque de la superficie metálica. Asimismo puede decirse que tienen regular resistencia a los disolventes derivados del petróleo y a los aceites, que a los disolventes fuertes tales como alcoholes e hidrocarburos aromáticos reblandecen las películas protectoras y las cetonas, éteres y disolventes clorados, las disuelven rápidamente.

2. - Hule clorado. - Las pinturas con este aglutinante tienen como base resinas que se obtienen por cloración de hule natural. Hay dos tipos principales : las que utilizan una solución de resina de hule clorado preparada con plastificantes clorados, y las que emplean una mezcla de hule clorado con resinas alquidálicas u otros plastificantes saponificables.

Estas pinturas tienen tendencia a calearse ó enyesarse, especialmente en climas tropicales, su durabilidad es buena, aunque a la larga, resulta menor que la de otras pinturas alquidálicas, secan rápidamente como las lacas, y su aplicación debe hacerse preferentemente con pistola de aire.

Como secan por evaporación del disolvente, pueden volverse a disolver en él. Su resistencia a los ácidos y álcalis es excelente y regular a los aceites, derivados del petróleo, disolventes y alcoholes. Estas pinturas se disuelven en los hidrocarburos aromáticos, ésteres y cetonas. El hule clorado se ablanda también y plastifica por aceites y grasas vegetales.

3. - Resinas epóxicas. - El aglutinante empleado en estas pinturas es una resina epóxica que se hace reaccionar con ácidos de aceites vegetales para obtener una resina éster. Estas resinas que contienen grupos hidroxilos, grupos epóxicos, uniones éter, son derivados de materias primas de la familia fenólica y los epóxicos modificados forman parte también desde el punto de vista químico, de la familia de los ésteres. Por estas razones pueden aplicarse a estas resinas una gran variedad de términos y es conveniente, especificar con claridad la naturaleza de la pintura.

Cuando se exponen a la intemperie, presentan pronto fenómenos de caleo o enyesamiento, pero se trata de efectos enteramente limitados a la superficie, que no ocasionan pérdida de brillo, deterioro rápido y mecánicamente su durabilidad no es afectada.

Las pinturas epoxy-éster secan rápidamente, pueden aplicarse dos manos en el mismo día, siempre que la película no exceda de 2 milésimas de pulgada, resisten una temperatura continua hasta de 150 °C y tienen buena resistencia a la humedad y al agua intermitente se consideran de grado intermedio en lo concerniente a resistencia a las sustancias químicas, aun cuando se hayan comportado magníficamente en áreas muy difíciles. Son más resistentes a los álcalis que las alquidálicas y mejores que la mayoría de las fenólicas modificadas con aceites, pero no igualan a los revestimientos vinílicos o a los de hule clorado. Soportan bien la acción de los ácidos, siempre que el espesor de la película sea adecuado para proteger la superficie del metal, los disolventes las afectan en forma similar a las pinturas que tienen productos alquidálicos, tienen regular resistencia a los disolventes en aceites derivados del petróleo. Se ablandan con los hidrocarburos aromáticos y se quitan fácilmente con cetonas y disolventes clorados.

En la actualidad también se fabrican pinturas con epóxicos catalizados; que se presentan en dos envases. Uno de ellos contiene la resina epóxica y el otro el catalizador o agente curador. Estas pinturas se preparan mezclando el contenido de ambos envases, antes de aplicarse en una superficie.

Los agentes para el curado de este tipo de pinturas pueden ser de muy diversas clases, y por consiguiente, los productos difieren grandemente entre sí, sin embargo, sus propiedades caen dentro de

una misma área. Las películas tienen buenas propiedades generales : resistencia al calor, a la humedad, a los ácidos, a los álcalis, a los disolventes, a la intemperie y a la abrasión, pueden ser aplicadas en superficies de diversos materiales, resistiendo bien la exposición a estos agentes aún cuando presentan el fenómeno de caleo - enyesamiento sin mayores inconvenientes.

Su estado de conservación dentro del envase es factor dominante en relación con su aplicación, ya que una vez mezclada la base con el catalizador o agente de curado, debe ser aplicado el revestimiento dentro de las tres o cuatro horas siguientes. Las pinturas con resinas epóxicas curadas con aminas tienen, una vez mezcladas, una vida útil de ocho horas, y con ciertos materiales catalizados con poliamidas, se puede lograr que se conserven hasta 72 horas, sus películas tienen muy buena resistencia mecánica a la abrasión, al frotamiento, etc. y soportan temperaturas hasta de 175 ° C.

Estas pinturas no son dañadas por el agua, tienen cierta permeabilidad a ella y a su vapor. Su resistencia depende en parte, del espesor de la película y del efecto del agua sobre la superficie, a la cual la pintura va a ser aplicada. Por ejemplo, una película de esta pintura aplicada sobre una superficie de concreto, resiste la inmersión en el agua, pero es afectada cuando se aplica a una superficie de acero.

Las películas de pintura catalizada tienen buena resistencia a los álcalis, aún a temperaturas elevadas, a los ácidos, excepto a los ácidos oxidantes u orgánicos concentrados, a los disolventes es me-

que la de otras pinturas de secado al aire, y a los hidrocarburos aromáticos, al coholes y ésteres. El contacto prolongado con cetonas o disolventes clorados las reblandecen.

4. - Revestimientos vinílicos. - Estos productos se fabrican a base de resinas que son copolímeros de cloruro de vinilo y acetato de vinilo. Aún cuando el acetato da solubilidad a la resina es necesario agregar disolventes muy enérgicos, ya que los polímeros del cloruro de vinilo no modificados son casi insolubles. El tipo de pintura más usual se fabrica disolviendo copolímeros de cloruro de vinilo al 87% y acetato de vinilo al 13% aproximadamente, los cuales se pigmentan y modifican con plastificantes y estabilizadores.

Estos revestimientos son muy durables, superan a las pinturas alquidálicas en conservación del brillo y duración, secan rápidamente y es preferible aplicarlas con pistolas de aire sobre superficies previamente sopleteadas con arena o con otros sistemas especiales. Son también termoplásticas y se descomponen a elevadas temperaturas, por lo cual para servicio permanente es conveniente conservarlos a la temperatura de 65 ° C. como máximo.

Resisten muy bien a los ácidos y álcalis y como su resistencia al agua es excelente, se emplean para servicio de inmersión en agua. Para proteger una superficie contra la acción del agua, se recomienda que estos revestimientos formen una película seca que tenga un espesor mínimo de 5 milésimas de pulgada.

La película seca por evaporación del disolvente y

se redisuelve en cetonas o mezclas de disolventes con ellas, buena resistencia al gas nafta, pero se reblandece por contacto prolongado en disolventes aromáticos, alcoholes y ésteres.

5. - Revestimientos inorgánicos. - Otra importante categoría genérica de revestimientos es la de tipo inorgánico, que no contiene resinas o aceites. Actualmente se fabrican revestimientos de silicato de zinc, que protegen mediante una sola capa, superficies de acero expuestas a la acción del ambiente, actuando como una barrera y proporcionando también cierto grado de protección catódica, precisamente debido a su contenido de zinc.

Aplicar zinc como revestimiento en una superficie de acero, presenta dos ventajas principales :

1) El revestimiento de zinc bloquea y aísla el cátodo de acero de la acción del agua, de los iones y del oxígeno, constituyendo el circuito exterior de la batería de corrosión. En esta forma, el revestimiento de zinc, además de proporcionar protección catódica, ofrece un medio de protección contra el proceso normal de enmohecimiento u oxidación del hierro.

