



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS  
DE CORROSION, PROTECCION CATODICA Y  
CUBIERTAS PROTECTORAS INORGANICAS  
Y ORGANICAS.**

**TESIS MANCOMUNADA**

**QUE PRESENTAN:**

**MARIA ELENA GONZALEZ CAREAGA QUIMICO  
IRVING MANUEL BAUTISTA MENDEZ ING. QUIMICO**

**MEXICO, D.F.**

**1982**



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.

# I N D I C E

Págs.

I.-	INTRODUCCION.....	1
II.-	TEORIA ELECTROQUIMICA DE LA CORROSION	2
	1.- ELECTROQUIMICA DE LA CORROSION...	2
	2.- FENOMENOS DE POLARIZACION.....	7
	3.- POTENCIAL DE CORROSION.....	10
	4.- POTENCIALES DE OXIDO-REDUCCION...	12
	5.- METODOS DE CONTROL DE LA CORROSION.....	15
III .-	FORMAS DE CORROSION.....	22
	1.- CORROSION GALVANICA.....	22
	2.- CORROSION ATMOSFERICA.....	27
	3.- CORROSION POR SUELOS.....	32
	4.- CORROSION POR AGUA Y VAPOR.....	37
IV.-	RECUBRIMIENTOS PROTECTORES.....	43
	1.- COMPONENTES BASICOS DE LOS RECUBRIMIENTOS .....	44
	2.- CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS.....	48
	3.- PREPARACION DE SUPERFICIES.....	73
	4.- METODOS DE APLICACION.....	82
	5.- EQUIPO DE INSPECCION.....	91
	6.- FALLAS DE LOS RECUBRIMIENTOS.....	98
	7.- TABLAS COMPARATIVAS.....	102
	8.- ASPECTOS ECONOMICOS DE LOS RECUBRIMIENTOS .....	115

V	.- PROTECCION CATODICA .....	130
	1.- PRINCIPIOS DE PROTECCION CATODICA ...	130
	2.- METODOS DE APLICACION DE PROTECCION CATODICA .....	135
	3.- REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE PARA LA PROTECCION CATODICA .....	170
	4.- CONFIGURACION GEOMETRICA DE LAS ESTRUCTURAS PARA LA APLICACION DE PROTECCION CATODICA .....	171
	5.- CRITERIOS PARA APLICAR LA PROTECCION CATODICA .....	173
VI	.- CONCLUSIONES .....	186
	BIBLIOGRAFIA .....	189



Muchas personas consideran a la corrosión como un sinónimo de oxidación o herrumbre... o sea como un proceso simple y natural, de oxidación, que se limita sólo al hierro o al acero.

Sin embargo, en realidad, la corrusión ha sido definida más -- apropiadamente como la gradual destrucción y desintegración, -- debida a la acción de ácidos, -- álcalis u otras sustancias quí--micas; o erosión de cualquier -- material.

**LA CORROSION...**  
**ES MAS QUE UNA SIMPLE OXIDACION**

## 1.- INTRODUCCION.

Es un hecho común que durante la operación - de plantas químicas, petroquímicas, metalúrgicas, textiles, instalaciones marinas, barcos, etc., se observe la gradual destrucción de tanques, equipos de proceso, líneas de conducción, pilotes, estructuras, etc. Normalmente estos efectos se atribuyen al fenómeno de corrosión y es evidente que en casi todos los casos es necesario llevar a cabo una gran labor de prevención y protección de estas instalaciones.

Por lo que, si se quiere anular o atenuar en lo posible los efectos de degradación de los materiales es indispensable comprender con claridad los procesos mediante los cuales se realiza este fenómeno de corrosión con el objeto de seleccionar uno o varios sistemas de protección adecuados para el caso particular de que se trate.

Por otro lado, los costos excesivos que resultan del mantenimiento y/o reposición de las instalaciones afectadas por este fenómeno, crea una carga económica que no puede ser ignorada por ningún país y en menor escala por ninguna planta industrial.

El presente trabajo tiene como fin proporcionar los conocimientos básicos de la corrosión a personas que se ven comprometidas a tareas de prevención y control de este fenómeno, más por obligación que como consecuencia de un proceso de educación formal.

## II.- TEORIA ELECTROQUIMICA DE LA CORROSION.

Muchas personas consideran la corrosión como un sinónimo de oxidación o herrumbre, o sea como un proceso simple y natural de oxidación que se limita solo al fierro o al acero; sin embargo, la corrosión ha sido definida en su concepto más amplio como "la gradual desintegración o destrucción de los materiales debido a un proceso químico, -- electroquímico o de erosión a causa de la interacción del material con el medio ambiente que lo rodea.

### I.- Electroquímica de la corrosión.

En el caso particular de los metales el fenómeno de corrosión es considerado como un proceso electroquímico; ya que, se presenta una reacción química que involucra la transferencia de electrones (oxidación-reducción). La definición precedente puede ser comprendida más sencillamente si se observan dos ejemplos típicos de corrosión:

a).- Consideremos la reacción de corrosión del zinc por el ácido clorhídrico:



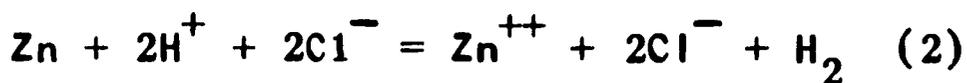
Una reacción de oxidación tal como la indicada en la ecuación (4) representa un aumento en el estado de oxidación con liberación de electrones,

En una similar, una reacción está indicada por una disminución en el estado de oxidación por aceptación de electrones, como se indica en la ecuación (5). Nótese que las ecuaciones (4) y (5) sumadas conducen a la reacción total indicada en la ecuación (3). En la terminología de la corrosión una reacción de oxidación es llamada a menudo una reacción anódica, mientras que las reacciones de reducción son llamadas usualmente reacciones catódicas.

Esto está ilustrado en la figura 11-1. Aquí una pieza de zinc sumergida en una solución de ácido clorhídrico está sufriendo corrosión en algún punto de la superficie, el zinc se transforma en iones zinc de acuerdo a la ecuación (4). Esta reacción produce electrones y estos pasan a través del metal sólido conductor a otros sitios de la superficie metálica, donde los iones hidrógeno son reducidos a gas hidrógeno de acuerdo a la ecuación (5) lo que demuestra la naturaleza electroquímica de la corrosión.



Se recordará que el ácido clorhídrico y el cloruro de zinc se encuentran ionizadas en soluciones acuosas, por lo que se puede volver a escribir la ecuación:



Cuando se escribe en esta forma resulta obvio que el ión cloruro no participa directamente en la

reacción. Esto es, el cloruro aparece en ambos miembros pero no es alterado por la reacción de corrosión. Por lo tanto se puede simplificar más la reacción (2) omitiendo el ión cloruro que no reacciona.



Como se muestra en la ecuación (3), la corrosión del zinc por el ácido clorhídrico, consiste simplemente en la reacción entre el zinc y los iones hidrógeno produciendo iones zinc y gas hidrógeno. Durante esta reacción, el zinc se oxida a iones zinc. Simultáneamente, los iones hidrógeno se reducen a gas hidrógeno durante el proceso de corrosión. La reacción que se muestra en la ecuación (3) puede ser simplificada más aún dividiéndola en dos ecuaciones separadas, una reacción de oxidación y una reacción de reducción.

b).- Un segundo ejemplo es la corrosión del hierro y el acero (materiales importantes en la construcción de plantas industriales, barcos, gasoductos, etc). por el agua, este proceso de corrosión como el anterior considera la formación de pequeñas pilas galvánicas en la superficie expuesta a la acción del agua presentándose un flujo de electrones de las zonas anódicas donde se disuelve el hierro (oxidación) hacia las zonas catódicas donde se desprende hidrógeno o se forman iones-oxhidrilo (reducción), para cerrar el circuito se requiere de un electrolito proporcionado por el medio.

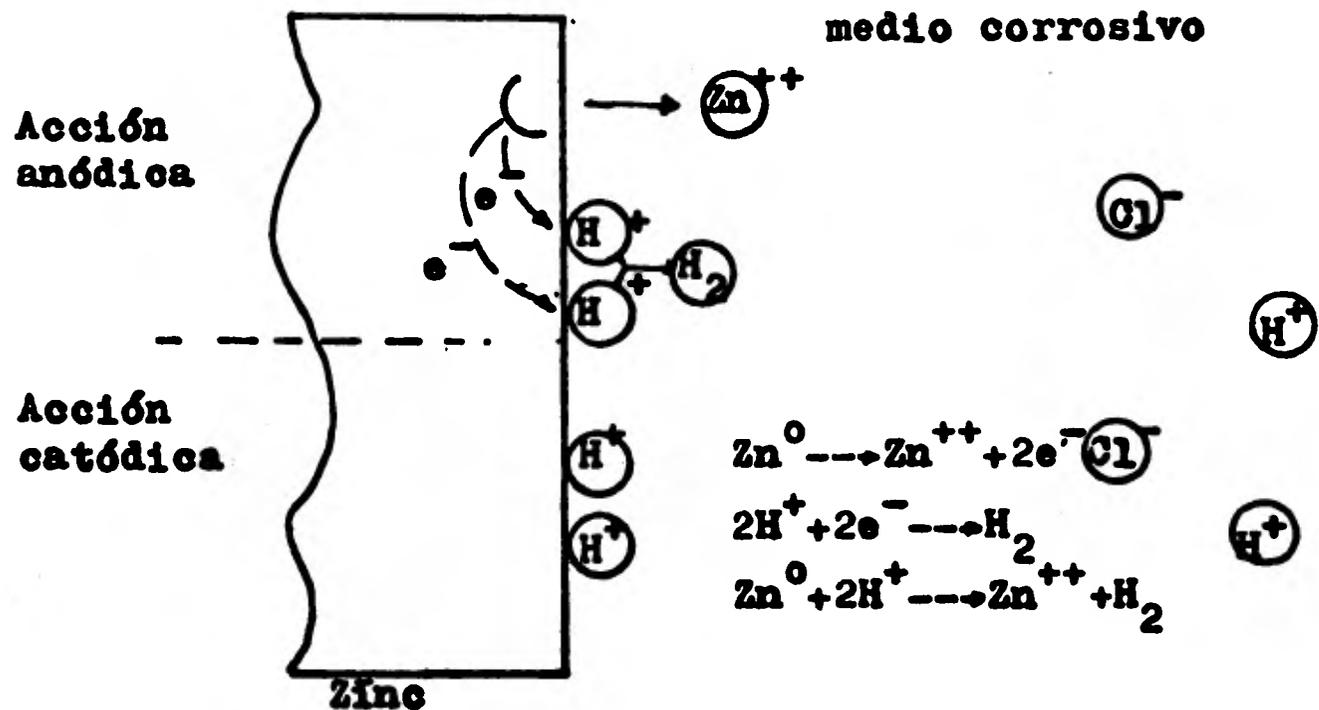
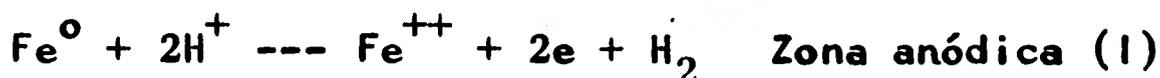


FIGURA II-1. - Reacciones electroquímicas que se producen durante la corrosión del zinc en ácido clorhídrico.

Las zonas anódicas y catódicas son ocasionadas por diferencias en la estructura cristalina, restos de escoria de laminación, óxidos en general, así como a diferencias de composición en la superficie de los aceros comerciales. De acuerdo con la figura 11-2, además de los procesos en el metal tienen un papel preponderante la cantidad de oxígeno presente y la conductividad eléctrica del medio.

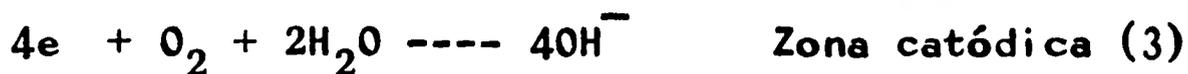
Las reacciones que se efectúan en la corrosión del hierro son:



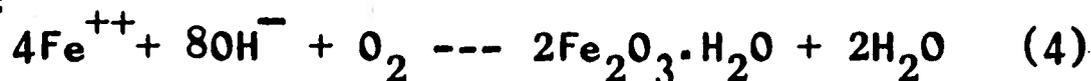
El hidrógeno que se libera es oxidado por el oxígeno disuelto convirtiéndose en agua:



Así mismo los electrones cedidos por el hierro reaccionan con el agua y el oxígeno disuelto formando los iones oxhidrilo:



Por último los iones hierro reaccionan con los iones oxhidrilo y el oxígeno formando el óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  que resulta ser el herrumbre:



En resumen los dos ejemplos anteriores confirman que la corrosión en los metales es un pro-

ceso electroquímico, el cual involucra la transferencia de electrones (oxidación-reducción) y para que esto se lleve a cabo es necesario contar con los siguientes elementos: un ánodo, un cátodo, un electrolito y de un circuito para establecer el paso de corriente eléctrica.

## 2.- Fenómenos de polarización.

En los dos ejemplos anteriores se han examinado las reacciones anódicas y catódicas que se producen por corrosión, de interés primordial es la extensión y la velocidad a la que ocurren estas reacciones, lo cual está determinado por varios factores físicos y químicos, por lo que se dice que una reacción electroquímica es retardada o polarizada cuando se presentan estos factores. Hay dos diferentes tipos de polarización: de activación y de concentración.

### a).- Polarización de activación.

El término polarización de activación es utilizado para indicar factores retardantes que son inherentes a la reacción en sí. Por ejemplo, considerando el desprendimiento de gas hidrógeno descrito previamente en la ecuación (5) y la figura 11-1. La velocidad a la cual se reducen los iones hidrógeno a gas hidrógeno será una función de varios factores incluyendo la velocidad de la transferencia de electrones al ión hidrógeno en la superficie del metal. Por lo tanto, existe una velocidad inherente para esta reacción dependiendo del metal particular, concentración del ión hidrógeno y la temperatura del sistema. En-

## Medio Corrosivo

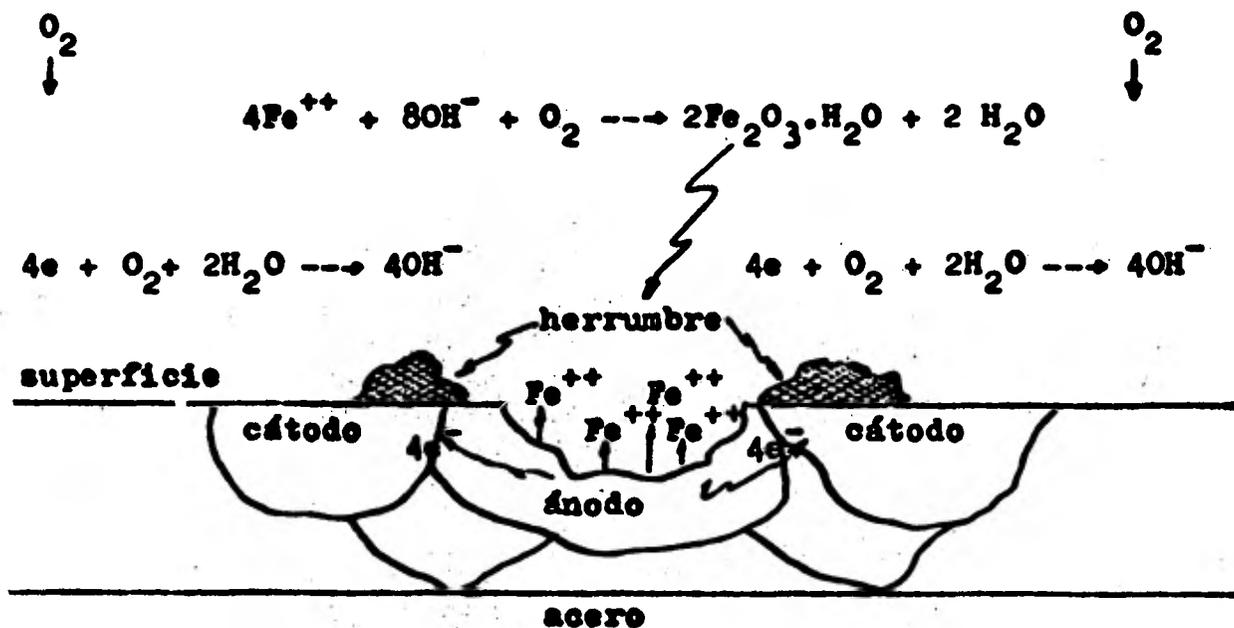


FIGURA 11-2.- Reacciones electroquímicas que se presentan durante la corrosión del hierro y del acero - por acción del agua.

efecto, existen amplias variaciones en la capacidad de los metales para transferir electrones a los iones hidrógeno y, como resultado, se observan variaciones en la velocidad de desprendimiento de hidrógeno a partir de superficies de metales diferentes.

b).- Polarización de concentración.

En contraste, la polarización de concentración se refiere al retardo de una reacción electroquímica como resultado de cambios de concentración en la solución adyacente a la superficie del metal. Esto se puede ver en la figura 11-3 aquí se nota el desprendimiento de hidrógeno en una superficie metálica que se corroe rápidamente. Si esta reacción se produce a una velocidad, y la concentración de iones hidrógeno en la solución es relativamente baja, puede verse que la región muy cercana a la superficie del metal será escasa en iones hidrógeno a causa de que éstos son consumidos por la reacción catódica; bajo estas condiciones, la reacción está controlada por la velocidad de difusión de los iones de hidrógeno a la superficie metálica.

La polarización de activación es usualmente el factor de control durante la corrosión con ácidos fuertes. La polarización de concentración predomina cuando la concentración de las especies activas es baja; por ejemplo, en ácidos diluïdos y en agua aireada y soluciones salinas (la solubilidad del  $O_2$  es baja en agua y soluciones acuosas) Es de gran utilidad saber la clase de polarización que se está produciendo, ya que esto permite

predecir las características del sistema corrosivo.

### 3.- Potencial de corrosión.

El potencial de un metal que se corroe es de lo más útil en los estudios de corrosión, y afortunadamente puede ser medido sin dificultad en el laboratorio o bajo condiciones de campo. El potencial de corrosión se mide determinando la diferencia de voltaje entre un metal sumergido en un líquido corrosivo y un electrodo de referencia apropiado. Son ejemplos de tales electrodos de referencia: el electrodo saturado de calomel, de cobre, sulfato de cobre y el de platino-hidrógeno.