2) Al recubrir el cátodo, se reduce al mínimo el área catódica descubierta y se disminuye grandemente la demanda sobre el zinc, prolongando de esta manera, la vida del revestimiento.

Este revestimiento es magnífico por su resistencia al agua salada y a los disolventes orgánicos y por tal motivo se emplea para proteger tanques de cúpula flotante, y carros-tanque de ferro-

carril.

Es de gran duración, en algunos casos ha durado - más de diez años en ambos tipos de servicio sin ninguna señal de deterioro. Su notable resistencia a la abrasión le permite soportar el continuo frotamiento de las zapatas sobre las que corren las cúpulas flotantes.

El uso de los recubrimientos inorgánicos de zinc ha revolucionado completamente la industria de fabricación de revestimientos destinados a proteger estructuras metálicas y embarcaciones expuestas a niebla salina y condiciones marinas, así como a plantas químicas - en donde hay productos que originan un medio corrosivo.

Aún cuando la protección del acero y fierro por el zinc metálico ha sido conocida desde hace siglos, no fué sino hasta el - advenimiento del recubrimiento inorgánico del zinc, cuando su aplicación se hizo dentro de una planta, utilizando mucho equipo y facilidades. Las dimensiones de la estructura por proteger han sido siempre el factor - que limita los trabajos de galvanización.

El concepto de recubrimientos inorgánicos de zinc se basa en el empleo de la galvanización por el uso de pinturas aplicadas por un pulverizador de pistola de aire. Este sistema es muy ventajoso, - ya que cualquier superficie metálica grande, pequeña, pesada o con muchas hoquedades queda recubierta, y protegida contra la corrosión atmosférica por más severa que ésta sea.

De lo anteriormente expuesto se desprende que - prevenir de corrosión a través de recubrimientos inorgánicos, es un -

concepto de protección que combina la acción de un recubrimiento muy inerte con la actividad del zinc metálico. Este mecanismo de protección del hierro consiste en el paso del zinc a una solución que lo protege.

Así mismo el mecanismo de los recubrimientos inorgánicos de zinc se realiza mediante el uso y modificación de la reacción anterior que proporciona un revestimiento substancialmente más inerte que a través de la galvanización y da más protección, por un período mayor y bajo cualquier circunstancia corrosiva.

Esto es posible ya que los recubrimientos inorgánicos de zinc están compuestos de polvo de zinc metálico mezclado con una solución complejo a base de silicatos. Aún cuando hay muchas combinaciones de silicatos, cuya efectividad depende de su formulación, el mecanismo básico para la formación del recubrimiento es similar.

La primera reacción que se realiza es la concentración de los silicatos, al evaporarse la mayoría de la solución; lo que provoca el secado inicial y el depósito primario del recubrimiento. Posteriormente la matriz del silicato se hace insoluble por la reacción de los iones superficiales de zinc de las partículas del mismo con los iones hierro también superficiales del acero.

Esta reacción crea un cemento a base de un complejo de silicato de zinc alrededor de las partículas de éste y una barrera de silicato de hierro y zinc en la intersuperficie del recubrimiento y el acero. El cemento o matriz alrededor de todos los glóbulos de zinc es inerte al agua, dulce o de mar, a las condiciones ambientales, a los sol-

ventes y a muchos productos químicos incluyendo ácidos y sales.

Otra reacción es la que se presenta en recubrimientos inorgánicos de zinc, al estar en contacto durante un largo período de tiempo este metal y el vehículo de silicato, con el bióxido de carbono del aire, la humedad del mismo o inclusive la condensación de ella.

En esta reacción se crea una condición bastante - ácida, que reduce el álcali en el recubrimiento inorgánico, ocasionando la formación de algunos carbonatos de zinc en la superficie. Procede gradualmente, a través del recubrimiento en la intersuperficie del acero, - incrementando la adhesión de éste a la superficie de él, haciéndolo que - se vuelva extremadamente denso. Esta reacción resulta muy importante, ya que incrementa la efectividad y durabilidad del recubrimiento inorgánico, lo cual es substancialmente diferente de las características de envejecimiento de cualquier recubrimiento.

Los recubrimientos inorgánicos de zinc son también eléctricamente conductivos, ya que los electrones formados por - ionización de cualquier superficie de zinc expuesta actuarán para prevenir una contaminación de fierro que vaya en la solución que lo corroa. Esto origina un recubrimiento, el cual controla la velocidad de la solución de zinc y provee suficiente potencial eléctrico para proteger efectivamente al acero. Este mecanismo que es demostrado, sumergiendo unos paneles galvanizados y otros recubiertos con inorgánicos de zinc y conectados a paneles de acero, en una solución de un ácido. Si en esas circunstancias es medido el potencial entre el recubrimiento y el acero se en-

cuentra que es substancialmente equivalente, y que el amperaje o el flujo de corriente desarrollado entre los pánels de zinc y fierro es marcadamente mayor que el desarrollado entre el recubrimiento inorgánico de zinc y el fierro.

El zinc y un ácido actúan muy rápidamente y esta prueba aunque es muy acelerada, indica que la solución de zinc es controlada en el recubrimiento inorgánico de ese metal y que su vida bajo condiciones de operación es varias veces mayor que el galvanizado. Otro experimento que prueba lo antes expuesto, se realizó colocando dentro de agua de mar bastidores en los que había pánels galvanizados con una, dos y tres onzas de zinc por pie cuadrado, y pánels idénticos con recubrimientos de inorgánicos de zinc.

Varios pánels se dejaron en la parte superior del bastidor quedando una sección de ellos expuesta a la acción de la marea y otra totalmente sumergida. Después de 18 meses de estar en estas condiciones, se observó que los pánels recubiertos con inorgánicos de zinc no mostraron evidencia de corrosión mientras que todos los galvanizados mostraron una rápida y completa corrosión.

La forma de controlar este proceso es mostrada en las figuras 2 y 3 en las cuales se ve la superficie de zinc expuesta en el recubrimiento inorgánico es mucho menor que la de los materiales galvanizados, considerando el contenido de zinc y aunque la cantidad de solución para una área dada es la misma, siendo menor el área reactiva el recubrimiento tiene una vida más larga.

Hay numerosos productos inorgánicos de zinc usados para la protección de las estructuras de acero; pero los más empleados comercialmente son :

- a) Silicato de zinc y sodio.
- b) Silicato de zinc y potasio.
- c) Silicato de zinc y litio.
- d) Silicato de zinc y plomo.
- e) Fosfato de zinc.
- f) Silicato de zinc y amonio cuaternario
- g) Zinc y titanatos orgánicos (butilos).
- h) Zinc y boratos orgánicos
- i) Zinc y silicato etílico hidrolizado.
- j) Zinc y silica coloidal.

Solamente unos pocos de estos productos han sido probados con éxito, siendo los silicatos alcali-metálicos los primeros recubrimientos efectivos, particularmente donde un metal pesado tal como el plomo es incluido en la formulación. Esta fué la base de los recubrimientos de postcurado que es el estandar usado en la industria.

Los recubrimientos a base de silicatos alcali-metálicos, los cuales son conocidos como autocurantes, a base de agua, son otras de las combinaciones usadas con éxito. El silicato etílico hidrolizado es también usado para fabricar recubrimientos autocurantes.

La química de estos tipos de recubrimientos es muy compleja y la efectividad del producto final es debida a la habilidad

del formulador y a la adición de ingredientes menores que insolubilizan la matriz alrededor de las partículas de zinc. Se considera que todos los buenos recubrimientos inorgánicos de zinc tienen matrices compuestas de silicatos de metales pesados. El primario o "primer" metal pesado que se usa se deriva de iones de zinc disueltos en las partículas del mismo, mezcladas en solución de silicato y agua como solvente. La figura No. 4 representa esquemáticamente este concepto.

Los recubrimientos inorgánicos de zinc a más de proteger reaccionan químicamente con el acero o con superficies de fierro, formando un complejo de silicato de zinc-fierro, estando como una interfase entre la superficie del metal y el recubrimiento, actuando como un "primer" permanente que previene activamente el desprendimiento de recubrimientos orgánicos aplicados sobre ellos. El desarrollo de la unión química entre recubrimientos inorgánicos de zinc y la superficie del acero es muy importante y en la figura No. 4 se muestra la interfase antes citada y se indica la unión química. Aún cuando hay controversia respecto a la existencia de la unión química, ésta se muestra cuando un recubrimiento inorgánico de zinc es desprendido de la superficie de acero, que protege y la cual permanece libre de corrosión por un tiempo mayor, que otras áreas, también de acero, a los que no se ha protegido con recubrimientos.

Los recubrimientos convencionales de tipo orgánico protegen primeramente el sustrato, actuando como una barrera protectora contra la acción de atmósferas corrosivas, esto es una simplifica-

ción de los complejos factores envueltos, la función de la barrera es una razón primaria de que estos recubrimientos hayan sido usados en forma exitosa y muy ampliamente; no hay interacción entre el recubrimiento y el sustrato, así la adhesión es mecánica y un rompimiento en la unión puede ocurrir con el tiempo, cuando esto ocurre la corrosión empieza gradualmente a destruir el recubrimiento orgánico y a formar tubérculos de corrosión.

Los recubrimientos orgánicos sin embargo pueden ser usados efectivamente como adjuntos a recubrimientos inorgánicos de zinc y pueden ser aplicados sobre éstos, aún como recubrimientos decorativos o para proteger u obtener una resistencia adicional a la corrosión por productos químicos.

La unión de recubrimientos inorgánicos de zinc es química y la corrosión o el desprendimiento por corrosión es prevenido, los recubrimientos orgánicos aplicados sobre una base de inorgánicos de zinc han probado tener una durabilidad mayor que los aplicados sobre acero limpiado solamente con arena, excepto donde ocurren fallas rápidas debido a exceso de fricción o desintegración de la película. La mayor causa de fallas en recubrimientos orgánicos es por corrosión interna en la película. Con una corrosión interna reducida en la película a un mínimo de zona desnuda y con un recubrimiento protector catódico debajo, ocurrirá la rotura, siendo ésta fácil de visualizar así la vida del recubrimiento orgánico puede ser mayor (Fig. 6).

Este mecanismo ha conducido al desarrollo permanente de "primers" universales a base de recubrimientos inorgánicos de zinc, siendo permanentes debido a las siguientes propiedades :

a) Los "primers" inorgánicos son aplicados en películas delgadas con espesores de  $\frac{1}{2}$ -1 mil (mil = milésima de pulgada), tal espesor combinado con una afinidad fuerte del acero dan dureza tipo roca y proveen una película, la cual tiene muchas características metálicas por sí misma.

El acero puede ser formado, calentado y doblado sin pérdida de la protección básica del recubrimiento.

b) Como se describió previamente el recubrimiento reacciona con la superficie de acero que ha sido limpiada para formar una unión fuerte de tipo químico eliminando el desprendimiento de la película por corrosión.

c) La película delgada contiene suficiente zinc para proveer protección catódica al acero, que normalmente debería dañarse y para protegerse y retener la superficie que fué limpiada libre de corrosión; para la duración de equipos industriales, plataformas marinas, puentes, barcos, etc.; esto es muy importante desde el punto de vista económico debido a que una superficie de acero puede ser automáticamente lavada para eliminar suciedad o cualquier cosa adherida, y si después de este lavado se recubre con un "primer" inorgánico de zinc, esto hace que la superficie se mantenga en condiciones evitando una preparación básica adicional.

d) La película de "primer" inorgánico que se forma, es delgada, muy dura y metálica. De tal forma que el manejo normal del acero tiene poco efecto sobre ella, las placas pueden ser manipuladas con electroimanes y las tuberías y láminas metálicas con electroimanes y pueden ser movidas con ganchos o transportadas con cualquier equipo similar y la formación normal de rollos o cualquier otra forma que se le dé al acero usando color y enfriamiento le causa poco daño.

e) La película inorgánica de "primer" se afecta - muy poco cuando se efectúan cortes ó soldaduras ya sea en forma automática ó manual, esto ha sido probado por una investigación efectuada por el Battelle Memorial Institute, la cual mostró que la soldadura hecha a través de inorgánicos de zinc era igualmente fuerte que la realizada en superficies de acero sin recubrimiento.

f) Para la determinación de las características de fricción del "primer" inorgánico de zinc en dos superficies unidas, la Universidad de Illinois efectuó investigaciones al respecto, encontrando que éstos forman una superficie resistente, que tiene características friccionales similares a las superficies que han sido limpiadas con chorro de arena a superficies de acero con pequeña herrumbre.

El "primer" inorgánico puede ser aplicado en todas las superficies metálicas, aún en aquellas que han sido ribeteadas ó remachadas, conservando sus propiedades de resistencia a la fricción necesarias cuando tales superficies son unidas.

g) Una de las más importantes características del "primer" inorgánico es su universalidad ya que éste puede ser satisfactoriamente recubierto con cualquier tipo de revestimiento orgánico que sea compatible con una superficie de zinc. Esto incluye recubrimientos a base de hule clorado, vinílicos y epóxicos. Puede también ser recubierto con cualquiera de los sistemas inorgánicos que son usados para proteger tanques o ser expuesto sin recubrimiento, a condiciones atmosféricas y marinas ó similares. Se usa para proteger muelles, super estructuras, áreas expuestas a cambios de mareas, inmersión en hidrocarburos, inclusive algunos alifáticos o aromáticos o inmersiones no continuas en agua marina.

El uso de recubrimientos inorgánicos, como se describe en el presente trabajo, se aplica principalmente en acero nuevo.

Una de las mayores ventajas de los recubrimientos inorgánicos es su habilidad para ser aplicados sobre superficies de acero que han sufrido los efectos de la corrosión y su facilidad para eliminar muchos de los problemas de aplicación encontrados en recubrimientos orgánicos. A las superficies de acero que ya han sufrido corrosión es extremadamente difícil de proporcionarles un recubrimiento adecuado, particularmente orgánicos. La razón de ésto es que aún cuando se haga limpieza con chorro de arena a metal blanco, la superficie del acero ha sido cambiada por el medio corrosivo; agua salada, atmósfera salina o soluciones químicas. Los recubrimientos orgánicos aplicados invariablemente se deterioran y pierden adhesión sobre las áreas que fueron corroi-

das en una forma mucho más rápida que donde fueron aplicados en acero nuevo. En cambio el recubrimiento inorgánico debido a su reactividad química con relación a la superficie del acero no es afectado en la misma forma, ya que mantendrá una fuerte adherencia a la superficie del metal y eliminará el rompimiento, ampollamiento u otros problemas que ocurren con películas orgánicas.