La figura 11-4, ilustra la técnica experimental para medir el potencial de corrosión de un metal M sumergido en un electrolito. Para medir la diferencia de voltaje entre el electrodo de referencia y el metal utilizando un potenciómetro, debido a que éste es capaz de medir exactamente pequeños voltajes sin consumir una corriente apreciable. Observando la figura 11-4 se utiliza un puente salino entre el electrodo de referencia y la solución corrosiva; ésto con el fin de evitar la contaminación del electrodo de referencia por el líquido corrosivo. Al medir los potenciales de corrosión es necesario indicar la magnitud del voltaje y su signo. El signo menos indica que el metal es negativo con respecto al electrodo de referencia. Al efectuar una medición de potencial de corrosión es necesario experimentar primero conectando el metal al terminal positivo o negativo del potenciómetro, y encontrar que conexión permi

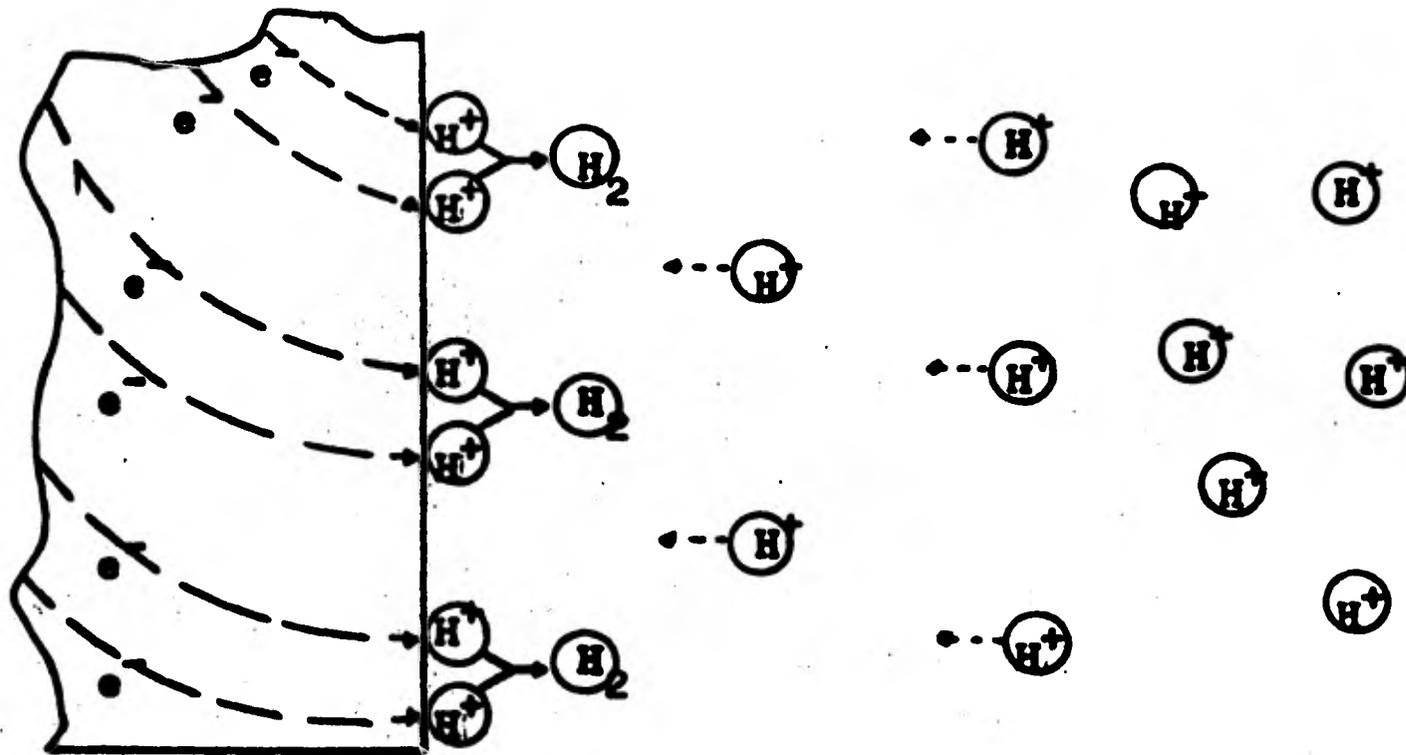


Figura 11-3.- Polarización de concentración durante la reducción catódica de iones hidrógeno.

te balancear el potenciómetro. También es necesario especificar la clase de electrodo empleado en la medición del potencial de corrosión.

La magnitud y signo del potencial de corrosión es una función del metal, la composición temperatura y agitación del electrolito. Más adelante bajo el tema de corrosión galvánica, veremos como pueden utilizarse las mediciones de potencial para predecir el comportamiento de los metales hacia la corrosión.

#### 4.- Potenciales de óxido-reducción.

a).- Definición. El potencial de óxido-reducción es el potencial relativo a una reacción electroquímica bajo condiciones de equilibrio o de ausencia de reacción (flujo de corriente cero). Estos potenciales son medidos por medio de técnicas electroquímicas especiales bajo condiciones de equilibrio cuidadosamente controladas. La tabla 11-1 señala algunos de los valores para varias reacciones electroquímicas. Como estos potenciales se refieren al estado de equilibrio, las reacciones se desplazan en ambos sentidos con iguales velocidades. A estos potenciales también se les llama con otros nombres tales como potenciales redox, de medias celdas (hemi-pilas) y serie de fuerza electromotriz o serie FEM.

b).- Criterio de corrosión. Los potenciales de óxido-reducción son de gran utilidad pues pueden ser empleados para predecir si un metal será corroído en un ambiente dado, o no. Esto es llevado a cabo simplemente siguiendo la regla gene -

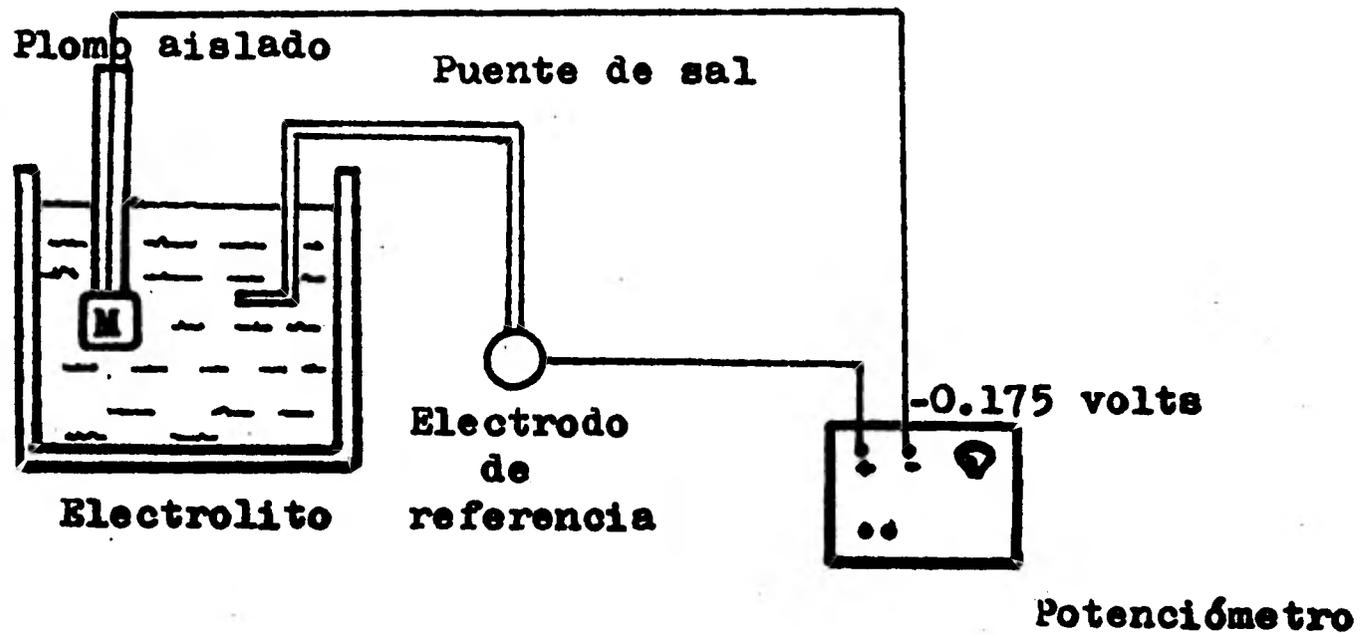


Figura 114.- Medición experimental del potencial de corrosión.

ral: "En cualquier reacción electroquímica la hemi-pila más negativa tiende a ser oxidada y la hemi-pila más positiva tiende a ser reducida".

A continuación vemos como puede aplicarse esta regla considerando varios ejemplos. Aunque sabemos que el zinc se corroe en soluciones ácidas, supongamos que lo desconocemos y deseamos determinar si el zinc tiende a reaccionar o no. En la tabla II-1 podemos ver que el potencial de la hemi-pila zinc-ion-zinc es más negativa que -- aquel de la hemi-pila ion-hidrógeno gas-hidrógeno. De donde la aplicación de la regla indicará que el zinc tiende a ser corroído por soluciones ácidas.

En realidad se puede observar que todos los metales que poseen potenciales redox más negativos que el potencial del gas-hidrógeno ion-hidrógeno tenderán a ser corroídos por soluciones ácidas. Esto incluye plomo, estaño, níquel, fierro, cromo y aluminio, juntamente con los otros metales con potenciales negativos.

En una forma similar, se vé que el cobre, mercurio, plata, paladio y los otros metales con potenciales más positivos que el electrodo de hidrógeno ion hidrógeno no serán corroídos por soluciones ácidas. Por ésto, puede predecirse que el cobre será un buen material para recipientes en medio ácido, un hecho que es confirmado por los ensayos de corrosión. Sin embargo, el cobre tenderá a ser corroído por los ácidos o cualquier medio que contenga oxígeno disuelto, dado que el potencial redox del cobre es más negativo que las -

dos reacciones de reducción del oxígeno como se muestran en la tabla 11-1. No es de esperarse -- que el platino y el oro sean corroidos ni aún por los ácidos oxigenados a causa de sus potenciales positivos relativamente altos comparados a la celda del oxígeno.

Los ejemplos anteriores confirman la utilidad de los potenciales de óxido-reducción en la predicción de la corrosión. Como resultado se -- utilizan ampliamente para efectuar la selección inicial de aleaciones con posibilidad de resistencia a la corrosión para diferentes medios.

#### 5.- Métodos de control de la corrosión.

En la actualidad se cuenta con cinco métodos que han resultado ser los más prácticos para controlar la corrosión de los metales, esta selección para cada caso dependerá de las condiciones del medio ambiente y de factores técnico-económicos por lo que cada situación debe estudiarse individualmente y la decisión adoptada debe basarse en factores tales como: paros en los procesos de operación, reposición de las instalaciones o equipos, apariencia, ambiente,, etc.

a).- Sobrediseño de estructuras. Este primer método, que podríamos tachar de pesimista de combatir o anticiparse a los efectos de la corrosión, consiste en el diseño o el uso de piezas estructurales reforzadas en previsión de pérdidas o desgaste ocasionados por la corrosión. Naturalmente, este método presenta el inconveniente que el margen para la corrosión no se puede calcular con --

exactitud, ni la duración del metal por lo que, - es muy importante tener a mano referencias o experiencias que nos permitan lograr una decisión acertada y económica.

b).- Modificación del ambiente, uso de inhibidores. Este método implica generalmente, controlar descargas de vapores corrosivos o la adición de inhibidores a los líquidos de un sistema cerrado.

El empleo de inhibidores químicos se limita por lo general 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 especialmente de soluciones, su uso en el campo de conservación o mantenimiento está perfectamente definido. Debe tenerse especial cuidado en la selección de las cantidades y clases de sustancias químicas, ya que, un inhibidor inadecuado suele a veces acelerar la corrosión en lugar de impedirla o retardarla. Sin embargo usados adecuadamente, constituyen una solución sencilla y barata al problema del control de la corrosión.

c).- Protección por cubiertas o recubrimientos anticorrosivos. Este método considera la formación de una barrera que impida en lo posible el acceso de los agentes corrosivos a la superficie metálica; su aplicación ha tenido la mayor aceptación dada su versatilidad y eficacia en el control de la corrosión.

Estas barreras de recubrimientos tienen a su cargo la protección de la mayor parte de las su -

Tabla II-1.- Potenciales normales de Oxido-Reducción a 25°C.

SEMI-REACCION	E° VOLTIOS	
$\text{Au} = \text{Au}^{3+} + 3\text{e}$	1.420	Noble
$\text{Pt} = \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}$	1.200	
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.230	
$\text{Pd} = \text{Pd}^{2+} + 2\text{e}$	0.830	
$\text{Ag} = \text{Ag}^+ + \text{e}$	0.799	
$2\text{Hg} = \text{Hg}_2^{++} + 2\text{e}$	0.798	
$\text{Fe}^{3+} + \text{e} = \text{Fe}^{2+}$	0.771	
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = 4\text{OH}^-$	0.401	
$\text{Cu} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}$	0.340	
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e} = \text{Sn}^{2+}$	0.154	
$2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$	0.000	Referencia
$\text{Pb} = \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.126	
$\text{Sn} = \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.140	
$\text{Ni} = \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.230	
$\text{Co} = \text{Co}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.270	
$\text{Cd} = \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.402	
$\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.440	
$\text{Cr} = \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}$	- 0.710	
$\text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.763	
$\text{Al} = \text{Al}^{3+} + 3\text{e}$	- 1.660	
$\text{Mg} = \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}$	- 2.380	
$\text{Na} = \text{Na}^+ + \text{e}$	- 2.710	
$\text{K} = \text{K}^+ + \text{e}$	- 2.920	Activo

perficies de metal concreto, madera, etc.

Son indiscutiblemente las principales armas de que se dispone para la conservación y mantenimiento de plantas industriales, complejos petroquímicos, barcos, plataforma marinas, gasoductos, oleductos, etc.

La selección de la cubierta o recubrimiento-protector apropiado para una situación dada no es lo único importante, sino que igual importancia tienen la preparación de la superficie que se desea proteger así como la técnica de aplicación. Disponiéndose de una gran variedad de equipos y procedimientos para este fin.

d).- Uso de materiales resistentes a la corrosión. Debido principalmente a su costo y cualidades estructurales el fierro y el acero son los metales más usados en las construcciones industriales, desafortunadamente estos metales tienden a corroerse o a convertirse en óxidos con mayor rapidez que otros materiales. Con frecuencia en condiciones de exposición extremadamente severas (presión, temperatura, medio corrosivo se vero), se recurre a otras aleaciones o materiales como única solución posible. En esta situación el costo inicial elevado de estos materiales es justificado por su resistencia y larga duración.

Entre los metales que se usan comúnmente para aleaciones con el fierro están el cromo, níquel y molibdeno (aceros inoxidables). Además de estas aleaciones se puede disponer del cobre, zinc aluminio, plomo o bien de materiales plásticos co

mo poliéster, polietileno, cloruro de polivinilo, etc.

e).- Protección catódica. Un quinto método - que se emplea es la protección catódica, que consiste en acoplar dos metales para producir una corrosión galvánica. Si bien lo que nos 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.

Por lo tanto para proteger la superficie del acero, debemos escoger un metal más activo, es de cir, uno que se encuentre arriba en la serie galvánica (ver tabla III-1). Para este objeto se usa generalmente el magnesio, cuando se acopla eléctricamente al acero formando una batería amplificada de corrosión en la cual el magnesio debido - a su mayor actividad constituye el ánodo y el acero el cátodo; de esta manera, el ánodo de magne - sio se corroe quedando el cátodo de acero intacto.

Los mismos resultados se logran suministrando corriente eléctrica de una fuente externa al metal que se desea proteger. En este sistema pueden usarse como fuentes de corriente directa, generadores, rectificadores, acumuladores y pilas - secas. Para evitar la rápida desintegración del ánodo se selecciona un metal inerte.

El método de protección catódica ha encontrado su principal aplicación en la protección de - equipo marino, tanques de almacenamiento de agua, tuberías subterráneas. La sencillez es 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 recubrimientos protectores.

Considerando el aspecto económico de cada uno de estos métodos así como sus limitaciones, las cuales necesariamente repercuten en su eficiencia de protección, se concluye que la solución a los problemas de corrosión está enfocada a su control más que a su eliminación. Cada uno de los métodos mencionados constituye un extenso campo de investigación y estudio de la corrosión. En el presente trabajo se consideró únicamente lo concerniente a recubrimientos protectores y protección catódica.

TABLA 11-2.- COMPARACION DE LOS METODOS DE CONTROL DE LA CORROSION

METODO	EJEMPLOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
Modificación del medio ambiente.	Sistemas de tratamiento de agua. Sistema de circulación de agua.- Inhibidores.	Sencillo, bajo costo.	Deben ser cuidadosamente controladas: cantidad y tipo de productos químicos.
Materiales resistentes a la corrosión.	Cobre, níquel, cromo, aceros inoxidables materiales termoplásticos: PVC, polietileno, poliéster, etc.	Larga vida de servicio, solo responde en determinadas situaciones.	Alto costo inicial. Instalación especializada.
Protección catódica .	Cascos de barcos, tuberías enterradas, pilotes.	Sencillo, efectivo en presencia de un buen electrolito.	Utilidad limitada - en áreas secas o húmedas, inmersión requerida.
Recubrimientos protectores.	Epóxicos, vinílicos, alquídicos, silicón, hule clorado, inorgánicos de zinc, etc.	Más efectivo y versátil. Costo razonable.	Cuidadoso análisis del problema de corrosión, preparación de superficie y sistema de aplicación adecuado.
Sobrediseño	Miembros estructurales más pesados o placas más gruesas que las requeridas.		No se puede predecir la vida de servicio, alto costo inicial, incremento notable - en el peso de equipo estructural, etc.

### III.- FORMAS DE LA CORROSION.

La corrosión por sus diversas formas en que se manifiesta, es conveniente clasificarla con el objeto de lograr la mejor comprensión y control de sus efectos. Esta clasificación está basada en los siguientes factores: naturaleza del metal o aleación, efectos galvánicos entre los metales, apariencia de los metales corroídos y naturaleza del medio ambiente corrosivo.

- 1.- Corrosión galvánica
- 2.- Corrosión atmosférica.
- 3.- Corrosión por suelos.
- 4.- Corrosión por agua y vapor.

Estas cuatro formas abarcan prácticamente todos los casos de corrosión que con frecuencia se presentan en la industria.

#### 1.- Corrosión galvánica.

Con frecuencia en el área de la construcción se presenta situaciones en que dos o más metales diferentes se encuentran conectados eléctricamente y en tales condiciones permiten la formación de una batería de corrosión, existe entonces una situación en la que un metal se corroerá preferentemente en relación con el metal al que se haya conectado; lo anterior es lo que designamos con el nombre de corrosión galvánica.

Para que se produzca la corrosión galvánica son generalmente necesarias tres condiciones:

- a).- Deben encontrarse presentes dos metales

electroquímicos diferentes.

- b).- Estos metales deben estar en contacto eléctrico.
- c).- Los metales deben estar expuestos a un electrolito.