Millones de m<sup>2</sup> de superficies corroidas han sido recubiertas con inorgánicos, particularmente en el interior de barcos-tanque. Muchos hoyos profundos son encontrados después de que la superficie ha sido propiamente limpiada. Con el recubrimiento inorgánico, debido a su falta de contracción en el secado y a su habilidad para humedecer la superficie, se obtiene un total recubrimiento en tales perforaciones, eliminando corrosión posterior. Ningún otro tipo de recubrimiento tiene la habilidad para seguir completamente el contorno de tales arrugas y perforaciones sobre las superficies del acero.

Estas propiedades incluyendo la facilidad para ser aplicadas aún sobre nuevas superficies ó superficies de acero corroidas con anterioridad, pero adecuadamente preparadas, han servido de base para determinar que los recubrimientos inorgánicos de zinc se convierten en el procedimiento estandard para la protección de corrosión en estructuras marinas. Como indican estas propiedades el uso del recubrimiento inorgánico de zinc en el campo marino ha sido extenso y variado, en la protección del interior de los barcos-tanque es donde más ampliamente se utiliza este revestimiento. Su efectividad ha quedado demos-

trada en aquellos que transportan gasolina refinada. Una de las más antiguas aplicaciones documentadas sobre recubrimientos inorgánicos de zinc se encuentra en el Centro de Tanques No. 1 en el UTAN STD., en donde fué aplicado en 1954 a uno de ellos cuyas superficies se encontraban profundamente corroídas y el cual después de 11 años de uso fué inspeccionado sin encontrar herrumbre o pérdida de metal en la aplicación original, con excepción de algunas pequeñas áreas maltratadas. Se estimó que el recubrimiento le daría una protección adicional de 5 años de servicio, antes de cualquier reparación.

#### **EXPERIENCIAS PRACTICAS.**

Con el propósito de corroborar lo antes expuesto en cuanto a la durabilidad del recubrimiento inorgánico de zinc se efectuaron las siguientes pruebas, en la primera se investigó el comportamiento de diferentes inorgánicos a la acción de la niebla salina y en la segunda el comportamiento de éstos respecto a tres diferentes tipos de primarios orgánicos a la acción del intemperismo. A continuación se denotan los resultados obtenidos :

##### **1. - Exposición en cámara de niebla salina.**

En el laboratorio de pinturas del Departamento de Control de Calidad Staff de la Ford Motor Co., S.A. fueron expuestas al ambiente salino seis placas recubiertas con diferentes tipos y espesores de inorgánicos de zinc. Los resultados obtenidos después de 699 Hrs. de exposición, equivalentes a un período de tiempo de 7 años en ambiente salino fueron los -

siguientes :

Tipo de Primario	Espesor de película	Resultados
a) Inorgánico Autocurante Base Solvente (1 componente)	1 mil *	Oxidación en el rayado en cruz que se le hizo, corrosión en diferentes áreas (20% del total).
b) Inorgánico Autocurante Base acuosa (2 componentes)	1 mil	OK muy buenas condiciones
c) Inorgánico Post-curado Base acuosa (3 componentes)	3 mil	OK perfectas condiciones
d) Inorgánico Autocurante Base acuosa (2 componentes)	3 mil	Pequeñas zonas de oxidación en general bien
e) Inorgánico Autocurante Base acuosa (2 componentes)	3 mil	Pequeñas zonas de oxidación en general bien
f) Inorgánico autocurante Base solvente (2 componentes)	2.5 mil	Severo ataque en zona descubierta, signos de picadura en toda la placa

\* 1 mil corresponde a 1 milésima de pulgada

## 2. - Exposición a Intemperismo.

En el complejo industrial de Altamira, Tamaulipas, se expuso a los efectos de la intemperie (ambiente marino, humedad, temperatura variable, vientos, vapores sulfurosos y cenizas) varias placas durante un lapso de tiempo de cinco años aproximadamente, siendo éstas de diferentes revestimientos.

A continuación se denotan los resultados obtenidos después de tal exposición, así como el tipo de revestimiento usado.

Tipo de Primario	Espesor de película	Resultados
Primario Inorgánico de zinc	3 mil	En perfectas condiciones
Primario Vinil alquidálico	3 mil	Uno y tres puntos de oxidación
Primario Epóxico	3 mil	Corrosión general
Primario Multiresinoso	3 mil	Corrosión general

CARACTERISTICAS DE MATERIALES DE REVESTIMIENTO MAS COMUNES

Factor de com- portamiento	Alquidálico	Hule clorado	Epóxicos	Viníficos	Inorgánico
Resistencia del paso de iones - y humedad	Muy mala	Buena	Buena	Muy <u>bue</u> <u>na</u>	Buena re- sistencia a la <u>hume</u> <u>dad</u>
Resistencia a los productos originados - por corrosión	No resiste; la película es atacada	Se pela	Muy buena	Se pela; la pe- lícula - no es - atacada	Previene la <u>corro</u> - <u>sión</u>
Sensibilidad a la corrosión - (pérdida de <u>ad</u> <u>herencia</u> )	No es sen- sible	Muy sensible	Muy sen- sible	Muy <u>sen</u> <u>sible</u>	Sensible
Tipo de falla - del recubrimien- to en atmósfera corrosiva	La película se degrada a jabón	Se pela y ampolla	Ampolla- miento	Se pela y am- polla	Ninguna
Resistencia química	Mala	Buena	Muy <u>bue</u> - <u>na</u> (selectiva)	Muy <u>bue</u> - <u>na</u>	Pobre
Espesor de pe- lícula y conti- nuidad	Moderado es- pesor de pe- lícula	Películas <u>del</u> gadas por - mano	Películas gruesas	General- mente <u>pe</u> lículas - delgadas por ma- no	Mediana
Propiedades <u>fí</u> - <u>sicas</u>	Endurece - con la <u>intem</u> <u>perie</u>	Dura	Tenaz y duro; al- gunos ti- pos que- bradizos	Excelente tenaz	<u>Excelen</u> <u>te</u> dura y tenaz
Resistencia a la intemperie	Buena, calea	Regular a buena	Duradera pero ca- lea cam- bia de co- lor	Muy <u>bue</u> <u>na</u>	<u>Excelen</u> <u>te</u>
Resistencia a los solventes	Muy mala	No es buena	Variá de- pendiendo del tipo - usado, <u>pue</u> de ser <u>ex</u> - <u>celente</u>	Resiste ciertos <u>hidrocar</u> <u>buros</u> , no <u>resis</u> <u>te</u> <u>ce</u> - <u>to</u> - <u>nas</u> o <u>és</u> <u>teres</u>	<u>Excelen</u> <u>te</u>
Facilidad de aplicación	Se aplica fá- cilmente	Requiere cuidado	Requiere cuidado	Requiere cuidado	Requiere cuidado
Resistencia a la tempera- tura	Mala 60 °C máxima	Buena pero limitada 80 ° C máxima	Excelente 120 ° C máxima	Buena pero limitada 80° C máxima	<u>Excelen</u> - <u>te</u> 500 ° C máxima

COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS QUIMICAS DE LOS MATERIALES DE  
RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Exposición	Alquidálico	Vinílico	Inorgánico	Epóxico catali zado
<b>Sosa cáustica (alcalina)</b>				
Adherencia	Regular	Regular	Mala	Buena
Ampollamiento	Si	Si	Si	No
Corrosión	Si	Si	Si	No
<b>Acido clorhídrico (ácida) "muriático"</b>				
Adherencia	Buena	Buena	Mala	Regular
Ampollamiento	Si	No	Si	Si
Corrosión	Si f (c)	No	Si	Si
<b>Benzine (benceno), xilol (solventes)</b>				
Adherencia	Mala	Buena	Buena	Buena
Ampollamiento	No	Si	No	No
Corrosión	Si	No	No	No
<b>Hipoclorito - de sodio (ataque químico)</b>				
<b>"Blanqueador" "Cal"</b>				
Adherencia	Mala	Mala	Mala	Regular
Ampollamiento	Si	Si	Si	Si
Corrosión	Si	Si	Si	Si

#### 4. - PREPARACION DE SUPERFICIES

Uno de los más importantes pasos para lograr una buena protección con recubrimiento, es la adecuada preparación de la superficie en la que se va a aplicar. El revestimiento no podrá adherirse firmemente a la superficie si hay algo bajo él: suciedad, polvo, herrumbre, escoria ó escamas de laminación, aceite, humedad o cualquier otro material suelto o flojo. Algunas impurezas, tales como agua y aceite, pueden evitar la adherencia aún cuando se hallen presentes en cantidades tan pequeñas que parecen ser invisibles. Otras como el óxido, la escoria o la suciedad contribuyen a la ruptura de la película porque atraen agua a través de la misma, ocasionando ampollamiento y corrosión del metal bajo ésta.