Hay varias maneras para evitar la corrosión galvánica las cuales pueden ser utilizadas individualmente o en combinación. Estas medidas preventivas parten del mecanismo básico de la corrosión galvánica.

a).- Evitar el uso de metales diferentes - - siempre que nos sea posible. Si esto no es práctico, debe tratarse de utilizar metales que se en cuentren cercanos en la serie galvánica (ver ta - bla III-1), que es una clasificación referente a los potenciales de corrosión de varios metales y aleaciones expuestos a un ambiente específico. Pa - ra simplificar y a causa de que los potenciales de corrosión de un metal dado muestran a menudo - variaciones considerables, los valores reales son eliminados y la tabla se presenta en realidad como un listado.

b).- Siempre que sea posible debe evitarse - una relación de áreas desfavorable. Bajo ninguna circunstancia debe conectarse un ánodo pequeño a un cátodo grande, ya que esto incrementa la velocidad de corrosión del metal anódico. Por ejemplo, si acoplamos un ánodo pequeño de magnesio - con un área grande de acero (tal como se hace en la protección de los cascos de los barcos), sien-

do el área anódica muy pequeña comparada con la gran área catódica se corroerá rápidamente. Esto se debe a que todo el impacto de la corriente galvánica queda concentrado sobre una pequeña -- área de metal activo; por el contrario si el área catódica es pequeña en comparación con la anódica, la corrosión del ánodo será relativamente lenta -- puesto que la demanda sobre el ánodo se distribuye suavemente y ningún punto en particular pierde demasiado metal. No hay que olvidar que las -- áreas que así se comportan son únicamente las que están en contacto eléctrico y no las áreas que es tán en contacto físico. Las áreas metálicas que se encuentren en contacto eléctrico serán aquellas que estén en contacto con un circuito conductor -- externo (electrolito).

c).- Si se utilizan metales diferentes hay -- que aislarlos eléctricamente entre sí. En la figura III-1, se muestra un ejemplo de esta técnica. Ilustra la aislación de tubería de acero y aluminio para conducción de agua; en caso contrario si se roscan los tubos como para que estén en contacto se producirá la corrosión galvánica.

d).- Si es necesario utilizar metales dife -- rentes y estos no pueden ser aislados, entonces -- debe diseñarse el componente más anódico, como -- para poder reemplazarse fácilmente o construído -- con materiales de gran espesor; para poder resis -- tir por más tiempo los efectos de la corrosión -- (protección catódica).

Por último, cabe hacer notar que en algunas--

TABLA III-1.- Serie galvánica de algunos metales-  
y aleaciones expuestos al agua de -  
mar.

---

Extremo activo o anódico.	Magnesio
	Aleaciones de magnesio
	Zinc
	Acero galvanizado
	Aluminio
	Cadmio
	Acero dulce
	Fierro forjado
	Fierro fundido
	Acero inoxidable 13% de cobre
	Plomo
	Estaño
	Bronce manganeso
	Níquel
	Bronce amarillo
	Bronce aluminio
	Bronce rojo
	Bronce silicio
	Cobre
	Cupro níquel 70:30%
Plata	
Extremo pasivo - - (noble) o catódico	Grafito
	Oro
	Platino

---

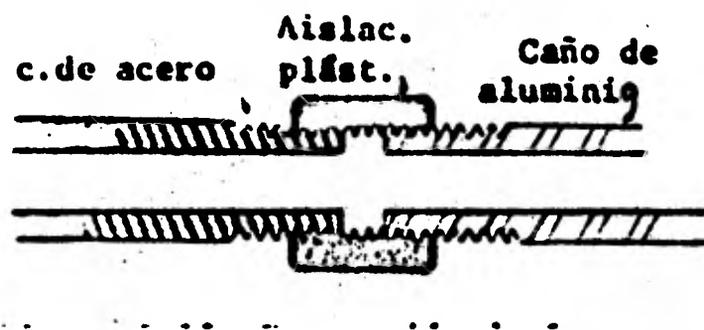


Figura III-1.- Prevención de la corrosión galvánica de una tubería de aluminio, mediante una cupla aislante a una tubería de acero.

ocasiones ha habido confusión en cuanto al manejo de las tablas III-1 y II-1, ya que ambas son similares; las diferencias entre ellas puede verse simplemente por medio de un exámen de nuestra discusión.

La tabla de óxido-reducción se utiliza para predecir, si se producirá o no corrosión, en un solo metal dado. En contraste, la serie galvánica se utiliza para predecir si se producirá o no corrosión galvánica, y en el caso afirmativo cual de los dos metales acoplados sufrirá o exhibirá un aumento en la corrosión. Por lo consiguiente ambas tablas poseen usos completamente diferentes y no deben ser confundidas.

## 2.- Corrosión atmosférica.

Realmente la mayor parte de la corrosión que se presenta en equipo y estructuras de plantas -- industriales es producida por la acción del medio ambiente sobre éstas, ocasionandonos enormes pérdidas económicas. Como consecuencia es necesario definir los tipos de atmosfera que se tienen en nuestro medio, con el fin de tomar las medidas y precauciones necesarias para atenuar en lo posible los efectos de la corrosión atmosférica.

### a).- Clasificación de atmósfera.

En general, las atmosferas pueden ser clasificadas en cuatro tipos básicos, sin que exista entre ellas una limitación ya que siempre se encuentran mezcladas sin que haya barreras de separación.

### 1.- Atmósfera industrial.

Cualquier ambiente sujeto a la acción continua u ocasional de gases o contaminantes de origen industrial como los emitidos por chimeneas, fundidoras, refinerías, industrias químicas, etc. Así como lugares urbanos con alta densidad de tráfico con sus consecuentes emisiones de escapes de los vehículos, se deberá considerar como ambiente industrial; ya que, estos contaminantes más el rocío o la niebla producen una película ácida, líquida, altamente corrosiva la cual se asienta en forma de gotitas microscópicas sobre las superficies expuestas.

### 2.- Atmósfera marina.

Se considera como atmósfera marina cualquier lugar cercano a la costa, al cual pueden llegar vientos marinos con partículas finas de sal. El término "cercano" es muy relativo, ya que depende de la topografía y las condiciones meteorológicas específicas de cada lugar el que le lleguen arrastres de sal o no. Estos pueden llegar hasta distancias mayores de 60 kilómetros de la costa según el caso, pero en la mayoría de ellos podría considerarse ambiente marino una distancia de 10-kilómetros de la costa.

### 3.- Atmósfera rural.

Por exclusión, cualquier ambiente no cercano a la costa y no sujeto a la acción de contaminantes industriales o urbanos se definirá como atmósfera rural. Los constituyentes corrosivos de es

te ambiente son la humedad y por supuesto elementos gaseosos tales como el oxígeno y el dióxido de carbono.

Las atmósferas árida y tropical, son casos especiales de la atmósfera rural y en tal caso sería necesario realizar un estudio climatológico para apreciar los elementos de la corrosión como son: humedad, condensación, precipitación pluvial, temperatura, etc.

#### 4.- Atmósfera cerrada.

Se define como una atmósfera donde no hay un contaminante típico o conjunto de condiciones asociadas con un medio ambiente específico, por lo que, un espacio cerrado que no sea evacuado o llenado completamente con líquidos o gases puede ser considerado como un ambiente cerrado.

##### b).- Factores que afectan la corrosión atmosférica.

En la actualidad existen métodos para medir muchos de los factores que influyen en la corrosión atmosférica. Se han determinado la cantidad y composición de los contaminantes en la atmósfera: la temperatura, la humedad relativa, velocidad y dirección del viento, la radiación solar y la cantidad de lluvia. Una determinación más difícil resulta ser la del tiempo de permanencia de la humedad y la cantidad de contaminantes por dióxido de azufre y cloruros. Registrando estos valores y relacionandolos a las velocidades de corrosión de las superficies, se ha obtenido una

mejor comprensión de la corrosión atmosférica.

c).- Formas de corrosión atmosférica.

En virtud de que la corrosión atmosférica se presenta en diversas formas, que es necesario diferenciarlas con base en la apariencia del metal-corroído.

1.- Corrosión general o uniforme.

Es la que se presenta, cuando las capas superficiales del metal se convierten en los productos de corrosión de tal manera que, el espesor de la sección se reduce uniformemente provocando que el metal se vuelva más delgado y eventualmente se rompa.

2.- Corrosión local o por picadura.

El metal no se corroe uniformemente sino que presenta diferentes lugares donde se producen picaduras pequeñas. Los fondos de las picaduras son ánodos en pequeñas celdas de corrosión con la superficie circundante actuando como cátodos. Las picaduras están separadas o juntas y tienen la apariencia de una superficie rugosa. A menudo es difícil detectar los orificios debido a su tamaño tan pequeño y porque son cubiertos con frecuencia por los productos de corrosión.

La forma de corrosión por picadura es una de las más destructivas, causa roturas en el equipo debido a las perforaciones con una sola pequeña pérdida en por ciento en peso de la estructura entera.

### 3.- Corrosión intergranular.

La corrosión intergranular, depende directamente de la estructura metálica y de las condiciones que prevalecen en los límites entre los granos y en los planos de deslizamiento. Esta forma de corrosión siguiendo la trayectoria de los límites entre los granos se produce en escala microscópica sin que se observen indicios visibles de ataque intenso. Por esta razón es especialmente peligrosa, pues la construcción falla sin previo aviso a consecuencia de la pérdida de cohesión entre los granos.

La corrosión intergranular, se produce por las diferencias locales de concentración de los componentes de la aleación en los límites de los granos, a consecuencia de los tratamientos térmicos y de la precipitación subsiguiente.

Por consiguiente, el control de la corrosión intergranular está basado en principios metalúrgicos y el tratamiento apropiado dependerá del sistema particular de que se trate.

### 4.- Corrosión por grietas.

Es aquella que se nos manifiesta por la retención de humedad y contaminantes de la atmósfera en las grietas, lo que acelera la corrosión ahí presente en comparación a la de las superficies expuestas libremente.

### 5.- Corrosión por fatiga.

La corrosión debida a la fatiga es también -

una situación de la acción simultánea del medio - ambiente y las tensiones.

La corrosión por fatiga se caracteriza por - la fractura transcristalina en los metales y está asociada a bandas de deslizamiento que se forman durante los esfuerzos cíclicos del trabajo en - - frío.

Por lo tanto la corrosión y las tensiones - combinadas provocarán una reducción en el límite de resistencia de fatiga (definida como la ten -- sión cíclica máxima que no produce avería) y como consecuencia la fractura o ruptura del metal.

### 6.- Corrosión por erosión.

Este término designa la forma de corrosión - que se produce por la acción de un medio móvil, - es una combinación de corrosión y desgaste mécanico; que consiste en someter dos superficies a una vibración o movimiento de una con respecto a la - otra, exponiendo repetidamente metal nuevo al proceso continuo de corrosión.

#### d).- Medidas preventivas contra la corrosión atmosférica.

La corrosión atmosférica puede contro - larse mediante una selección correcta de los metales o aleaciones, el uso adecuado de recubrimien - tos protectores en combinación con la protección - catódica y hasta en cierta medida controlando la - contaminación ambiental.

### 3.- Corrosión por suelos.

En la corrosión por suelos son varios los -

factores que influyen y determinan la magnitud y la distribución de la corrosión, A pesar de las complejas condiciones que se encuentran en los suelos, se ha obtenido una gran variedad de información que facilita y soluciona la mayoría de los casos en donde se presente la corrosión.

El análisis de como se efectúa la corrosión por suelos, indica que se realiza en forma similar a la de una celda electrolítica, en donde el electrolito es el suelo común, los dos electrodos son usualmente metales y por último el circuito de conexión electrico puede tomar muchas formas dependiendo del caso específico de que se trate para que permita fluir la corriente de un electrodo a otro.

Las celdas que normalmente se encuentran presentes en la corrosión por suelos son:

a).- Celdas galvánicas.

Celdas metálicas disimiles.- Se presentan normalmente en una celda con dos electrodos de metales diferentes, el electrolito es el suelo y el circuito de conexión es el acoplamiento entre los metales presentes.

Celdas de concentración de oxígeno.- Es aquel tipo de celda en que alguno de los electrodos se presenta una gran diferencia de cantidad de oxígeno, donde el ánodo será aquel metal que no recibe el oxígeno, mientras que, el que recibe un suministro será el cátodo, naturalmente el electrolito es el suelo y el circuito es el mismo metal de conexión de los electrodos.

**Celdas de concentración.**- Son celdas que se presentan cuando se colocan dos electrodos del mismo metal, pero se encuentran en diferentes electrolitos o bien en diferentes concentraciones de las sustancias que presentan los suelos, el circuito de conexión es la unión entre metales que hacen la función de electrodos.

b).- **Celdas electrogalvánicas o de corriente.**- Se describen como celdas a las cuales se les suministra determinada cantidad de energía eléctrica desde una fuente exterior de corriente y se clasifican en:

1).- **Celda accidental.** Comúnmente se presentan en una gran variedad de circunstancias. Naturalmente lo importante es tener una fuente de corriente continua, capaz de suministrar la energía necesaria para que fluya en el suelo y encuentre o localice el metal donde se acumule, para así producirse una celda de corrosión accidental.

2).- **Celda deliberada.** Por lo común, este tipo de celdas las necesita o provoca cuando se requiere una protección catódica a estructuras o superficies metálicas que se encuentran amenazadas por algún tipo de agente corrosivo: atmósfera marina, rural, etc., el uso o aplicación se presenta por lo regular en la protección de oleoductos, plataformas marinas, cascos de barcos, etc.

c).- **Celdas varias.**

Existe una gran variedad de celdas corrosivas que se presentan en la corrosión por suelos,-

éstas dependen de varios factores y de los cuales derivan su nombre como son:

- 1.- Celda de tensión.
- 2.- Celda de movimiento de película
- 3.- Celda de superficie
- 4.- Celda de temperatura.

La descripción de cada una de las celdas anteriores llevaría a un tema que de por si solo es muy extenso, con lo que, se desviaría del objetivo principal. Por tal motivo unicamente se hace mención de ellas.

d).- Resistividad del suelo.

Un factor de importancia, es la resistividad del suelo ya que, éste realiza la función de electrolito en las celdas que se presentan en la corrosión por suelos. La resistividad eléctrica del suelo, es una propiedad que toda substancia posee y de la cual se vale para conocer de una manera fácil la cantidad de sales disueltas en el suelo; con una particular importancia aquellas que se ionizan más fácilmente. Cuando más baja es la resistividad mejor es el electrolito; por lo consiguiente, los suelos proveen electrolitos contribuyendo de esta manera a la corrosión. Existen dos métodos básicos para medir la resistividad del suelo y aguas:

- a).- Método de "cajas y suelos".
- b).- Método "in-situ".

En el control de la corrosión las mediciones

de resistividad son valiosas en dos aspectos: ayudan a predecir la corrosividad probable de suelos y aguas, datos necesarios para el diseño correcto de sistemas de protección catódica.

Los conceptos anteriores se pueden manejar - en un ejemplo de suma importancia que es la corrosión de oleoductos. En un oleoducto pueden encontrarse presentes casi todas las celdas descritas anteriormente.

Cuando se tiende un oleoducto se pone en función un gran número de celdas, la línea pasa a través de una variedad de suelos, dando lugar a celdas de concentración. Existen variaciones en el acceso de oxígeno generando celdas de oxígeno- existen impurezas y diferencias en la superficie de los oleoductos creando celdas galvánicas; las tensiones del doblado en frío y soldadura generan celdas por esfuerzo, etc. En virtud de la gran complejidad del suelo da origen a la formación de cualquier otro tipo de celda. Estas celdas son de todas clases, tamaños y formas; en algunos casos, los ánodos y cátodos se encuentran separados por tres o seis centímetros en otros pueden estar a mayor distancia. Las celdas tienen potenciales que varían desde unos pocos milivolts hasta medio volt.

Tan pronto como empiezan a trabajar hay cambios sobre las áreas catódicas, hay formación de hidrógeno. Estos cambios afectan tanto la resistencia como el potencial de la celda. Los ánodos comienzan a corroerse lo que coloca nuevos iones en solución en la superficie, a medida que estos reaccionan con varios componentes en el ambiente-

las concentraciones cambian; los potenciales de las celdas cambian, algunos aumentan otros disminuyen.

Generalmente, a medida que el tiempo pasa, el área anódica total sobre una línea se hace más pequeña pero la actividad total no disminuye a la misma velocidad, el resultado es que la velocidad de ataque en el peor lugar tiende a aumentar; finalmente, entre las distintas celdas a lo largo de la línea entera el ánodo más activo pierde por corrosión suficiente metal para penetrar completamente la pared del oleoducto.

Se presentan dos métodos que combinados o individualmente se emplean para el control de la corrosión: el de la protección catódica y el de aplicación de recubrimientos o cubiertas protectoras entre la superficie del metal y el medio corrosivo. Aún cuando el costo es alto el mantenimiento a largo plazo se verá en decremento, con lo que se tiene un medio eficaz del control de la corrosión de oleoductos, gasoductos, pilotes de acero, torres de transmisión, líneas colectoras, tanques subterráneos, etc.

#### 4.- Corrosión por agua y vapor.

El agua y el vapor son muy importantes por su amplio campo de aplicación como es la generación de vapor para las plantas termoeléctricas, sistemas de distribución de agua potable, sistemas de enfriamiento y transferencia de calor, etc.

La corrosión por agua y vapor es un problema serio, ya que no solamente representa la reposi--

ción de las líneas o sistemas corroidos, sino que también hay que considerar el tiempo que una o varias unidades detienen su operación para su mantenimiento. Así como el costo por concepto de mano de obra involucrada en esto.

Además se debe considerar que los productos de corrosión formados van a ocasionar obstrucciones en las líneas aumentando la resistencia al -- flujo, por efectos de mayor fricción con lo que se incrementará el costo de bombeo. En otros casos, no menos perjudicial, puede formar una barrera que disminuirá la eficiencia de la transmi- - sión de calor.

a).- Principales factores que afectan la co-  
rrosión por agua y vapor.

Los principales factores que afectan la co-  
rrosión por agua y vapor son:

1.- Características del agua.

El agua es un elemento que se encuentra en el medio ambiente y que normalmente está contaminada de substancias naturales o artificiales, lo cual la hace corrosiva, dentro de los más significativos y que controlan las características del agua son: concentración de oxígeno, concentración de dióxido de carbono, pH, porcentaje de sólidos totales.

El oxígeno es un despolarizador catódico que reacciona con el hidrógeno formando agua, permitiendo que el hierro pase a la solución y continúe el ataque, cuando hay poco oxígeno en el agua

la concentración de dióxido de carbono y el pH - son determinantes, en virtud de que, a valores - bajos de pH la corrosión aumenta ya que éste es - tá controlado por el dióxido de carbono. Además que la concentración de sólidos totales tiene - una influencia directa sobre la corrosión, ya - que aumenta la conductividad del agua, lo que la hace ser más corrosiva. En general, debido a la - corrosividad de las aguas pueden clasificarse en el siguiente orden:

Agua de mar	Más corrosiva
Agua salobre	
Agua de pozo	
Agua dulce	
Agua potable	
Agua deionizada	Menos corrosiva

## 2.- Efecto de la temperatura.

Al incrementar la temperatura en el agua -- presenta mayor rapidez en la velocidad de las - reacciones de corrosión, aumento en la conducti- vidad además de que se abate su viscosidad presen- tando mayor difusividad del oxígeno.

## 3.- Velocidad de flujo.

Al aumentar la velocidad de flujo se tiene - mayor cantidad de oxígeno en contacto con la su - perficie catódica y mayor cantidad de sólidos to - tales en contacto con la superficie anódica.

b).- Control de la acción corrosiva del agua y vapor.

La acción corrosiva del agua y vapor puede ser controlada mediante el uso de productos químicos, como inhibidores de corrosión, desaeración mecánica o química y selección adecuada de metales o aleaciones.

### 1.- Inhibidores de corrosión.

Un inhibidor es una sustancia que retarda o disminuye una reacción química. De este modo un inhibidor de corrosión cuando se agrega al medio ambiente disminuye la intensidad del ataque del mismo a un metal.

Los inhibidores de corrosión (de pasivación, catódicos, orgánicos), se agregan comunmente en pequeñas cantidades a ácidos, aguas de enfriamiento, vapor y otros medios ambientes. Ya sea agregándolos continuamente o en forma intermitente para prevenir una corrosión severa.

Algunos inhibidores retardan la corrosión -- por adsorción, para formar una película delgada, invisible, de solo unas cuantas moléculas de espesor. Otros forman un precipitado visible, el cual recubre el metal y lo protege del ataque.

Otro mecanismo común, consiste en que el metal se corroe de tal modo que una combinación de la adsorción y los productos de la corrosión forman una capa pasiva.

También se aceptan como inhibidores aquellas sustancias que cuando se agregan a un medio ambiente, retardan la corrosión pero no interactúan

directamente con la superficie del metal.

## 2.- Desaeración mecánica.

Los efectos corrosivos del agua pueden ser parcialmente controlados mediante la eliminación del oxígeno del agua por el método de desaeración. Esta puede ser mecánica, cuando la eliminación del oxígeno no se hace en forma completa las trazas remanentes de oxígeno pueden ser removidas del agua por medio de la desaeración química.

Para este método se necesita una inversión considerable y un alto costo de operación, lo que la hace impráctica desde el punto de vista económico en el empleo de este método para prevenir la corrosión en sistemas de agua de enfriamiento.

## 3.- Desaeración química.

El sulfito de sodio es comunmente usado para el tratamiento de alimentación de las calderas, como un desaerador químico que reacciona con el oxígeno disuelto; esta reacción se lleva a cabo rápidamente a temperaturas de 100°C o arriba de ellas. Sin embargo, a temperaturas bajas, la reacción entre el sulfito de sodio y el oxígeno disuelto en el agua es lenta.

La velocidad de reacción del sulfito de sodio catalizado es considerablemente más grande (40 veces), lo cual hace práctico su uso desde el punto de vista técnico, ya que reacciona con el agua dentro del sistema y no después de que el agua ha salido de él.

Debido a la gran cantidad de sulfito de sodio catalizado que se requiere para la eliminación del oxígeno, el empleo de la desaeración química se restringe por medidas económicas.

#### 4.- Selección adecuada de metales o aleaciones.

Los metales o aleaciones usados para agua o vapor a alta temperatura son generalmente aceros, aceros inoxidable, aleaciones base níquel. Los empleados en rangos intermedios son aleaciones de base cobre y las aleaciones de aluminio normalmente se emplean a bajas temperaturas.

#### IV.- RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Las modernas pinturas protectoras, mejor - - llamadas recubrimientos protectores provienen del desarrollo de la pintura, la cual tiene su origen con la historia de la humanidad encontrándose que fueron los artistas los primeros que reunieron - los materiales y desarrollaron los métodos para - preparar pinturas y barnices, lo que constituye - en sí un arte durante muchos siglos.

Con los albores del desarrollo industrial - que tuvo lugar en los siglos XVIII y XIX, comenzó a surgir la pintura como un producto comercial - siendo los ingredientes básicos los aceites y las resinas naturales; éstas pinturas tenían cierto - valor protector pero su eficacia estaba muy limitada.

Al llegar el siglo XX, el crecimiento industrial presentó fuertes demandas de pintura, como consecuencia los hombres de ciencia se dieron a la tarea de investigar el arte tradicional de la preparación de pinturas con el fin de mejorarlas; logrando durante los últimos cuarenta años revolucionar la fabricación de recubrimientos protectores. De tal modo que, en la actualidad se dispone de una gran variedad de recubrimientos protectores que resisten casi todas las sustancias químicas y los diferentes ambientes corrosivos.

Cabe hacer notar que estos recubrimientos se distinguen de las pinturas tradicionales, en virtud de que previenen la corrosión de las superficies por medio de inhibición o por aislamiento - del medio; en cambio el término pintura se refiere a un recubrimiento generalmente delgado con --

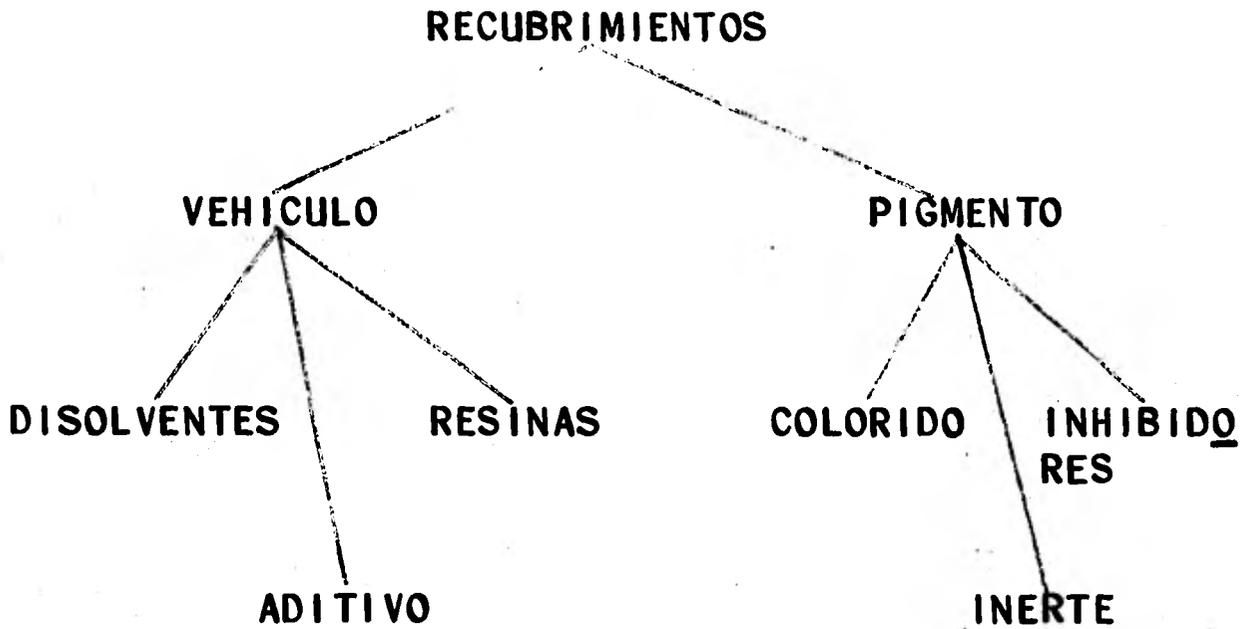
algunas propiedades de protección pero con propósitos principalmente estéticos, de aquí que se les denomine "recubrimientos protectores o anti-corrosivos" para diferenciarlos. Los recubrimientos protectores hacen posible, a menudo, el uso de estructuras de acero o de otros materiales en ambientes que de no ser por ellos su destrucción no sería económica, lo que significa un ahorro de millones de pesos anuales por concepto de pérdidas por corrosión.

#### 1.- Componentes básicos de los recubrimientos protectores.

Actualmente hay centenares de tipos de pinturas protectoras y muchas variedades de cada tipo; sin embargo, todas ellas tienen la propiedad en común de proteger tuberías, estructuras, barcos, equipos industriales, etc., contra la corrosión. Se aplican en estado líquido y forman películas sólidas y continuas después de aplicadas a las superficies que se desean proteger. Tiene diversos grados de viscosidad o fluidez y existen variados medios de convertir la pintura de una película húmeda en una completamente seca. Algunas pinturas son catalizadas o curadas, otras horneadas, algunas secan rápidamente y otras con lentitud. Sin embargo, todo recubrimiento tiene un ingrediente esencial capaz de formar una película continua el cual recibe comunmente el nombre de aglutinante o vehículo. Es generalmente de naturaleza resinsosa y tiene no solo la propiedad de formar una película, sino de retener también pequeñas partículas de substancias minerales o de pigmentos.

Un recubrimiento protector presenta dos com-

ponentes fundamentales: vehículo y pigmento, los cuales a su vez pueden estar constituidos por - - otros elementos básicos como se describe a continuación:



a).- Pigmentos.- Es un polvo insoluble, finamente dividido de origen orgánico o inorgánico -- que se agrega al vehículo para dar color, mejorar la resistencia química, las propiedades físicas - inhibir la corrosión y mejorar el poder cubriente. Como ejemplos de estos pigmentos se tienen:

Inhibidores: Amarillo de zinc, sulfato básico de plomo, cromato básico de zinc, minio, etc.

Coloreados: Azul de ftalocianina, rojo de - toluidina, naranja de molibdato, etc.

Inertes: Silicato de magnesio, mica, talco, barita, bentonita, etc.

b).- Resinas.- Es un polímero orgánico o inorgánico capaz de formar una película, las hay naturales o sintéticas; sus funciones principales son las de retener o fijar el pigmento, poseer una buena adherencia sobre la superficie metálica o capa anterior, en fin promover la formación de una barrera flexible impermeable y durable a los agentes corrosivos del medio ambiente, alcanzando sus mejores características durante el proceso de secado y curado, ya sea por evaporación del disolvente o bien por reacción con otra resina denominada comunmente catalizador, o por una combinación de ambos casos. Como ejemplos de resinas se tienen: vinílicas, epóxicas, hule clorado, alquílicas, etc.

c).- Aditivos.- Son compuestos organometáli-

cos o metálicos que se adicionan en pequeñas cantidades, teniendo gran influencia sobre la viscosidad y estabilidad del recubrimiento líquido; -- así como sobre el poder de nivelación y apariencia de la película ya aplicada. Ejemplos de estos aditivos son: manganeso, plomo, calcio, naftonatos, bentonitas, estereatos de aluminio, ácido oléico, etc. Además de los aditivos ya mencionados, existe una amplia gama de agentes específicos para la modificación de propiedades de un recubrimiento. Dentro de ellos se puede mencionar los plastificantes, fungicidas, absorbedores de rayos ultravioleta, etc.

d).- Disolventes.- Los disolventes son líquidos orgánicos que se usan para disolver las resinas y aditivos, además de que permiten tener un medio adecuado para la dispersión de los pigmentos. Los hay de tipo alifático y aromático, para su selección debe tomarse en cuenta propiedades tales como: velocidad de evaporación, poder de disolución, toxicidad, temperatura de ebullición, flamabilidad, costo, etc. En virtud de que cualquiera de estas propiedades afectan el comportamiento del recubrimiento en cuanto a su viscosidad, facilidad de aplicación y porosidad. Como ejemplos de disolventes se pueden citar: benceno, cellosolve, tolueno, metil isobutil cetona, alcohol isopropílico, heptano, gas nafta, etc.

Los componentes antes mencionados deberán mezclarse íntimamente en el orden adecuado a su formulación para obtener finalmente el recubrimiento protector terminado.

El buen comportamiento y eficiencia de -- una cubierta protectora contra la acción del medio corrosivo, además de su buena calidad depende de otros factores tales como: selección adecuada de un sistema de recubrimientos resistentes al medio corrosivo, limpieza o preparación de la superficie a proteger y un sistema de aplicación correcto.

## 2.- Clasificación de los recubrimientos.

Teniendo presente los componentes básicos de los recubrimientos protectores, puede verse -- que es posible clasificarlos de acuerdo con el tipo de resina o aglutinante en que se basen. Los pigmentos incluidos tienen naturalmente su importancia; sin embargo, la resina es el factor más importante y de esta depende la resistencia a los agentes químicos y a la corrosión del recubrimiento.

Los aglutinantes más usados en los revestimientos para controlar la corrosión también conocidos como resinas son los siguientes:

- a).- Hules clorados.
- b).- Alquílicos o alcídicos.
- c).- Epóxicos.
- d).- Vinílicos
- e).- Inorgánicos (silicatos)
- f).- Fenólicos.
- g).- Siliconados.
- h).- Bituminosos y asfálticos.

- i).- Poliuretanos
- j).- Vinil-acrílicos.
- k).- Antivegetativos.

Hay muchos otros aglutinantes, incluyendo - polifluoroetileno, cloruro de vinilideno, copolímeros de estireno y butadieno, neopreno, polietileno, furánicos y compuestos de combinaciones de estos; sin embargo, los que aparecen al principio son los más utilizados y la comparación de sus propiedades da una buena idea de los resultados - que pueden obtenerse de cada uno de los tipos de recubrimientos para controlar la corrosión.

Cabe citar que existe otra clasificación de revestimientos, la que tiene como criterio el mecanismo mediante el cual la película protectora - efectúa su secado o curado:

- a).- Lacas
- b).- Esmaltes
- c).- Catalizadas
- d).- Horneados.

a).- Hules clorados.

Los recubrimientos de este tipo tienen como base resinas que se obtienen por cloración del hule natural, se dispone de dos tipos principales: - una de ellas es una solución de resina de hule - clorado plastificado con aditivos clorados y la - otra es una mezcla de hule clorado con resinas al quílicas u otros plastificantes saponificables.

Los recubrimientos de hule clorado tienen -

tendencia a "calearse o enyesarse" especialmente en climas tropicales. Su durabilidad es buena, secan por evaporación del disolvente, su resistencia a los ácidos y álcalis es excelente. La resistencia a los aceites y grasas vegetales, derivados del petróleo, disolventes y alcoholes es regular; se disuelven en hidrocarburos aromáticos, ésteres y cetonas.

Naturalmente este tipo de cubiertas protectoras es práctico por su fácil aplicación con brocha, rodillo o atomizador. Como es de secado rápido, reduce el tiempo entre la aplicación de capas, que es importante en la economía de costos especialmente en paros por mantenimiento en plantas industriales.

#### b).- Alquílicos o alcídicos.

Los alquílicos son esencialmente poliésteres de ácidos polibásicos y alcoholes polihídricos. Fueron los primeros "esmaltes" sintéticos que durante los últimos cuarenta años o más han desplazado a las tradicionales pinturas de aceite en usos de conservación o mantenimiento industrial, debido a su buena retención de brillo y resistencia a medios ambientes secos o húmedos sin salinidad o gases corrosivos; presenta buena adherencia, poder de humectación y tolera cierto grado de impurezas en la superficie por lo que con frecuencia es suficiente con una limpieza manual. Seca por evaporación del disolvente e interacción con el aire.

Sus limitaciones están representadas por su-

baja resistencia a disolventes fuertes como aromáticos, éter, cetonas y compuestos clorados, aún cuando presente resistencia a los hidrocarburos o disolventes alifáticos como gasolinas, gas nafta, etc. No es recomendable para una inmersión continua: su resistencia química es regular y especialmente mala en condiciones alcalinas ante las cuales se saponifica y destruye. No resiste productos alcalinos de la corrosión por lo que una vez iniciada la corrosión interpelicular disminuye su adherencia. Por idénticos motivos no se recomienda la aplicación de un alquílico sobre concreto, galvanizado o inorgánico de zinc. No se recomienda para exposiciones superiores a 60°C .

### c).- Epóxicos.

Estas películas protectoras consisten de una resina epóxica, la que se obtiene de una reacción de condensación entre la epiclorhidrina y el bisfenol.A. La resina obtenida se hace reaccionar con ácidos de aceites vegetales para obtener una resina éster; la cual contiene grupos hidroxilo, epóxicos, uniones éter y son derivados de materias primas de la familia fenólica.

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

Los recubrimientos epóxicos, presentan una buena adherencia al sustrato, ya que, en la unión

epoxi (entre-ep, oxígeno-oxi) quedan un par de -- electrones que son susceptibles de combinarse con el metal que se desee recubrir y formar un enlace eléctrico.

En términos generales el nivel de dureza, - flexibilidad, resistencia a la temperatura (90°C) y a los medios corrosivos de los recubrimientos-- epóxicos es excelente. Puede aplicarse sobre superficies de concreto, metálicas, galvanizadas o inorgánicos; presenta una excepcional resistencia a medios alcalinos y buena resistencia a los medios ácidos; soporta salpicaduras, escurrimientos e inmersiones continuas de la mayoría de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, - etc.

Presenta un alto grado de impermeabilidad - permaneciendo inalterable ante la exposición e inmersión en agua dulce, salada y vapor de agua. Estas características no las adquiere por si solo, - requiere de un agente de polimerización o entre - cruzamiento denominado catalizador, el cual usualmente está constituido por una solución de resinas amínicas o poliamidicas.

Su principal limitación considera la formación de un caleo superficial sin menoscabo a sus propiedades de película, así como su alto costo relativo; además a largo plazo tiende a fragilizarse. A corto plazo alcanza a desarrollar una superficie lisa y muy continua, la cual puede presentar problemas de adherencia durante el repintado o mantenimiento requiriendo un mordentado.



vista las resinas vinílicas pueden dividirse en dos grupos: modificadas y no modificadas.

Estos revestimientos son muy durables, superan a las pinturas alquidálicas en conservación del brillo y también en duración. Tienen una excelente dureza y flexibilidad, son fuertemente inertes a los agentes químicos: prácticamente no son atacados a temperatura normal por ningún ácido o álcali fuerte. Son insolubles en alcoholes, grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos y se disuelven solamente en ciertos compuestos orgánicos como cetonas, ésteres e hidrocarburos clorados. Su resistencia al agua es notable en virtud de que poseen baja transmisión y absorción de humedad. Secan rápidamente, es preferible aplicarlos con pistola de aire para obtener una mayor uniformidad en la película.

Para aplicar los recubrimientos vinílicos, debe prepararse la superficie adecuadamente por medio de sopleteo con chorro de arena; si no es posible utilizar este método, puede usarse algunos de los sistemas con otros primarios especiales. Estas resinas son también termoplásticas y se descomponen a elevadas temperaturas. Para ser servicio permanente la máxima temperatura sugerida es de 65°C.

e).- Inorgánicos (silicatos).

En los últimos cuarenta años se han desarrollado muchos recubrimientos inorgánicos con carga de zinc, obteniéndose buenas referencias de comportamiento en una amplia variedad de ambientes co -

rosivos, incluyendo el marino-industrial considerando como uno de los más drásticos. Su clasificación es la siguiente:

- 1.- Inorgánicos de zinc post-curados
- 2.- Inorgánicos de zinc autocurables (base acuosa).
- 3.- Inorgánicos de zinc autocurables (base-disolvente).