Por tales motivos la preparación apropiada de la superficie es de importancia vital para obtener mejores resultados en las pinturas o recubrimientos protectores.

El acero es el material estructural más ampliamente usado, y cuya superficie es la que requiere con mayor frecuencia trabajos de conservación y mantenimiento que se realizan mediante la aplicación de recubrimientos, después de quitar la escoria de laminación, escamas y el orín que algunas veces contiene.

La escoria, (llamada a veces escoria de laminación o escamas azules) es una capa de color azul-negro, que se forma sobre las láminas de acero durante el proceso de fabricación. A menudo se adhiere

firmemente a él, pero, por lo general, se afloja con el tiempo, debido a la diferencia entre los coeficientes de dilatación. Si se aplica un revestimiento, sobre la escoria, se desprenderá también cuando ella se afloje y caiga. Como las escamas ocupan un lugar más bajo en la serie galvánica, aceleran también la corrosión del acero.

El orín que presenta una pieza de hierro o acero no protegida y expuesta a la intemperie tiene un color que varía desde el rojo subido hasta el café oscuro, puede ser suelto en forma de polvo, duro y quebradizo. Pero, en cualquier caso, es una mala base y contribuye a la rotura del revestimiento que se aplique sobre él, y favorece la corrosión ulterior. Para lograr los mejores resultados, debe eliminarse completamente.

Los métodos que se usan más ampliamente en la industria para preparar las superficies que se van a proteger por medio de recubrimientos librándolas de orín, escoria, suciedad, etc., son : el sopleteado con abrasivos, el baño ácido, la limpieza con herramientas mecánicas o manuales y con flama.

Limpieza por sopleteado (chorro de arena "Sand-blasting").

La limpieza por sopleteado es el mejor método para limpiar superficies de acero, por su eficacia para quitar manchas diversas, escamas y el orín, y también porque deja una superficie áspera que contribuye a la mayor adherencia del revestimiento. Sin embargo su eficacia depende de la rapidez de la limpieza, cantidad de aire y tipo de -

abrasivo.

Normas de sopleteado. Para obtener los resultados deseados, es indispensable determinar la calidad de la superficie que se requiere. The Steel Structures Painting Council ha fijado las siguientes normas, para diferentes niveles o grados de limpieza por sopleteado :

i. - Sopleteado a Metal "Blanco".

Quita toda traza de orín, escamas, pintura vieja o cualquier otra materia extraña, hasta obtener un acabado gris claro uniforme.

ii. - Limpieza Comercial.

Quita todo orín, escoria de laminación y cualquier otra materia extraña, pero no toda la base incrustada y escama de laminación. Después de terminado el sopleteado con frecuencia aparecen en la superficie rayas o estrías oscuras.

iii. - Limpieza a "Ráfaga".

Quita todas las impurezas sueltas o flojas (escoria, óxido) pero no las escamas de laminación y el óxido firmemente adheridos.

En las normas de sopleteado especificadas, se sigue el mismo procedimiento y se usa el mismo equipo : Una máquina para comprimir aire, depósitos de éste, mangueras, boquillas y material abrasivo, constituyen el equipo de sopleteado. El abrasivo, que puede ser arena, gravilla ó munición; se carga en el depósito, que es un tanque

cerrado de 200 a 400 litros de capacidad que se alimenta de aire a alta presión en una cámara mezcladora que se halla 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 por limpiar.

Abrasivos para Sopleteado. - Los diversos tipos de abrasivos que se usan, se comportan y producen acabados diferentes y - característicos. El diseño o perfil, resultante del sopleteado, es extremadamente importante por el efecto que tiene sobre el revestimiento. Si la superficie es demasiado tersa o pulida, no habrá el suficiente "anclaje" - para el revestimiento, si la superficie es demasiado áspera, pueden resaltar puntos agudos del metal sobre el recubrimiento y quedar sin protección.

A continuación se da una lista de los abrasivos que se usan con mayor frecuencia, con sus características :

#### Arena Sílica.

Debido a su bajo costo y la facilidad con que se puede obtener, es el abrasivo más ampliamente usado. Se puede obtener en una gran variedad de grados y tamaño de partículas, desde 8 mallas hasta granos muy finos que pasan un tamiz de 80 mallas. La arena, por lo común, no debe ser mayor de 16 mallas, o tenderá a martillear la superficie y no podrá alcanzar las pequeñas depresiones. En términos generales, los - granos grandes no limpiarán tan rápido como los pequeños, aunque naturalmente, hay un límite en lo que respecta a su pequeñez.

Es también importante usar una arena dura que no

produzca excesivo polvo, arena sucia y aún ciertos tipos de arena limpia, rompe sus granos al chocar con la superficie y producen gran cantidad de polvo. Esto no sólo entorpece la visión mientras se trabaja, sino que se requiere trabajo extra para quitar el polvo después del sopleteado, por lo cual la calidad de la limpieza es inferior.

#### Abrasivo de Acero, (gravilla).

Este abrasivo está formado de fragmentos angulares, duros con bordes cortantes, de acero o de hierro vaciado. Tiene algunas ventajas sobre la arena ya que produce menos polvo, corta más rápidamente y puede recuperarse para uso posterior. Es de mayor costo y tiende a dejar demasiado áspera la superficie. El abrasivo grueso corta profundamente la superficie, deja puntas salientes del metal y al aplicarse el revestimiento, éste tiende a escurrirse en las puntas, dejándolas al descubierto, por lo que se requieren varias manos extra para obtener una película satisfactoria. Por otra parte este abrasivo de acero, si se usa largo tiempo en condiciones de humedad, puede llegar a oxidarse y en tales condiciones, en lugar de limpiar la superficie sopleteada, la contamina.

#### Munición de acero o de hierro.

Puede usarse también como abrasivo, pero el sopleteado con munición es relativamente poco eficaz, porque las partículas son redondas, y tienden a martillar la materia extraña en la superficie, sin quitarla.