#### 1.- Inorgánicos de zinc post-curados.

Es una película cuyo curado o insolubilización se efectúa mediante una solución curadora -- ácida aplicada posteriormente. Es extremadamente duro y resistente a la abrasión, a los ambientes húmedo, marino con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad. El uso del recubrimiento es sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas con chorro de abrasivo a metal blanco; se puede emplear solo sin acabado pero no se puede utilizar para inmersión en soluciones acuosas sin complementarlo con protección catódica. También se pueden emplear como primario de un sistema, dependiendo de las condiciones ambientales.

La aplicación de este tipo de recubrimiento debe hacerse en lugares bien ventilados y por aspersión, no deberá usarse adelgazador y el equipo empleado deberá de contar con agitación. Debe aplicarse cuando en el ambiente se tenga un 60% de humedad relativa como máximo, siendo necesario conservar dicha humedad durante las primeras seis horas después de aplicado el recubrimiento.

## 2.- Inorgánicos de zinc autocurables (base acuosa).

Es un inorgánico cuyo curado o insolubilización se obtiene por sí mismo, sin requerir de ninguna solución que se aplique posteriormente. Como características se tienen que es extremadamente duro y resistente a la abrasión, excelente comportamiento de resistencia a la mayoría de los disolventes con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad, buena resistencia en ambientes húmedo y salino. La vida de este recubrimiento es menor que la del post-curado, sin embargo, se recomienda para instalaciones que se encuentren expuestas a un alto porcentaje de humedad.

Este recubrimiento se aplica sobre superficies metálicas de hierro o acero, previamente limpiadas con chorro de abrasivo a metal blanco. Se puede usar como primario de un sistema dependiendo de las condiciones ambientales, si se emplea solo no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas sin complementarlo con protección catódica. La aplicación de estos recubrimientos debe hacerse en lugares bien ventilados y por aspersión, no debe usarse adelgazador, además que el equipo empleado deberá contar con agitación. Su aplicación debe efectuarse en un ambiente que tenga 60-80% de humedad relativa conservando ésta durante las primeras seis horas después de aplicado.

## 3.- Inorgánico de zinc autocurante (base disolvente).

Es un recubrimiento cuyas propiedades autocu

rantes se encuentran incluídas en sus componen --  
tes y no requieren de ninguna solución curadora.-  
Son revestimientos extremadamente duros y resis -  
tentes a la abrasión, excelente resistencia a la  
mayoría de los disolventes, excepto los hidrocar -  
buros clorados en presencia de humedad, a los am -  
bientes húmedos y salino. Se tiene conocimiento  
de que la vida de este recubrimiento es menor que  
la del post-curado, se recomienda para instalacio  
nes expuestas a un alto porcentaje de humedad, -  
salpicaduras y brisa marina.

Al aplicarse seca arriba de 0°C y entre 80 y  
99% de humedad relativa. A temperaturas modera -  
das es insoluble en agua a los veinte minutos de  
aplicado. Puede aplicarse sobre superficies metá  
licas de hierro o acero previamente limpiadas con  
chorro de abrasivo a metal blanco. Si se emplea  
solo no se recomienda para inmersión en solucio -  
nes acuosas sin complementarlo con protección ca -  
tódica. Para evitar la gelación al momento de -  
efectuar la mezcla, debe evitarse que los compo -  
nentes se encuentran expuestos al sol o a cual -  
quier otra fuente de calor.

La aplicación de estos productos debe llevar  
se a cabo en lugares bien ventilados y por asper  
sión. La mezcla de polvo y vehículo deberá man -  
tenerse en constante agitación durante la aplica  
ción. Este recubrimiento contiene substancias in  
flamables, por lo que debe evitarse aplicarlos -  
cerca de flamas o chispas. Una vez curado el re -  
cubrimiento no requiere de lavado.

Deberá aplicarse cuando en el ambiente se --

tenga de 60 a 95% de humedad relativa, conservando ésta durante las primeras seis horas después de aplicado. Se recomienda usar xileno como adelgazador para aplicación por aspersion siempre y cuando la temperatura ambiente sea inferior a  $20^{\circ}\text{C}$ ; para temperaturas mayores de  $20^{\circ}\text{C}$  se deberá emplear un adelgazador tipo cellosolve. En los casos debe usarse una mezcla de 50% de cellosolve y 50% de alcohol etílico desnaturalizado en volumen.

En resumen las propiedades más importantes de los recubrimientos inorgánicos de zinc son:

Proveen una protección catódica efectiva. La matriz inorgánica es conductora y permite que el zinc actúe en forma controlada protegiendo cualquier ruptura que pueda ocurrir con el recubrimiento. La película es conductora y anódica, protege imperfecciones pequeñas en el recubrimiento de la formación de herrumbre. Eventualmente estas imperfecciones o raspaduras se sellan por la formación de iones zinc y los productos de zinc (carbonato de zinc), como resultantes de la reacción.

El recubrimiento no es afectado por el intemperismo, luz solar, lluvia, condensación, luz ultravioleta, cambios amplios de temperaturas, bacterias y hongos. Como no se calea o se disipa por sí mismo como sucede con los recubrimientos orgánicos, la película del inorgánico permanece intacto y con el mismo espesor durante muchos años a la intemperie.

El atador inorgánico reacciona químicamente-

con el acero en la misma forma como reacciona - con el polvo de zinc para formar un silicato insoluble de zinc. Esta reacción ocurre en la interfase mono-molecular del acero y el silicato formando una unión química permanente.

La fuerte adherencia a superficies de acero y la característica de dureza de la película del recubrimiento inorgánico forman una base que ha probado tener excelente resistencia a la abrasión; por lo que pueden aplicarse como recubrimientos - en superficies que tienen fricción entre sí, como las secciones de acero estructural que se unen en la construcción de edificios, puentes, torres, -- etc.

El calor aún a temperaturas de 450°C tiene - poco efecto en los recubrimientos inorgánicos de zinc. Esta temperatura está por arriba del punto de fusión del zinc y sin embargo el recubrimiento permanece intacto dando mayor protección.

No son afectados por la mayoría de los disolventes orgánicos incluyendo los muy fuertes como acetonas, hidrocarburos clorados, aromáticos, etc. no son afectados por productos derivados del petróleo como gasolinas, diesel y aceites lubricantes.

No se encogen al secarse o al curarse como - sucede con los orgánicos. Humectan bien la superficie; por esta dos características, siguen completamente la configuración de las superficies - (asperas, rugosas o altamente corroídas) sobre - las cuales se aplican.

En virtud de las características anteriores,

tanto de resistencia química como física, los inorgánicos de zinc tienen una amplia aceptación para la protección de superficies metálicas en la industria marina, petroquímica, eléctrica y siderúrgica por su buen comportamiento a largo plazo y sus bajos costos anuales de mantenimiento.

f).- Fenólicos.

Los fenólicos se obtienen por condensación de fenol y formaldehído, son materiales que cuando se copolimerizan con estireno dan como resultado películas excelentes para la protección de envases que manejen productos alimenticios. Son duros, brillantes y muy adherentes; en términos generales su resistencia a disolventes, ácidos, álcalis y humedad es moderada. Pueden secarse al aire pero el horneado acelera su curado.

Frecuentemente son empleados como revestimientos para tambores afectados al transporte de productos químicos corrosivos. Su resistencia a la temperatura es del orden de 60-70°C.

g).- Siliconados.

Los recubrimientos de silicón son de gran interés por su aplicación en áreas donde se requiere resistencia a temperaturas de 500 a 550°C.

Las propiedades de estos recubrimientos formados con resina de silicón, dependen de dos factores principales: grado de polimerización cruzada (proporción de los monómeros usados en su síntesis) y tipo de radicales orgánicos empleados.

En cuanto al primer punto, un porcentaje alto de monómero trifuncional o tetrafuncional producirá una resina dura y poco flexible; mientras que, si el porcentaje de monómero difuncional es alto se obtendrán principalmente polímeros lineales, dando una resina poco dura, pero muy flexible y elástica.

Respecto al segundo punto, se ha encontrado que los radicales saturados más resistentes al calor son: el metilo y el fenilo, por lo que, las resinas producidas con estos radicales ofrecen las mejores propiedades de resistencia al calor.

Como ya se mencionó, la propiedad más importante de los recubrimientos de silicón es su resistencia al calor; esta propiedad resulta evidente si se compara la estructura básica de los silicónes y la estructura del cuarzo, el tipo de unión silicio-oxígeno ( $\text{Si-O}$ ) de las cadenas siloxánicas no es susceptible a oxidación ni a reacomodo intermolecular de ahí su resistencia térmica.

Por otra parte, los radicales que forman el grupo orgánico del silicón, resisten temperaturas considerablemente superiores a las que normalmente soportarían si formaran parte de compuestos totalmente orgánicos.

La razón generalmente aceptada para explicar esta propiedad, consiste en suponer que el carácter iónico de la unión silicio-oxígeno ( $\text{Si-O}$ ) actúa como un potente dipolo interno que reduce el campo de actividad química de los radicales orgánicos y por consiguiente inhibe su oxidación.

Confirmado lo anterior, se observa que a mayor longitud de la cadena del radical introducido al silicio; la resistencia al calor del compuesto vaya decreciendo ya que, la acción inhibidora del dipolo interno será menos efectiva cuando más distante se requiera su acción. Por lo tanto el radical alifático más resistente al calor será el más corto, es decir el metilo. Ahora bien, los radicales fenílicos son también muy resistentes a la temperatura, debido por una parte a la acción protectora de los dipolos siloxánicos antesmencionados y por los compuestos aromáticos debido a su estructura cíclica, son más resistentes a la oxidación que los compuestos alifáticos.

Los recubrimientos de silicón tienen una buena resistencia a los ácidos y álcalis concentrados y diluídos con excepción de los ácidos sulfúrico, nítrico y acético glacial. La resistencia a disolventes aromáticos y clorados es pobre, los disolventes alifáticos reblandecen las películas de silicón sin llegar a disolverlas. Generalmente la dureza de éstas se recupera al evaporarse el disolvente.

La mayor área de aplicación de los recubrimientos de silicón, se localiza en la protección de equipo industrial metálico que trabaje normalmente a temperaturas elevadas como es el caso de chimeneas, cambiadores de calor, calderas, hornos, ductos de calentamiento, tubería para conducción de vapor, etc.

Otra aplicación de menos importancia la constitución los acabados de silicón para cerámica y vidrio aplicados a la industria eléctrica; son em

pleados en resistencias, tubos de televisión, focos, bulbos, etc.

h).- Bituminosos y asfálticos.

Los asfaltos tanto naturales como derivados del petróleo y los bitúmenes obtenidos por destilación del carbón, son empleados solos o en combinación con otros materiales (epóxicos) para formar recubrimientos especiales como es el caso del epóxico alquitrán de hulla, que se utiliza para la protección de tuberías y estructuras que van a estar enterradas o bien como impermeabilizantes líquidos que se usan para techos de concreto, tanques, superficies de madera, etc.

Tienen una magnífica resistencia a los ácidos, álcalis, alcoholes, agua dulce y salada (inmersión) y otros productos químicos, Son de fácil aplicación, presentan un acabado brillante con muy buena resistencia a la abrasión.

i).- Poliuretanos.

Técnicamente son poliésteres saturados que se combinan con poliisocianatos. Pueden ser formulados en sistemas de un solo envase (no es necesario el agregado de catalizador para curado antes de su empleo) y de dos envases (es necesario agregar catalizador para curado antes de su empleo.)

Tienen en general propiedades de resistencia excelentes a los productos químicos, aceites vegetales y minerales, ácidos, álcalis, soporta salpicaduras, inmersiones continuas de la mayoría de -

hidrocarburos alifáticos o aromáticos, alcoholes, a los agentes atmosféricos y a la abrasión. No se recomienda para exposiciones superiores a los 93°C.

**j).- Vinil-acrílicos.**

Es un recubrimiento que combina la alta resistencia química y a la abrasión de los vinílicos con la excepcional resistencia al intemperismo y rayos del sol de las resinas acrílicas; su poder de retención de brillo y color es superior a cualquiera de los recubrimientos desarrollados a la fecha, por lo que, además de ser resistente a medios salinos, ácidos y alcalinos dando lugar a una alta eficiencia de protección contra la corrosión presenta características decorativas.

La presencia de la resina acrílica disminuye la resistencia a los disolventes de tipo aromático, cetonas, ésteres y alifáticos por lo que no se recomienda para inmersión continua.

**k).- Antivegetativos.**

Estos recubrimientos llamados antivegetativos han sido desarrollados con el fin de prevenir el crecimiento de organismos marinos como la conchuela, el teredo, los gusanos y algas marinas en el fondo de barcos, buques, tanques, etc., durante sus períodos normales de navegación. Por este motivo, la formulación de los antivegetativos deberá estar cuidadosamente balanceada, en donde se utilice cobre metálico o tóxicos organometálicos dispersados en un vehículo (resinas vinílicas a -

fin de que el tóxico abandone la superficie en cantidad suficiente para inhibir el desarrollo de los citados organismos.

Debe tomarse en cuenta que la película anti-vegetativa no puede ser usada con seguridad directamente sobre las superficies de acero o de aluminio a causa de la relación galvánica desfavorable entre estos metales y el tóxico empleado; por lo que se requerirá una intercapa no conductora entre el metal y el recubrimiento antivegetarivo. En caso de ignorar ésta situación puede resultar una rápida picadura sobre la superficie que se de sea proteger.

Respecto a la otra clasificación de los recubrimientos basada a partir del procedimiento que requieren los mismos para alcanzar sus propiedades o características de operación y comportamiento la cual se establece en la siguiente forma:

- a).- Lacas
- b).- Esmaltes
- c).- Horneado
- d).- Catalizados.

a).- Lacas.

Las lacas son productos basados en poliésteres de alto peso molecular, los cuales efectúan su secado mediante evaporación de disolventes, como ejemplos: polímeros de cloruro de polivinilo, hules clorados, acrílicos etc.

b).- Esmaltes.

Los esmaltes son productos basados en resi -

nas de bajo peso molecular que efectúan su secado mediante "auto-oxidación" del polímero, actuando como catalizadores jabones metálicos (octoatos de cobalto, naftenatos de cobalto, manganeso, etc.) Algunos ejemplos de esmaltes son: oleoresinosos, alquidálicos, éster-epoxi, etc.

c).- Horneados.

Son recubrimientos que están basados en resinas que al estar sujetas a temperaturas del orden de 170°C a 200°C interaccionan las cadenas lineales del polímero hasta formar un entrecruzamiento de cadenas. Como ejemplos: fenólicos, silicones, melamina, etc.

d).- Catalizados.

Aunque el nombre químicamente esté mal empleado, este se le aplica a productos que efectúen su secado o curado mediante una reacción química, se manejan en dos componentes, los cuales deben ser mezclados en una relación de mezcla previamente establecida, como ejemplo se tiene: epóxicos, alquitrán de hulla, poliuretanos, epoxi-fenólicos, etc.

En resumen los recubrimientos mencionados anteriormente constituyen la línea básica que existe en el mercado para la protección de todo tipo de instalaciones, no obstante, a la fecha se están llevando a cabo estudios de campo y laboratorio que permitan la inclusión de otros recubrimientos.

Para efectos de protección anticorrosiva y debido a la permeabilidad natural de los recubri-

mientos, estos deberán aplicarse a un espesor - - tal que la película seca nunca sea inferior a - - 125 micras. En principio podría pensarse en cubrir este espesor con una sola formulación de - - un recubrimiento que incluyese la resina adecuada y un porcentaje determinado de pigmentos inhibidores, no obstante, la eficiencia en la protección contra la corrosión no depende exclusivamente de la resina y del pigmento sino también del espesor. Esta serie de factores incluyendo como parte muy importante aspectos de tipo económico han dado lugar a la utilización de diferentes formulaciones para cubrir el espesor antes mencionado. Dependiendo de su posición estas formulaciones se denominan primario, enlace y acabado; al conjunto se le conoce como Sistema; las características más relevantes de cada una de ellas se mencionan a continuación.

**Primario.-** Son recubrimientos cuya formulación está encaminada fundamentalmente hacia la obtención de una buena adherencia con el substrato metálico, así como la de inhibir la corrosión, -- por lo que normalmente los contenidos de pigmentos inhibidores son elevados (PVC inferior a 35%) Otros requisitos adicionales en un primario considerarán el presentar una superficie lo suficiente -- mente áspera y compatible para las siguientes capas de enlace o acabado logren una buena adherencia, además, deben ser resistentes a productos de la corrosión y poseer buena humectación.

Los primarios a partir de casi todas las resinas pueden ser elaborados.

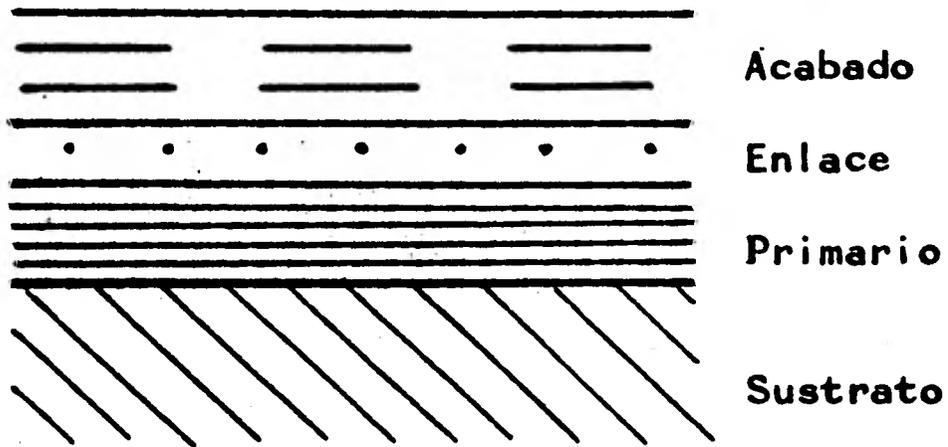
**Enlace.-** Para ciertos casos particulares no

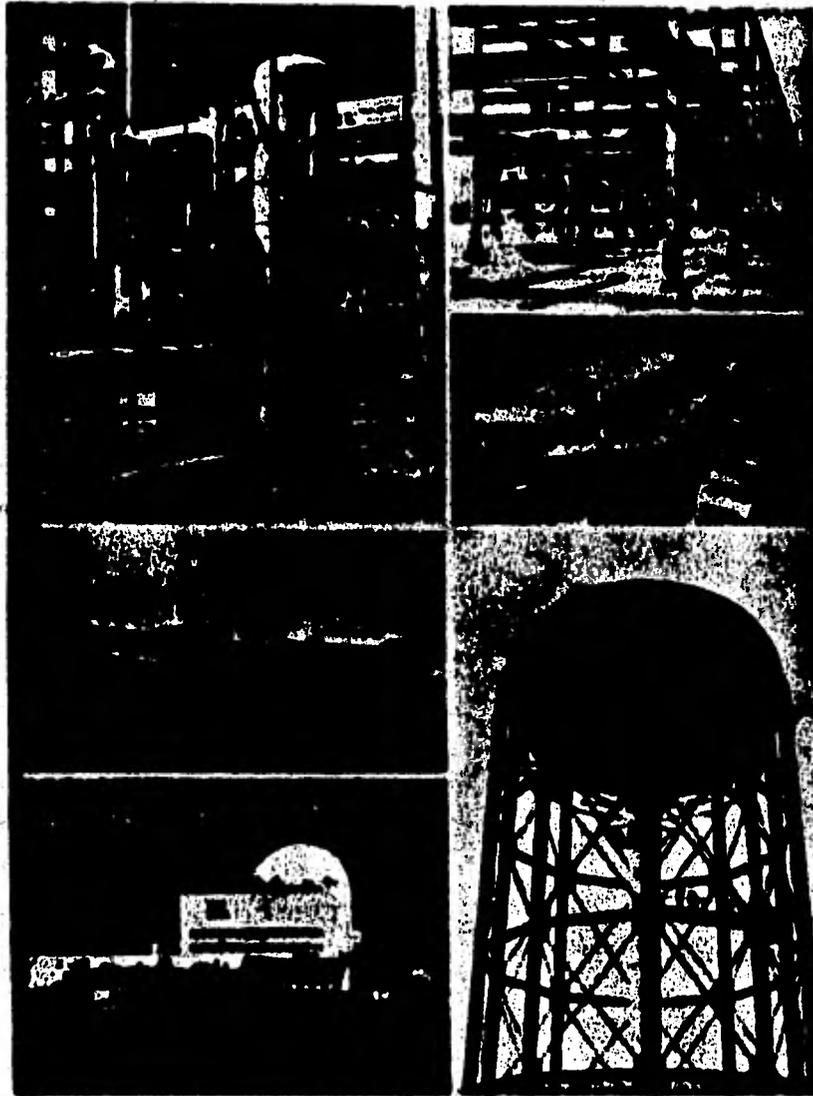
es posible tener el mismo tipo de resina en el -- primario y en el acabado, presentándose problemas de incompatibilidad o de adherencia, por lo que -- se requiere de una capa intermedia denominada enlace capaz de adherirse tanto al primario como al acabado. Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas, parte de las cuales promueve la adherencia con el primario y el resto con el -- acabado. Generalmente los pigmentos inhibidores -- están ausentes.

Acabado.- Los acabados representan la capa -- exterior en contacto con el medio ambiente y se -- formulan para promover la impermeabilidad del sigtema, por lo que normalmente su contenido de pigmento en volumen (PVC) es inferior al 25%. En este tipo de recubrimientos es frecuente el uso de -- detonadores y el contenido de pigmentos inhibidores es inferior al de un primario. Su grado de -- molienda es tal que su superficie ofrece un aspecto terso y/o brillante. En la elección del tipo -- de acabado, es de capital importancia para la -- adherencia su compatibilidad con el tipo de primario utilizado; en términos generales el uso del -- mismo tipo de resina en estos dos componentes del sistema asegura una buena adherencia, aún cuando -- hay casos como los epóxicos capaces de lograr una adherencia si no excelente cuando menos aceptable sobre otro tipo de recubrimientos.

Con fines de identificación y control de espesores, es conveniente que el primario, enlace -- y acabado en un sistema sean de diferentes colores -- como se mencionó, la suma total de los espesores de estos componentes debe ser superior a las --

125 micras (5 mils.) a fin de que sea efectivo en su protección contra la corrosión. En la siguiente figura se muestra un sistema anticorrosivo completo.





## **SISTEMAS PARA PROTECCION DE SUPERFICIES**

*Recubrimientos protectores eficaces,  
probados a través del tiempo  
para controlar la corrosión y  
la contaminación de productos,  
a la vez que reducen  
los costos de mantenimiento.*

**Recubrimientos protectores para la industria petroquímica**



**Planta de almacenamiento y distribución.**



**Planta catalítica, en construcción.**

**Protección anticorrosiva de diversas instalaciones petroquímicas.**



### 3.- Preparación de superficies

La vida de los recubrimientos depende, principalmente de la preparación de la superficie inmediatamente anterior a la aplicación del recubrimiento anticorrosivo. Por esto, la limpieza debe ser del grado indicado según el servicio de que se trate. A continuación se describen los métodos de preparación de superficie recomendados.

#### a).- Limpieza por sopleteado (chorro de arena, "Sandblasting").

La limpieza por sopleteado es el mejor método para limpiar superficies de acero, es muy eficaz para eliminar por medio del impacto de partículas abrasivas (arena silicea, arena de río, grana, munición de acero, etc.) óxido, escamas de laminación, escorias, restos de pintura deteriorada junto con pequeñas cantidades del mismo metal. No deberá sopletearse cuando las condiciones del medio ambiente sean tales que la superficie pueda humedecerse u oxidarse después de la limpieza y antes de la aplicación del recubrimiento. La rugosidad o máxima profundidad del perfil que se obtenga en la superficie limpia y que servirá como anclaje al recubrimiento, debe estar comprendida entre 25 y 63 micras (1 a 2.5 mils.) de acuerdo con el espesor de la película del primario, el cual deberá ser mayor que la profundidad del perfil o anclaje.

Después de la aplicación del chorro de arena se deberá eliminar el polvo residual con cepillos de cerda limpios o sopleteando con aire seco y -

limpios. La superficie limpia debe recubrirse antes de 4 horas, dependiendo de la agresividad del ambiente, o antes de que se forme cualquier oxidación visible. Si por algún motivo se excede del tiempo fijado, dependiendo de las condiciones ambientales, o se forma algún óxido, se repetirá la preparación de la superficie. La superficie ya preparada con chorro de arena debe tener uno de los aspectos que se mencionan a continuación, de acuerdo con el grado de limpieza que se requiera.

**Metal blanco.-** La superficie debe quedar de color gris blanco metálico, uniforme y ligeramente rugosa; libre de todo aceite, grasa, polvo, pintura u oxidación visible, así como de sustancias extrañas.

**Metal casi blanco.-** La superficie deberá quedar libre de aceite, grasa, polvo, pintura y productos de corrosión, excepto de ligeras sombras, vetas o decoloraciones causadas por el óxido fuertemente penetrado.

**Comercial.-** La superficie debe quedar de color gris oscuro aunque no sea uniforme, pero no debe mostrar aceite, grasa, polvo o decoloraciones causadas por el óxido fuertemente penetrado.

**Ráfaga.-** Se eliminan todas las impurezas sueltas de la superficie pero no las escamas de laminación ni el óxido firmemente adheridos.

La aceptación de la superficie preparada con chorro de arena deberá tener el mismo aspecto que un área de 2 m<sup>2</sup> seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones generales

mencionadas en el grado de limpieza de que se -- trate.

El equipo de sopleteado (figura IV-1) incluye el abrasivo, aire comprimido, compresor, mangueras, boquillas y depósitos. El abrasivo se - carga en el depósito, dicho depósito es un tan - que cerrado de 200 a 400 litros de capacidad y - se alimenta aire a alta presión en una cámara - mezcladora que se encuentra al fondo; el aire toma una cantidad determinada de abrasivo y lo - - arrastra a gran velocidad mediante una manguera - unida a la boquilla sopleteadora, la cual dirige la corriente de aire cargado de abrasivo sobre - la superficie a limpiar.

b).- Limpieza por medios químicos.

Este es un método de preparación de superficie por inmersión o aplicación a los objetos por - recubrir de soluciones ácidas o alcalinas que - - eliminan completamente el aceite, grasa, el óxido, incrustaciones y sustancias extrañas, por lo que constituye un proceso completo. Los ácidos más - comúnmente usados son el sulfúrico, clorhídrico, - fosfórico, nítrico, fluorhídrico y mezclas de éstos.

Se eliminarán las capas excesivas de grasa, - aceite o contaminantes con espátula, cepillos o - con disolventes dependiendo de la cantidad por remover. El material se sumergirá en la solución - - ácida previamente preparada con inhibidor, o di - cha solución se aplicará por brocha o aspersion - a la superficie metálica el tiempo suficiente pa - ra su acción química. La solución e inhibidores-

deberán prepararse y aplicarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

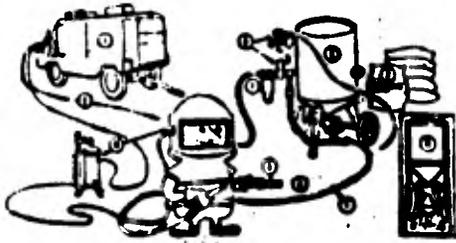
Después de la aplicación la superficie debe lavarse con agua, preferentemente calentada a  $60^{\circ}\text{C}$  para eliminar todos los residuos de la solución y efectuar una prueba con papel indicador de pH para cerciorarse que la superficie húmeda tenga el mismo valor de pH que el del agua empleada en el lavado. Posteriormente, se deberá enjuagar con agua caliente y secar.

El acero libre de escamas y de orín, tiende a oxidarse rápidamente; con el fin de evitar esto con frecuencia se incluye en este procedimiento un baño de ácido fosfórico, a fin de que reaccione con el acero y forme una película de fosfato de hierro, este producto actúa como un inhibidor de la oxidación y constituye una buena base para el recubrimiento.

Este método ha dado resultados satisfactorios, sin embargo, no es del todo seguro debido a que las soluciones ácidas pueden contaminarse al no tener cuidado, la contaminación se acumulará en la superficie de los líquidos depositándose sobre el acero al sacarlo del baño.

Por lo tanto, si la adherencia del recubrimiento debe ser rigurosa y la exposición muy severa (inmersión continua), la limpieza química no es recomendable para la preparación de superficies, en tales casos mejor se recomienda el sopleado con abrasivos.

Figura IV-1.- Equipo de limpieza por abrasivos.



Equipo típico para tratamiento con abrasivos mediante aire comprimido.

Diagrama de arenado a presión de aire mostrando todos los equipos y líneas. 1.- Un suministro de aire adecuado y eficiente (compresor). 2.- Manguera de aire, uniones y válvulas de tamaño correcto. 3.- Una máquina portátil de arenado de alta producción. 4.- El tamaño correcto de la manguera de

presión auténtica con acoplamiento externo rápido. 5.- Una boquilla venturi de alto rendimiento. 6.- Válvulas neumáticas de control remoto para seguridad y control de los costos. 7.- Un separador efectivo de humedad. 8.- Boquilla de aire de alta presión. 9.- Abrasivo correcto. 10.- Casco alimentado por aire y purificador de aire. 11.- Tolva de almacenamiento de abrasivo a granel sobre el recipiente de arenado a presión con válvulas de control remoto. Cuando la válvula de llenado se abre, el abrasivo de la tolva llena la máquina (Clementina, Ltd., S. Eco., California.)



c).- Limpieza por flama.

La limpieza por flama se realiza haciendo pa\_sar rápidamente una flama de soplete (oxígeno-ace\_tileno) sobre la superficie metálica. El calenta\_miento rápido de la superficie no recubierta ori\_gina la dilatación tanto del acero como del óxido, en virtud de que estos materiales poseen diferen\_tes coeficientes de dilatación tiende a separarse y como consecuencia las escamas de laminación y el óxido estallan y se desprenden. Para dar por ter\_minada la operación, es necesario restregar con - cepillo de alambre la superficie; los mejores re\_sultados se obtienen si se aplica el recubrimien-to cuando el metal está aún tibio.

Aunque la operación es la misma, el fundamen\_to de la limpieza de superficies recubiertas uti\_lizando la flama es diferente en este procedimien\_to; el recubrimiento se ablanda o se quema y se - desprende de la superficie. No ocurre el estalli\_do, sin embargo el residuo quemado resulta a menu\_do, sumamente gomoso haciendo la operación de ras\_pado difícil y tediosa.

La limpieza por flama presenta ciertos incon\_venientes como baja calidad de la superficie pre-parada, el calor intenso torcerá las superficies-metálicas, costos excesivos además de que se tien\_e el peligro de un incendio como consecuencia su uso queda limitado a casos en que los métodos pre\_viamente descritos no sean apropiados.

d).- Limpieza por herramientas de fuerza.

Las herramientas de fuerza pertenecen gene -

ralmente a las siguientes clases: cepillos rotatorios de acero, esmeriles y lijadoras, herramientas de impacto, etc.

De ellos los cepillos de alambre son los más usados ya sea impulsados por energía eléctrica o aire comprimido, dichas herramientas funcionan mediante un disco giratorio de cerdas duras de alambre aplicado a la superficie del metal, su acción desprende y desgasta algunas escamas pero es poco eficaz para escamas firmemente adheridas, hay tendencia a pulir la superficie del metal por lo que el recubrimiento no tiene la adherencia deseable.

Las lijadoras mecánicas son esencialmente - las mismas herramientas que los cepillos de alambre, solamente que éstas llevan discos lijadores o ruedas de esmeril los cuales dejan las superficies más ásperas que los cepillos de alambre. Para áreas pequeñas, como soldaduras o bordes afilados es recomendable el uso del esmeril, sin embargo su costo no permite su empleo en áreas extensas.

Pueden adaptarse cinceles o raspadores a herramientas para obtener un efecto de impacto que pueden utilizarse para desmenuzar escamas o costras gruesas de óxido. Este método empleado solo resultaría muy caro para preparar debidamente - grandes superficies; sin embargo puede utilizarse en combinación con lijado mecánico para limpiar superficies que no van a estar expuestas a condiciones severas.

e).- Preparación manual.

Como una regla general se emplea este proce-

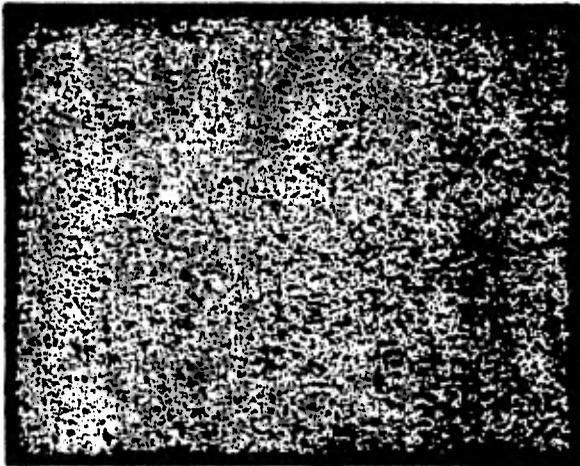
dimiento, cuando no se dispone de equipo mecánico o de sopleteo; cuando la superficie a proteger es inaccesible a estos sistemas; o bien, cuando el trabajo es tan poco que no conviene utilizar el equipo motorizado para llevarlo a cabo. Con este método se elimina óxido suelto, escama de laminación floja y pintura vieja.

Las herramientas manuales comunmente empleadas son: cuñas, lijas, cepillos de alambre, rasquetas, martillo, cincel, etc.

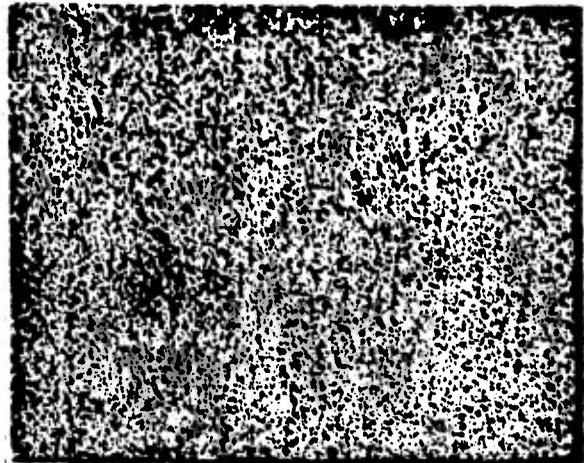
Las superficies metálicas que tienen que estar expuestas a inmersión constante no deben limpiarse con herramienta manual ni siquiera mecánica. Estos procedimientos quedan restringidos a casos en que los objetos recubiertos van a estar solamente expuestos a humos o derrames ocasionales. Se recomienda lavar las superficies con un disolvente apropiado, con el fin de eliminar grasas, aceites o cualquier otro contaminante antes de proceder a la limpieza con herramienta manual.

Como complemento a los procedimientos de limpieza descritos anteriormente, existe en los E. E. U. U. una publicación denominada "Steel Structures Painting Council" que a través de sus especificaciones (incluye fotografías estándares) reconoce nueve métodos de preparación de la superficie del acero para ser recubierto. De estos nueve, cuatro son procedimientos por sopleteo con abrasivo, los cuales solo son aceptados por la "National Association of Corrosión Engineers" de dicho país, cuya importancia es muy relevante en todo lo relacionado al estudio de la corrosión.

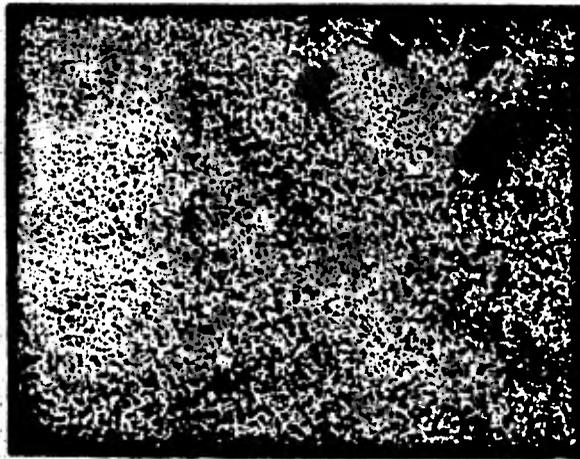
## Preparación de superficies por abrasivos:

C Sa 1  
Brush-Off

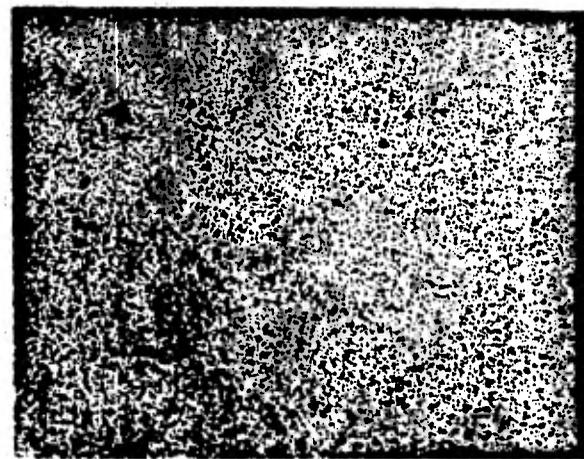
Ráfaga

C Sa 21  
Near-White

Cercano a metal blanco

C Sa 1  
Commercial

Comercial

C Sa 1  
White Metal

Metal blanco

Los patrones anteriores son fotografías tomadas de "Steel Structures Painting Manual".