Según Steel Structures Painting Council, las profun

tidades máximas del perfil logrado con diversos tipos de abrasivos son -  
los siguientes :

Abrasivo	Tamaño máximo de las partículas		Profundidad máxima del perfil
Arena muy fina	80	mallas	1.5 milésimas de pulgada
Arena fina	40	mallas	1.9 milésimas de pulgada
Arena mediana	18	mallas	2.5 milésimas de pulgada
Arena gruesa	18	mallas	2.8 milésimas de pulgada
Gravilla de acero # G-50	25	mallas	3.3 milésimas de pulgada
Gravilla de acero # G-40	18	mallas	3.6 milésimas de pulgada
Gravilla de acero # G-25	16	mallas	4.0 milésimas de pulgada
Gravilla de acero # G-16	12	mallas	8.0 milésimas de pulgada
Munición de hierro # S-230	18	mallas	3.0 milésimas de pulgada
Munición de hierro # S-330	16	mallas	3.3 milésimas de pulgada
Munición de hierro # S-390	14	mallas	3.6 milésimas de pulgada

### Limpieza por medios químicos.

La limpieza por medios químicos se usa frecuentemente en objetos que son de tamaño adecuado para ser sumergidos en un tanque de solución ácida, que disuelve las escamas y el óxido. Sin embargo como las escamas de laminación no son de material homogéneo, sino que están formadas por varias capas químicamente diferentes, reaccionan a diversa velocidad con el ácido sulfúrico : la exterior no se disuelve con facilidad, mientras que las más internas reaccionan vivamente. Gracias a las roturas o grietas de la capa o costra superficial de la escama, el ácido penetra hasta el fondo, en donde reacciona con las capas interiores originando desprendimiento de hidrógeno, el cual crea una presión sobre las capas contiguas, hasta hacer que estallen o se desprendan de la superficie del acero.

El acero, limpio de escamas y orín por este sistema tiende a oxidarse rápidamente y para evitar ésto, cuando se van a aplicar revestimientos, con frecuencia se incluye un baño de ácido fosfórico, que reacciona con el acero y forma una película de fosfato de hierro, el cual actúa como un inhibidor de la oxidación y constituye una buena base para la pintura.

Aún cuando este procedimiento ha dado resultados satisfactorios en algunos casos, no es enteramente seguro, debido a que las soluciones ácidas pueden contaminarse, y si no se tiene cuidado ésta se acumulará en la superficie de ellas y se depositará sobre el acero al sacarlo del baño. Por consiguiente, si la adherencia de la pin-

tura debe ser rigurosa y la exposición muy severa (inmersión continua), no debe considerarse el baño ácido como el método preferido para la preparación de superficies.

#### Limpieza con flama.

Se realiza haciendo pasar rápidamente una flama de soplete oxiacetilénico sobre la superficie metálica por limpiar. Cuando la superficie de acero no está pintada, el rápido calentamiento origina la dilatación tanto de acero como de sus escamas, y estos materiales que poseen diferentes coeficientes de dilatación, tienden a separarse y desprenderse. Además, el calor vaporiza las partículas de agua atrapadas bajo las escamas de laminación, y la presión del vapor sirve también para forzarlas a desprenderse de la superficie del acero. Para terminar la operación, es necesario restregar la superficie por limpiar con cepillo de alambre. Los mejores resultados se obtienen si se aplica el revestimiento cuando el metal está aún tibio.

Aunque la operación es la misma, el fundamento de la limpieza de superficies pintadas utilizando la flama es diferente. En este procedimiento, la pintura se quema o se ablanda y luego se quita de la superficie. Sin embargo, el residuo quemado resulta a menudo, sumamente gomoso y hace la operación final de raspado, difícil y tediosa.

Independientemente del peligro de incendio la limpieza con flama tiene algunos inconvenientes : es por lo común, de menor calidad que la obtenida con otros procedimientos, el intenso calor

tuerce los delgados calibradores metálicos a menos de que se tenga sumo cuidado, y por último, el costo tiende a ser excesivo.

Teniendo en cuenta todos estos factores, la - limpieza y preparación de superficies metálicas por el procedimiento de la flama resulta de inferior calidad y antieconómico. En consecuencia, su uso deberá quedar limitado a aquellos casos en que los otros métodos degcritos no sean apropiados, y donde se disponga de un amplio márgen en lo que respecta a impurezas de la superficie por contaminación.

Limpieza con herramientas de fuerza (eléc-  
tricas o neumáticas).

La herramienta de fuerza pertenece, general-  
mente, a cualquiera de estas clases :

1. - Cepillos rotatorios de acero.
2. - Esmeriles y lijadores.
3. - Herramientas de impacto.

De ellos, los cepillos de alambre que son los más usuales están impulsados por energía eléctrica o aire comprimido, 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 aquellas que están firmemente adheridas, tienden a pulir la superficie del metal, por lo que la pintura no tiene la adherencia deseable.

Las lijadoras mecánicas son esencialmente

las mismas herramientas solo que en lugar de cepillos de alambre llevan discos lijadores o ruedas de esmeril, dejan la superficie más áspera que los cepillos de alambre y se recomienda en pequeñas áreas, tales como soldaduras o bordes afilados, aún cuando su costo no permite su empleo en áreas extensas.

Pueden adaptarse cinceles o raspadores a herramientas operadas eléctricamente o con aire comprimido, para obtener un efecto de impacto, que desmenuce escamas o costras gruesas de orín. Este método, empleado sólo, resultaría muy costoso para preparar debidamente grandes superficies, sin embargo, puede usarse en combinación con lijado mecánico para limpiar aquellas que no van a estar expuestas a severas condiciones. Cuando se usen herramientas de impacto, debe tenerse cuidado de que la superficie no quede excesivamente escopleada.

Limpieza con herramientas manuales.

Cuando se trata de pequeñas áreas no accesibles al sopleteado con arena, ni se puede disponer de equipo mecánico, está justificado el empleo de herramientas manuales tales como : cepillos de alambre, raspadores, cinceles, martillos especiales, etc.

Esta clase de operación es lenta y no se recomienda para limpieza de extensas áreas.

La limpieza a mano puede dañar la superficie metálica, se utiliza generalmente para quitar toda la pintura, orín ó escamas que no están firmemente adheridos.

Las superficies metálicas que tienen que estar expuestas a inmersión constante no deben limpiarse nunca con herramienta a mano, ni siquiera mecánica, ya que estos procedimientos, deben restringirse a casos en que los objetos pintados van a estar expuestos solamente a humos, derrames o lavados ocasionales. Es conveniente lavar antes las superficies por limpiar con un disolvente apropiado, a fin de eliminar grasas, aceites o cualquier otro contaminante.

## EVALUACION DE LOS METODOS DE PREPARACION DE SUPERFICIES

Método de <u>Pre</u> <u>paración de Su</u> <u>perficie</u>	En Revestimiento de Tanques (Interior)	En Ambiente de Humedad y Se- quedad Alterna- das	En Ambiente de Humos y Vapores Se- cos
Sopleteado a "Metal Blanco"	Ideal	Ideal	Ideal
Limpieza Sople- teado Comercial	Causa dificul- dades	Ideal	Ideal
Sopleteado a Ráfaga	Causa dificul- tades	Causa difi- cultades	Regular
Medios Químicos	Causará dificul- tades	Regular	Regular
Limpieza con - Herramientas Mecánicas	Causará dificul- tades	Causará difi- cultades	Regular
Limpieza a mano	Causará dificul- tades	Causará difi- cultades	Depende de la calidad de la lim- pieza

**Limpieza de detalles estructurales.**

La mayor parte de los revestimientos no quedan bien aplicados sobre aristas o hendeduras estrechas ya que los revestimientos líquidos se retiran de las primeras al secarse, sin importar el cuidado con que se haya hecho la aplicación y en las grietas se presenta la dificultad de hacer que el revestimiento penetre dentro de ellas.