Método de limpieza	Especificaciones	
	SSPC	NACE
Limpieza química	SP-1-63	-
Limpieza manual	SP-2-63	-
Limpieza por herramientas	SP-3-63	-
Limpieza por flama	SP-4-63	-
Limpieza por sopleteo:		
Metal blanco	SP-5-63	1
Metal casi blanco	SP-8-76	2
Comercial	SP-6-63	3
Ráfaga	SP-7-63	4

En resumen, se tiene que para la selección - apropiada del procedimiento de limpieza es necesario tomar en cuenta el estado, forma y dimensiones de la superficie; el tipo de recubrimiento, - así como la exposición o servicio que el sustrato vaya a prestar; determinando estos factores se -- realizará la evaluación económica:

#### 4.- Métodos de aplicación.

Existen tres métodos posibles para la aplicación de los recubrimientos:

- a).- Brocha o cepillo
- b).- Rodillo
- c).- Aspersión.
  - 1.- Convencional
  - 2.- Sin aire (Airless).

La selección del método de aplicación depende de cuatro factores de gran importancia:

- 1.- Tamaño y forma de la superficie.
- 2.- Localización de la superficie.

3.- Tipo de recubrimiento

4.- Tiempo en realizar la aplicación.

a).- Brocha o cepillo.

Este método se utiliza para cubrir áreas pequeñas o difíciles de cubrir con otros métodos. Las brochas se pueden obtener desde una pulgada de ancho hasta diez pulgadas. Pueden ser de cerda natural (camello, caballo, cerdo, etc.) o de cerda artificial (nylon, poliéster, etc.)

Cuando se tienen superficies uniformes se utiliza la brocha y cuando las superficies son rugosas se emplea el cepillo.

La gran ventaja que presenta este método, es una inversión inicial considerablemente baja, pero presenta grandes desventajas, entre ellas se pueden mencionar: no es posible controlar el espesor, presenta un mal acabado y es un método de aplicación muy lento.

b).- Rodillo.

Los rodillos tienen una longitud de 30 cm a 1 m y son generalmente de hule, poliuretano y felpa.

Este método es recomendable para superficies planas como pisos y paredes y a veces tanques de gran tamaño. Su aplicación es más uniforme que con brocha y un poco más rápida se tiene un mejor control del espesor de la película y un mejor acabado, además de un costo bajo.

### c).- Aspersión.

El método de aplicación de recubrimientos - por aspersión es uno de los más efectivos, ya que es rápido, permite una aplicación uniforme y un buen control del espesor de la película. Son dos los métodos de aplicación por aspersión: convencional y sin aire.

#### 1.- Convencional.

La aplicación del método convencional, requiere de una pistola, mangueras y conexiones adecuadas, además de un recipiente que contenga la pintura para su aspersión. Este método presenta dos tipos: por succión y a presión.

La aspersión por succión es recomendable - - utilizarla cuando haya necesidad de proteger áreas pequeñas y se requiera cambiar constantemente el color de los revestimientos.

El método de aspersión a presión permite una mayor velocidad de avance que el anterior, ya que es posible regular la presión del aire en el equipo, se recomienda para recubrir grandes superficies de tipo industrial, hay control de espesores y deja un acabado terso de la cubierta protectora.

#### 2.- Sin aire (Airless).

Este método de aspersión requiere de una pistola, una bomba de pistón, manguera, conexiones - y un recipiente que almacene el material. El - - equipo conectado a una fuente de energía (eléctrica o neumática) permitirá a la bomba incrementar-

la presión de salida a través del sistema de la pintura, pulverizando por diferencia de presión con la del medio: permite controlar los espesores y obtener un acabado terso, disminuye el número de capas, protege grandes áreas. Es un equipo especial de alto costo y requiere de un entrenamiento previo para su manejo así como de un mantenimiento efectivo de sus partes.

A fin de obtener resultados correctos con cualquiera de los sistemas de aplicación que se seleccione, es necesario que durante la etapa de preparación de los materiales deberán verificarse que la homogeneización y acondicionamiento de los recubrimientos se lleve a cabo en forma adecuada: en el caso de productos de dos componentes éstos deberán mezclarse en la proporción indicada en la especificación correspondiente. Así mismo para ajustar la viscosidad del producto al momento de la aplicación deberán utilizarse solamente los disolventes indicados y el material ya preparado deberá filtrarse para eliminar los grumos. Nunca deberá permitirse la aplicación cuando el medio ambiente presente temperaturas abajo de  $-10^{\circ}\text{C}$  o cuando estén presentes condensaciones por alta humedad relativa, lluvias o tolvaneras en virtud de que ocasiona problemas de adherencia, bajos espesores o secamiento de la película.

Además, se debe proveer una buena ventilación al operador (con circulación forzada de aire en espacios cerrados). Si la concentración de vapores es alta se usarán mascarillas con alimentación de aire y no permitir que la concentración por evaporación de los disolventes llegue a un grado explosivo.



## **EL CAMPO DE LA PINTURA DE CONSERVACION**

ahora, en general, la aplicación de pintura y capas protectoras a construcciones nuevas, lo mismo que a las antiguas. Requiere ordinariamente un equipo portátil de trabajo liviano o pesado, que comprende lo siguiente:

- a. Compresor de aire portátil.
- b. Manguera para conducir el aire del compresor al recipiente o tanque de material o a la bomba.
- c. Tanque de alimentación a presión, o bomba de material.
- d. Manguera para conducir el aire a la pistola pulverizadora.
- e. Manguera para conducir el material a la pistola.
- f. Pistola pulverizadora de alimentación a presión.
- g. Dispositivo para el gobierno del aire, como por ejemplo, una válvula reguladora unida a la pistola pulverizadora o bien, un regulador neumático adicional y manómetro instalados en el tanque.

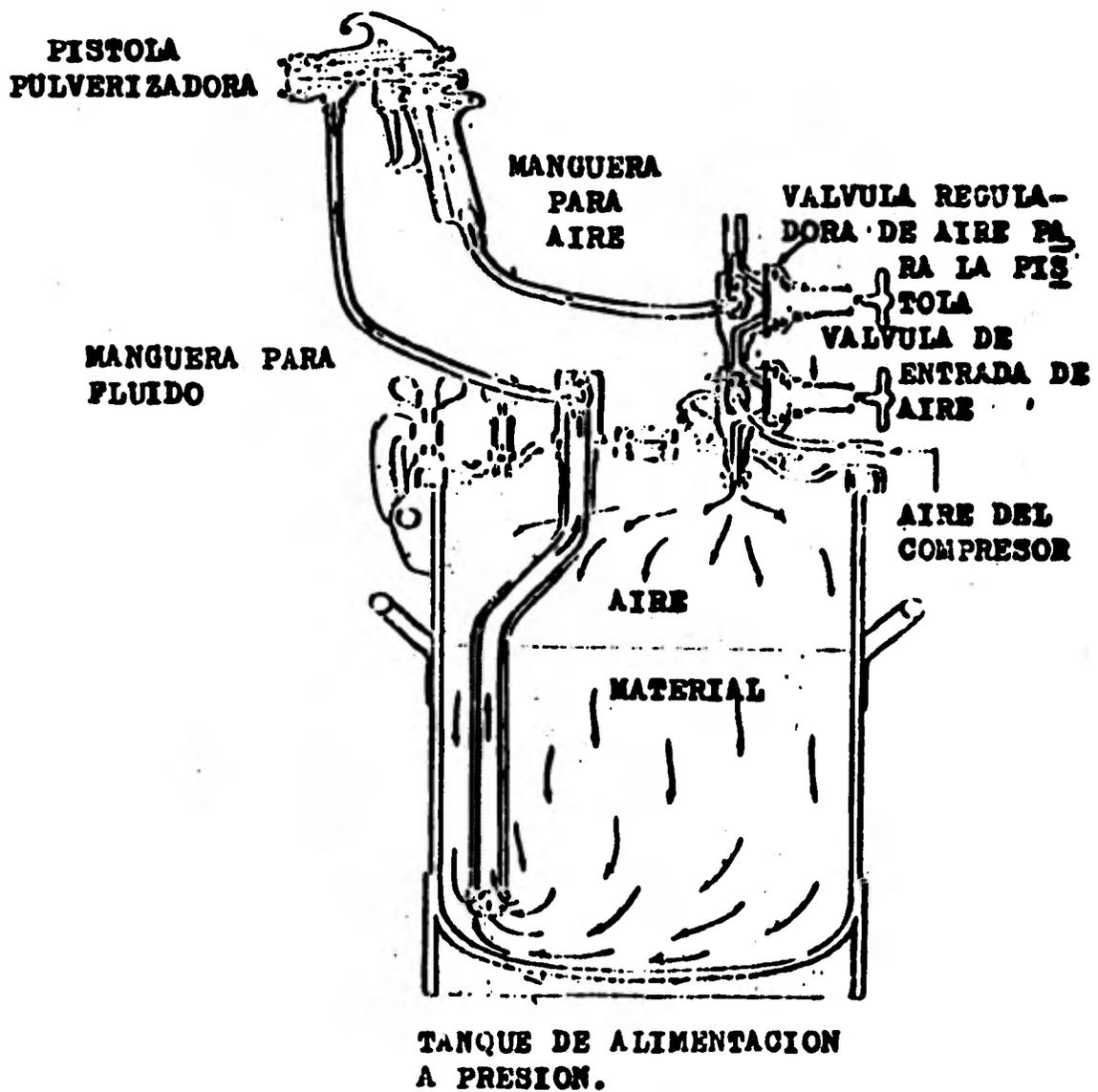
Como todo este equipo ha de trasladarse de un punto de trabajo a otro, el uso de una cámara de ventilación no resulta aquí práctica, con excepción de casos muy especiales en que podrá improvisarse algún sistema de ventilación o usarse un respirador.

Equipos de aplicación:

- a).- BROCHA
- b).- RODILLO
- c).- ASPERSION

1.- CONVENCIONAL

2.- SIN AIRE

**EQUIPO COMPLETO DE APLICACION CONVENCIONAL.-****EQUIPO DE ASPERSION CON DOBLE REGULACION**

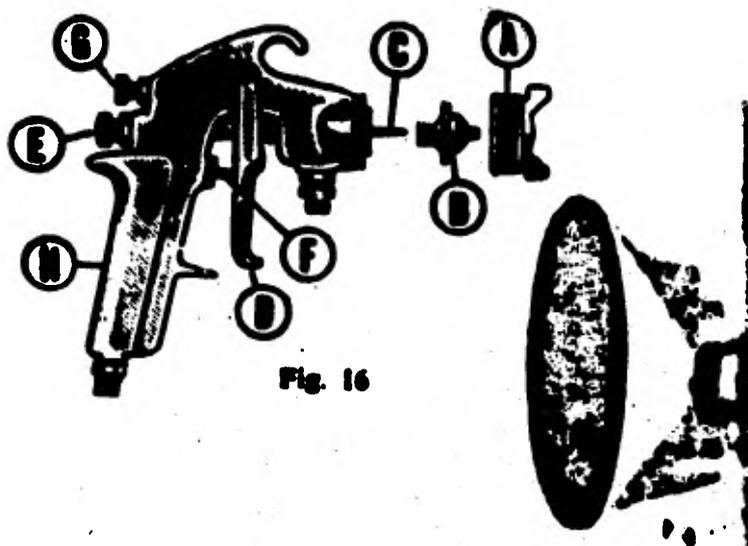


Fig. 16

### ASPERSION: CONVENCIONAL (EQUIPO)

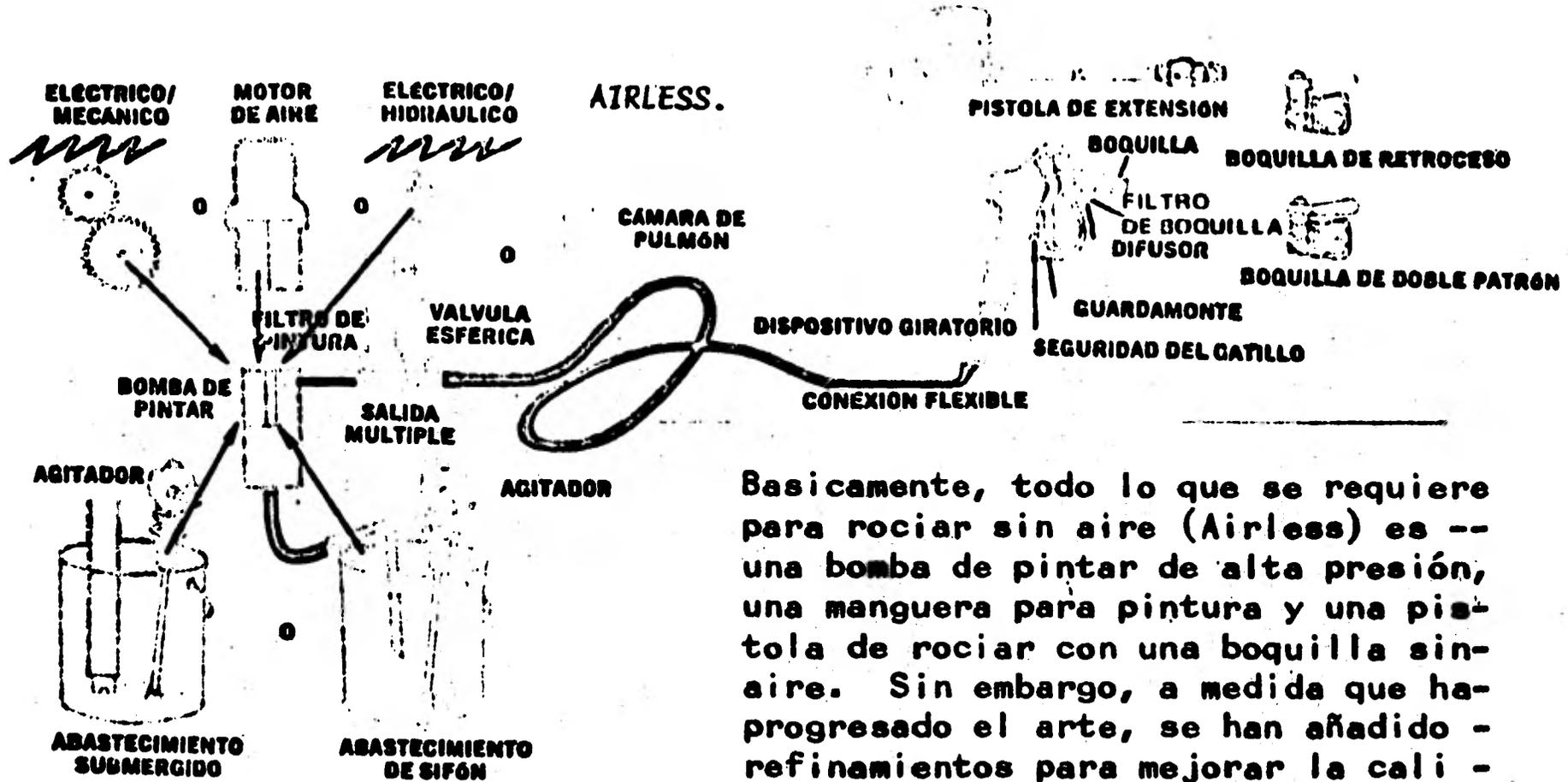
**PISTOLA PULVERIZADORA.**- Las piezas principales son: (A) BOQUILLA, (B) TOBERA, (C) AGUJA DE FLUIDO, (D) GATILLO, (E) REGULADOR DE FLUIDO, (F) VALVULA DE AIRE, (G) VALVULA ROCIADORA y (H) CUERPO DE PISTOLA.

Son receptáculos metálicos cerrados, de 2 a 120 galones, que proveen una corriente continua de material, a una presión uniforme, a la pistola pulverizadora. El fluido es obligado a salir del tanque por el aire comprimido aplicado al material. Para graduar la rapidez de la corriente, es necesario aumentar o reducir la presión neumática. Estos tanques pueden resistir hasta 110 libras de presión por pulgada cuadrada. Fundamentalmente constan de un casco (A), tapa (B) sujeta por abrazadera; tubo de fluido (C); cabezal de fluido (D), válvula de aire (E), válvulas de salida de fluido (F), válvula de admisión de aire (G) y válvula de desahogo de seguridad (H). Se ofrecen con salidas superiores o inferiores y varios accesorios.

Cuando se mantiene una producción continua, los tanques de alimentación a presión representan un método práctico y económico de alimentación de material a las pistolas pulverizadoras. La corriente de material es positiva y continua. Cuando estos tanques se equipan con agitador (I), el material se mezcla bien y se mantiene en suspensión con facilidad.



## TANQUES DE ALIMENTACION A PRESION



**AIRLESS.**

Basicamente, todo lo que se requiere para rociar sin aire (Airless) es -- una bomba de pintar de alta presión, una manguera para pintura y una pistola de rociar con una boquilla sin aire. Sin embargo, a medida que ha progresado el arte, se han añadido refinamientos para mejorar la calidad de aplicación y la comodidad del pintor.

**ASPERSION: SIN AIRE (Equipo Airless)**

## 5.- Equipo de inspección.

Para obtener la protección deseada contra la corrosión al aplicar un recubrimiento, es necesario controlar la preparación de la superficie y la aplicación del recubrimiento, de acuerdo como lo indiquen las especificaciones o literatura técnica del fabricante; para lo cual se cuenta -- con los siguientes equipos de inspección:

### a).- Patrones de anclaje y lupa.

En la preparación de las superficies mediante limpieza con abrasivos se usarán estándares de limpieza o anclaje de 0.5 a 4.5 milésimas de pulgada, que por comparación óptica con la superficie que se limpió, se determina la profundidad de anclaje que ha dejado el abrasivo en el metal. Así mismo se emplean para establecer que patrones se obtienen con los diferentes tipos de abrasivos que hay en el mercado para la limpieza de las superficies.

Los sistemas de cubiertas protectores establecen un espesor de película mínimo para proporcionar una buena protección anticorrosiva en un plazo esperado, por lo que es de vital importancia la medida de estos espesores contando para ello con:

### b).- Medidor de película húmeda.

Este instrumento sirve para medir el espesor del recubrimiento instantes después de ser aplicado. Un aparato adecuado para este propósito es --

el medidor de película húmeda de lectura directa similar al Nordson. El instrumento se coloca perpendicular a la superficie y el espesor del recubrimiento se lee directamente en milésimas de pulgada. Una vez que se determina el espesor húmedo se puede obtener teóricamente el espesor seco de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Espesor seco} = \frac{\% \text{ de sólidos} \times \text{espesor húmedo}}{100}$$

Si el calibrador se usa para determinar espesores de película húmeda de capas subsecuentes a la primera, debe tenerse cuidado de que las capas inferiores parcialmente endurecidas no sean penetradas bajo la presión del calibrador, dando lecturas más altas.