Si se quiere proteger debidamente las estructuras deben aplicarse a cada caso particular las siguientes recomendaciones :

1. - Las soldaduras rugosas y los filos de bordes agudos deben esmerilarse para dejarlos lisos y tersos.
2. - Las salpicaduras de soldadura deben desprenderse o allanarse perfectamente con un rascador o un cincel.
3. - Las costuras unidas con puntos de soldadura deben soldarse de nuevo con un cordón continuo.
4. - Los bafles deben soldarse por ambos lados.
5. - Los pernos y remaches deben estar bien fijos.

Si se requiere alguna soldadura adicional, debe hacerse antes del sopleteado, asimismo el esmerilado debe realizarse antes del sopleteado.

## 5. - ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS

El presente capítulo tiene por objeto contar con los elementos de juicio para poder determinar desde el punto de vista económico, la viabilidad del recubrimiento inorgánico con respecto a tres de los primarios más usados por sus características como recubrimientos anticorrosivos : Primario vinil alquidálico, Primario epóxico y Primario multiresinoso.

	Primario inorgánico	Primario vinil-alquidálico	Primario epóxico	Primario multi-resinoso
Limpieza o preparación de superficie incluyendo Mat. y M.O.	Sopleteado con abrasivo o Metal Blanco \$25.00	Herramientas Manuales \$10.00	Herramientas Manuales \$10.00	Herramientas Manuales \$10.00
Costo Material (Primario)	\$10.00	\$ 4.00	\$ 4.00	\$6.10
Mano de Obra aplicación Primario	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$5.00
Espesor (mil's) Primario	3 mils	2 mils	2 mils	1.5 mils
Acabado* costo espesor	2.5 mils \$ 7.40	2.5 mils \$ 7.40	3 mils \$ 6.70	2.5 mils \$ 7.40
Mano de Obra acabado	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 5.00
<b>COSTO INICIAL</b>	<b>\$52.40</b>	<b>\$31.40</b>	<b>\$ 30.70</b>	<b>\$ 33.50</b>

**MANTENIMIENTO (RESANES)**

<b>2 años</b>		l mano <u>aca</u> bado a 2.5 mils y M. O.	Resane al 50% del - acabado y M. O.	Resane al 50% del - acabado y M. O.
		\$7.40	\$3.35	\$3.70
		\$5.00	\$2.50	\$2.50
<b>Costo a los 2 años</b>	\$52.40	\$43.80	\$36.55	\$39.70

<b>5 años</b>	l mano <u>aca</u> bado y M. O.	Resane al 50% del - Primario l mano de acabado y M. O.	l mano <u>aca</u> - bado. Mat. y - M. O.	l mano <u>aca</u> - bado Mat. y M. O.
	\$8.14		\$7.37	\$8.14
	\$5.50	\$2.20	\$5.50	\$5.50
		\$8.14		
		\$8.25		
<b>Costo a los 5 años</b>	\$66.04	\$62.39	\$49.42	\$53.34

<b>7 años</b>		l mano de - acabado y M. O.	Resane al 50% de - acabado y M. O.	Resane al 50% del - acabado y M. O.
		\$8.95	\$3.02	\$4.44
		\$6.05	\$3.00	\$3.00
<b>Costo a los 7 años</b>	\$66.04	\$77.39	\$55.44	\$60.78

10 años	l mano y M. O.	Reposición total preparación superficie sistema com pleto y M. O.	Reposición total preparación superficie Primario y M. O. acabado y M. O.	Reposición total preparación superficie Mat. (Pri- mario) acabado y M. O.
	\$ 9.62 \$ 6.50	\$19.50 \$27.82	\$31.20 \$ 8.71 \$ 6.50	\$27.43 \$16.12
Costo a los 10 años	\$82.16	\$124.71	\$101.45	\$104.33

Costo por metro cuadrado por año en 10 años de Servicio :

Primario inorgánico	\$ 8.21
Primario vinil-alquidálico	\$12.47
Primario epóxico	\$10.14
Primario multiresinoso	\$10.43

\* Para todos se usó un acabado vinílico de altos sólidos, excepto en el epóxico, usando en éste un acabado del mismo tipo.

NOTA : En el presente estudio se consideró un aumento del 10% - cada 3 años en mano de obra y materiales, este dato se obtuvo de la asociación de fabricantes de pinturas y tintas.

## CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores se han descrito -  
varios de los tipos de recubrimientos y su efectividad para controlar la -  
corrosión electroquímica, además de los requerimientos impuestos a un  
recubrimiento por las reacciones de corrosión, hay otras necesidades -  
prácticas que dependen de las condiciones de trabajo :

1. - La naturaleza química del medio.
2. - Las características físicas de la estructura  
y las circunstancias de operación.

Los medios químicos pueden ser divididos  
en las siguientes categorías : ácidos, álcalis, sales, solventes, agua e  
intemperismo.

En el presente trabajo el aspecto que más in  
teresa es el del intemperismo y de acuerdo con los estudios e información  
práctica y técnica obtenida anteriormente se puede concluir que los recu-  
brimientos inorgánicos, en especial los de zinc, son los más adecuados -  
para proteger al acero, ya que trabajan como barrera, tienen buena resis  
tencia a la humedad y a las temperaturas elevadas (500 ° C), su película  
es dura y tenaz, y es el más económico como se demostró anteriormente.

Si el recubrimiento llega a sufrir deterioro  
y deja al descubierto el acero, éste queda protegido galvánicamente, ya -  
que el zinc se encuentra colocado arriba de él en la serie electromotriz.  
Por tal motivo primero será atacado el zinc dando oportunidad en esta -  
forma a que sea reparado el deterioro.

Es conveniente agregar que el inorgánico puede ser combinado con cualquier tipo de acabado ya sea para formar un sistema que tenga mayor resistencia al medio ambiente corrosivo o simplemente para fines decorativos.

# DISTRIBUCION DEL DAÑO OCASIONADO POR LA CORROSION

Espesor de pared obtenido en un pilote de fierro después de inmersión en el mar

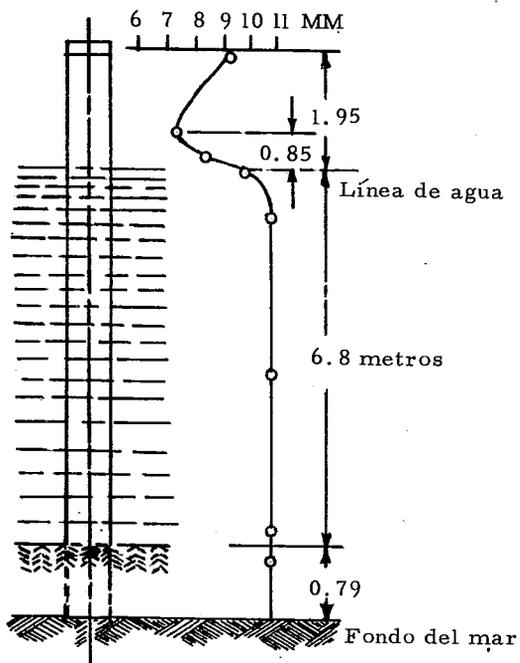
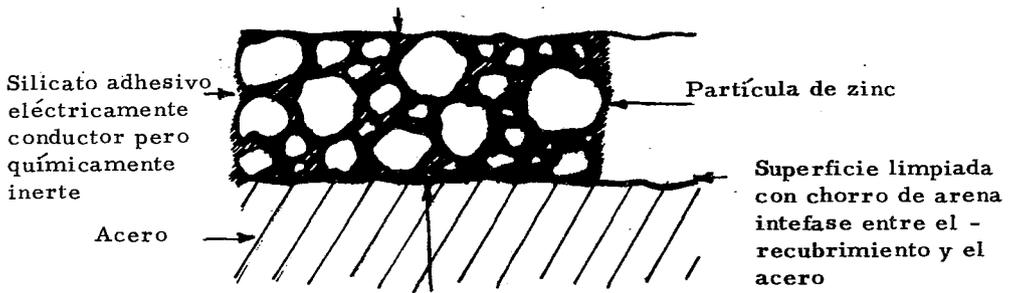


FIGURA 1

## RECUBRIMIENTO INORGANICO DE ZINC

Recubrimiento superficial de zinc discontinuo en su superficie



Interfase del acero y unión química del recubrimiento

FIGURA 2

## GALVANIZADO

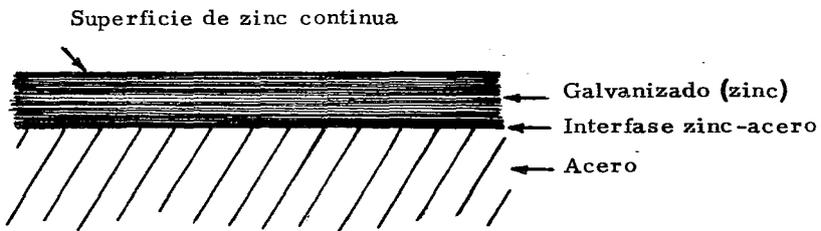
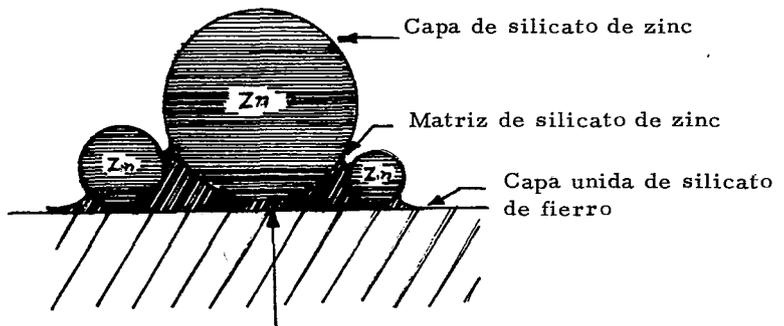


FIGURA 3

UNION QUIMICA DEL ZINC Y LA MATRIZ



Probable matriz de silicato de fierro-zinc

FIGURA 4

ROMPIMIENTO DE UN RECUBRIMIENTO ORGANICO  
POR HERRUMBRE O CORROSION

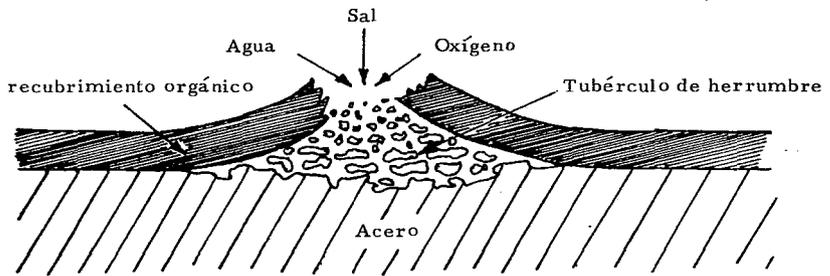


FIGURA 5

PROTECCION DE UN RECUBRIMIENTO ORGANICO POR  
UN PRIMARIO INORGANICO DE ZINC

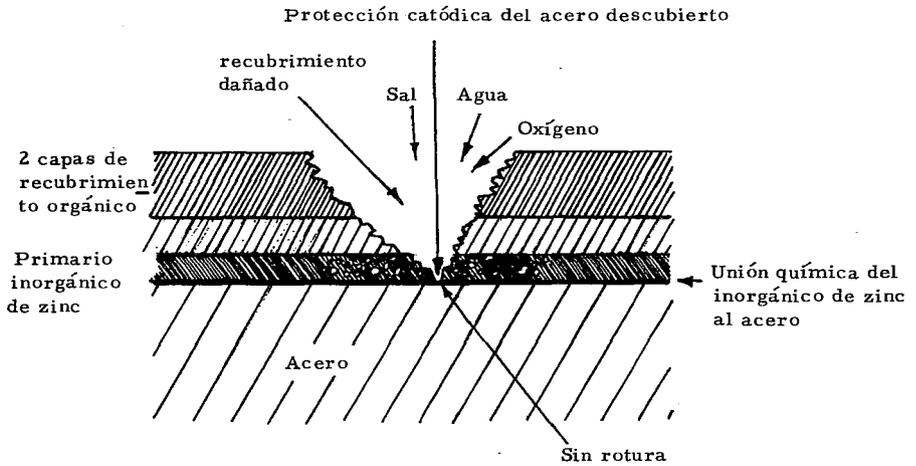


FIGURA 6

## BIBLIOGRAFIA

1. - F.L. LaQue, T.P. May and H.H. Uhlig. Corrosion in action. The International Nickel Company Inc., New York.
2. - J.C. Scally. Fundamentals of corrosion. Pergamon Press.
3. - Ulick R. Evans. The corrosion and oxidation of Metals : Scientific Principles and Practical applications. Arnold - (Publishers) L. T. O.
4. - Alberto Blanco Matas y Luis Yves Villegas Ch. Tecnología de Pinturas y recubrimientos orgánicos. Ed. Química, S.A.
5. - Grados de Herrumbre en superficies de acero y grados de preparación de estas superficies para la aplicación de pinturas anti corrosivas. Steel Structures Painting Council. Pittsburgh, Pa.
6. - Uhlig H.H. The corrosion Handbook. John Wiley and Sons, - N. Y. C.
7. - C.P.A. Turner. Introduction to Paint Chemistry oil colour. - chemist Association by chapman y Hall. Solvents, oils, resins and driers.
8. - William A. Guerry and John F. Oliveira. Present day corrosion control. Amercoat Corporation. Brea, Cal.
9. - Reprinted From Plant Engineering Magazine. Synthetic Resins as Maintenance Coatings. Amercoat Corporation.
10. - D.O. Lachmund. Facts you should know about maintenance - coatings. Amercoat Corporation.
11. - J.I. Richardson. Recomendations for a standard test procedure to evaluate protective coatings. Amercoat Corporation.
12. - S.J. Dechsle, Jr. and Kenneth G. Lefeure. Surface preparation for protective coatings. Protective coatings Division. Metalwed Inc. Philadelphia.
13. - R.M. Borns and W.W. Bradley. Protective Coatings for Metals.
14. - Quim. M. Guevara H. Recubrimientos anticorrosivos. Amercoat Mexicana, S. A.

15. - Glossary of Terms need in Maintenance Painting. Material Protection. January 1965.
16. - Fanentt and Hudson. Protective Paintings of Structural Steel. Chapman and Hall Ltd. London.
17. - I.Q. Alfonso Reyes E. El problema de la corrosión y su relación con los materiales de construcción en la industria química. Sesión Técnica No. 21. Simposium X, VI Convención Nacional del IMIQ y III Congreso Interamericano de Ingeniería Química.
18. - C.G. Munger. Prevención de la corrosión marina con recubrimientos inorgánicos. Amercoat. Corporation.

Esta Tesis se Imprimió en Diciembre de 1973  
empleando el sistema de reproducción Xerox-Offset,  
en los Talleres de Impresos Offsali-G, S. A., Av.  
Colonia del Valle No. 531 (Esq. Adolfo Prieto),  
Tel. 523-21-05      Oficinas Mier y Pesado 349-A  
Tel. 523-03-33      México 12, D. F.