En caso de que el recubrimiento que está siendo medido, se haya suavizado con disolventes, el calibrador no puede emplearse con precisión.

#### c).- Medidores de película seca.

Los tipos de calibradores de espesores más usados para trabajo de campo o taller, son los de tipo magnético como: Inspector, el Mikrotest y el Elcómetro que operan sobre el principio de que un recubrimiento no magnético (aluminio, oro, cobre, platino, plata, zinc, pinturas, cerámica, plásticos, papel, etc.), cambia la reluctancia al paso del flujo magnético que haya sido establecido entre la cabeza del calibrador y la base magnética a la cual se ha aplicado el recubrimiento.

La fuerza de atracción de un imán permanente y un recubrimiento no magnético, está medida con un resorte. Este resorte es tensionado por medio de un disco graduado hasta que el imán se separa, el ángulo de distorsión es una medida del espesor del recubrimiento. El sistema de medición está colocado en el centro de gravedad y facilita el poder efectuar mediciones en cualquier posición.

Un sonido característico en el medidor (click) indica el momento en que la lectura debe tomarse. Es necesario efectuar un mínimo de tres lecturas por cada punto medio y sacar un promedio, los valores con diferencias considerables no deben ser tomados en cuenta para determinar el espesor de la película protectora. Estas lecturas deben tomarse sobre superficies limpias y libres de grasa evitando penetrar el recubrimiento ya que se obtendrían mediciones erróneas.

d).- Detector eléctrico de poros.

Se efectúa con un detector eléctrico no destructivo similar al Tinker and Razor modelo M-1, que aplica una tensión de 67.5 volts de corriente directa. El aparato dispone de dos electrodos, uno es un cable que se conecta a tierra o a alguna parte desnuda de la superficie metálica y el electrodo de inspección que es un bastón en cuyo extremo lleva una esponja que se satura en agua y se pasa por la superficie recubierta para localizar los poros. El electrolito de la esponja penetra en éstos y cierra el circuito, anunciándose por sonido la existencia de la falla. Esta se -

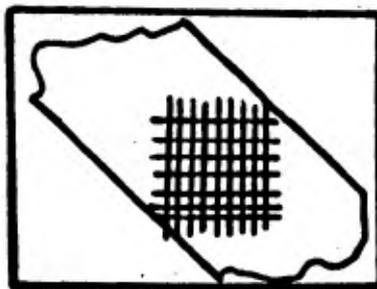
marca y se repara, detectándose nuevamente la reparación.

Este tipo de inspección se realiza sobre todo en tanques destinados a manejar productos alimenticios o agentes muy corrosivos, a tubería y superficies que se les vaya a aplicar la protección catódica.

Este aparato funciona solo para espesores menores de 20 milésimas de pulgada. Para espesores mayores es necesario tener una batería que proporcione un voltaje entre 1.200 y 20.000 volts.

e).- Peine de ranuras.

Es un instrumento que se utiliza para determinar si la adherencia del recubrimiento es buena, se utiliza este tipo de rastrillo o en su defecto, con una navaja se le hace un rayado al recubrimiento en la siguiente forma:



El siguiente paso es pegarle una cinta adhesiva a 45° respecto al rayado y retirarla. Si se desprende más del 20% nos indica que la adherencia no es buena.

**Equipo de inspección:**

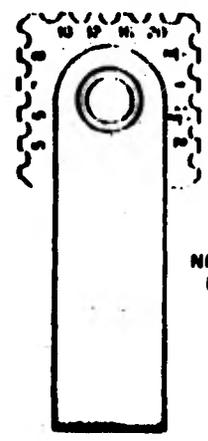
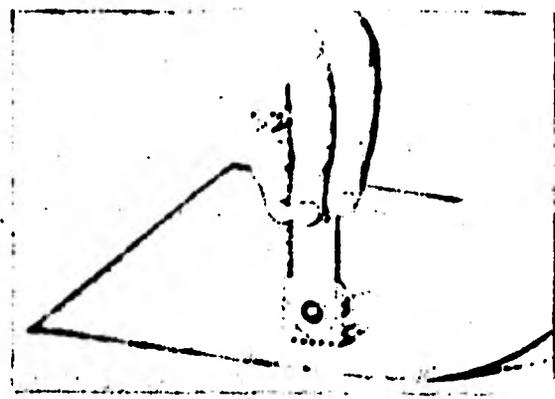
**a).- Patrones de anclaje y lupa.**



**b).- Medidor de película húmeda.**

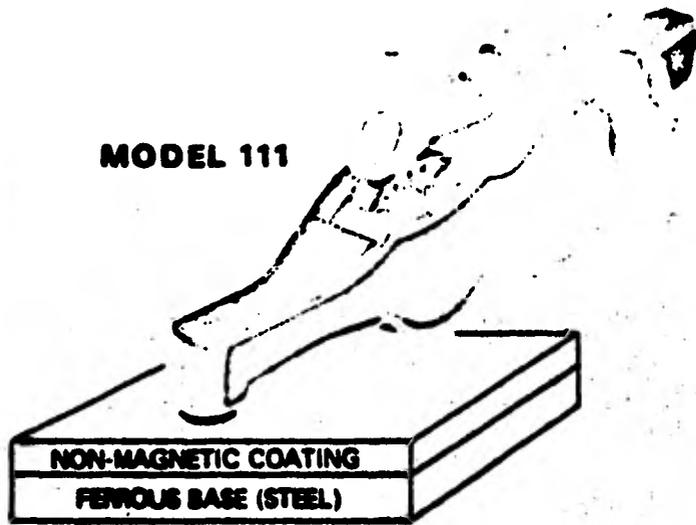


**NORDSON**



**NORDSON  
Fig. A**

c).- Medidores de película seca.

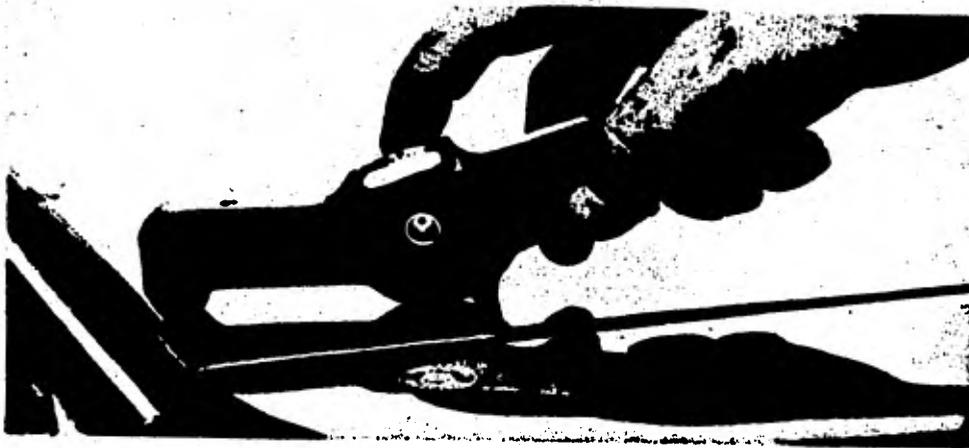


MODEL 111



ELCOMETRO

INSPECTOR



MICROTEST

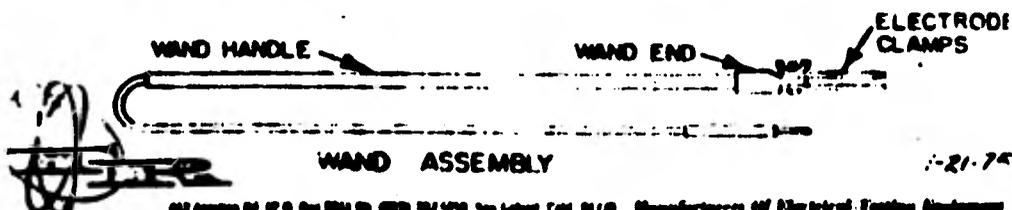
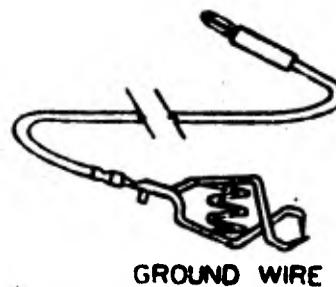
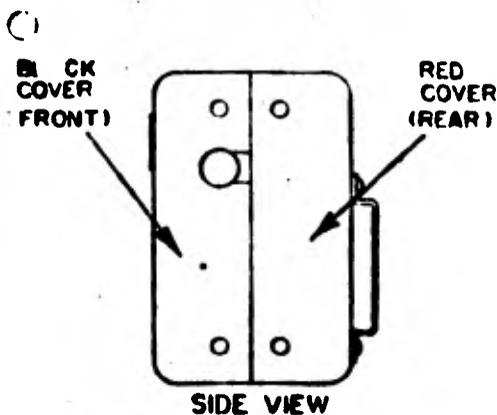
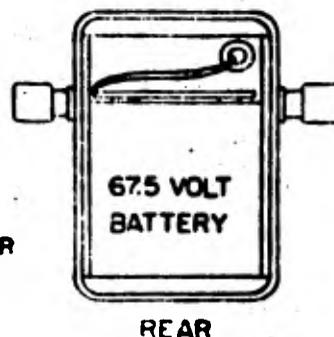
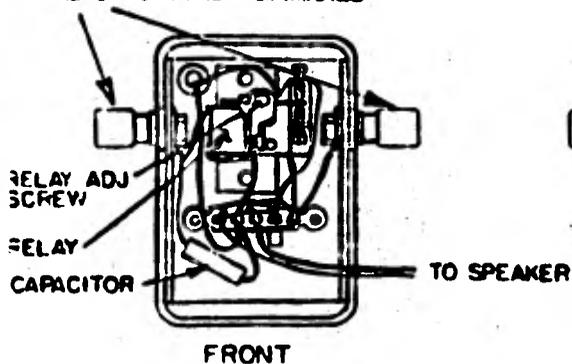
d).- Detector eléctrico de poros.



MODEL

**TINKER & HAZOR**  
**Holiday Detector for Thin Films**

WIND OR GROUND TERMINALS



## 6.- Fallas de los recubrimientos.

Cuando los recubrimientos han sido empleados para proteger las instalaciones contra los efectos de la corrosión y ésta protección no ha sido efectiva para un tiempo esperado, puede atribuirse a fallas originadas por selección inadecuada del recubrimiento, deficiente calidad del mismo, mala preparación de la superficie, incorrecta aplicación, condiciones atmosféricas inapropiadas durante la aplicación e inspección deficiente, o bien por la combinación de dos o más de estas causas.

A continuación se describen las fallas más comunes que se presentan en los recubrimientos, así como la manera de evitarlas.

### a).- agrietamiento.

Es el resultado de esfuerzos mecánicos que actúan sobre la película de los recubrimientos y su magnitud depende de la adhesión y flexibilidad de los mismos.

El agrietamiento se puede evitar exclusivamente por la formulación de los recubrimientos basada en ingredientes que presentan flexibilidad excelente.

### b).- Ampollamiento.

El Ampollamiento ocasionado por gases o líquidos en o bajo el recubrimiento, que ejercen una presión mayor que la adhesión o cohesión del recubrimiento en el área bajo esfuerzo. Este ti-

po de falla se presenta por lo general cuando - los recubrimientos están expuestos a ambientes - húmedos o contaminación entre capas, o bien - - cuando el recubrimiento seca con demasiada rapi- dez.

La formación de ampollas por líquidos, se - puede evitar con el uso de un recubrimiento pri- mario que posea buena adherencia y un acabado al- tamente impermeable.

Las ampollas causadas por vapores de disol- ventes, se evitan si el recubrimiento se formula para impedir un secado demasiado rápido y tam - - bién si se aplica en capas delgadas.

#### c).- Caleo.

Es la flotación de polvo sobre la superficie del recubrimiento, ocasionado por la destrucción del vehículo a consecuencia de la acción combina- da de los rayos solares y del oxígeno.

El caleo excesivo solo se puede evitar con - la formulación apropiada del recubrimiento, de- - biendo tenerse en cuenta la naturaleza química del vehículo y su resistencia a la intemperie, -- así como también la relación de vehículo a pigmen- to. Los recubrimientos con bajo contenido de ve- hículo se calean rápidamente.

#### d).- Corrosión bajo película.

Este tipo de falla ataca al metal debajo de la película y se presenta en dos formas: granular y filiforme. La primera se caracteriza por la -

presencia de áreas granuladas e irregulares; la segunda presenta aspecto de filamentos. Dicha falla se debe a defectos en la preparación de la superficie, falta de adherencia del recubrimiento o deficiente permeabilidad del mismo.

Esta falla se puede evitar con el uso de recubrimientos que posean alta resistencia al paso de agentes corrosivos y que además hayan sido aplicados en tal forma que no queden sobre la superficie metálica grietas o cavidades que no hayan sido impregnadas con el recubrimiento.

e).- corrugado.

Esta falla es característica de recubrimientos que han sido aplicados en capas gruesas que secan rápidamente por efecto de la temperatura o por un exceso de agentes secantes en la superficie. Para disminuir este efecto, los recubrimientos deben aplicarse bajo condiciones de secado para los cuales fueron formulados y en capas de un espesor adecuado para la aplicación.

f).- Discontinuidades de la película.

Cuando la corrosión se presenta en forma de puntos de oxidación más o menos extendidos; es debido a discontinuidades de la capa del recubrimiento originadas por mala aplicación con pistola de aire o falta de fluidez del material que no penetra en las irregularidades de la superficie del metal.

g).- Pérdida de adhesión.

La película del recubrimiento queda adherida a la superficie metálica por atracción molecular o bien por la unión mecánica entre ambos. Al no poseer dicha unión la película se desprende fácilmente.

Para evitar esta falla, se requiere emplear recubrimientos primarios a base de materiales que tengan buena adherencia sobre la superficie metálica y que ésta se encuentre debidamente preparada, para eliminar impurezas que impidan el contacto íntimo entre ambos. También puede ocurrir pérdida de adhesión entre las distintas capas del recubrimiento. Esta falla se presenta cuando: Hay contaminación entre capas, cuando se recubre una superficie por segunda ocasión o bien cuando hay incompatibilidad de recubrimientos.

Si se desea recubrir una superficie por segunda vez, se recomienda que el nuevo recubrimiento se aplique sobre el recubrimiento viejo después de que ésta haya sido reblandecido con algún disolvente o lijado con el fin de aumentar su rugosidad.

COMPARACIONES DE RESISTENCIA DE LOS RECUBRI-  
MIENTOS PROTECTORES.

	ALQUILICOS	VINIL-ACRILICOS
I TIPO DE CURADO	Por evaporación del disolvente y auto-- oxidación del polí- mero	Por evaporación del disolvente.
II EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	Mínimo (el brillo y retención de color- son excelentes)	Mínimo
III AMBIENTES HUMEDOS	No recomendable	Bueno
IV CONTAMINANTES ATMOSFERICOS:		
a) ACIDOS	Regular	Bueno
b) ALCALIS	Regular	Bueno
c) OXIDANTES	Regular	Bueno
d) DISOLVENTES	Regular	Bueno
V SALPICADURAS DE DERRAMES INDUSTRIALES:		
a) ACIDOS	No recomendable	Bueno
b) ALCALIS	No recomendable	Bueno
c) OXIDANTES	No recomendable	No recomendable
d) DISOLVENTES		
VI INMERSION EN AGUA	No recomendable	No recomendable
VII INTERIORES DE TANQUES	No recomendable	No recomendable

## ALQUILICOS

## VINIL-ACRILICOS

VIII  
PROPIEDADES  
FISICAS:

a) RESISTENCIA A LA ABRASION	Regular	Bueno
b) ESTABILIDAD AL CALOR	Mala	Regular
c) DUREZA	Regular	Bueno
d) BRILLO	Excelente	Brillante-semi brillante
e) COLORES	Amplia Gama	Amplia Gama.

IX  
APLICABLE  
PARA

Acero, aluminio,  
concreto y madera

Acero y concreto -  
(sobre primarios -  
inorgánicos o viní-  
licos).

X  
NOTAS ADICIO-  
NALES

Es un recubrimien-  
to empleado para-  
mantenimiento in-  
dustrial en áreas  
que no estén ex-  
puestas a atmósfe-  
ra o agentes alt-  
mente corrosivos-  
y que no justifi-  
quen económicamen-  
te el empleo de -  
recubrimientos --  
protectores de má-  
xima resistencia-  
química.

Es una película pro-  
tectora resistente-  
a un ambiente indus-  
trial severo.

COMPARACIONES DE RESISTENCIA DE LOS RECUBRI -  
MIENTOS PROTECTORES.

	VINILICOS	HULE CLORADO
I TIPO DE CURADO	Por evaporación de disolventes	Por evaporación del - disolvente.
II EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	Caleo lento de la superficie	Caleo lento de la su- perficie.
III AMBIENTES HUMEDOS	Bueno, ligero amari- llo	Excelente
IV CONTAMINANTES ATMOSFERICOS: a) ACIDOS b) ALCALIS c) OXIDANTES d) DISOLVENTES	Sobresaliente Excelente Sobresaliente Bueno	Excelente Excelente Excelente Limitado
V SALPICADURAS DE DERRAMES INDUSTRIALES a) ACIDOS b) ALCALIS c) OXIDANTES d) DISOLVENTES	Excelente Excelente Excelente No recomendable	Excelente Excelente Bueno No recomendable
VI INMERSION EN AGUA	Cascos de barcos, tan- ques, etc.	Cascos de barcos
VII INTERIOR DE TANQUES	Agua potable, glicoles, salmueras, aceites.	Albercaes, agua potable

	VINILICOS	HULE CLORADO
<b>VIII</b>		
<b>PROPIEDADES FISICAS:</b>		
a) RESISTENCIA A LA ABRASION	Bueno	Bueno
b) ESTABILIDAD AL CALOR	Regular	Regular
c) DUREZA	Bueno	Bueno
d) BRILLO	Mate-semi brillante	Mate-semi brillante
e) COLORES	Amplia gama	Amplia gama
<b>IX</b>		
<b>APLICABLE PARA:</b>	Acero, concreto, -- aluminio y superficies galvanizadas.	Acero y concreto
<b>X</b>		
<b>NOTAS ADICIONALES</b>	Este tipo de recubrimiento generalmente presenta películas muy delgadas por capa, lo que incrementa el -- costo de la mano de obra, presenta excelente resistencia al paso de los iones y de la humedad; por lo que se recomienda para zonas altamente corrosivas.	Es un recubrimiento de secado rápido, por lo que reduce el tiempo de aplicación entre capas, reduciendo considerablemente los costos en mantenimiento de plantas industriales o similares. Características muy similares a las de los vinílicos.

COMPARACIONES DE RESISTENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS PROTECTORES.

	EPOXICOS	POLIURETANOS
<b>I</b> TIPO DE CURADO	Catalizados	Catalizados
<b>II</b> EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	Amarillento y caleo de la superficie	Amarilleo de la super ficie.
<b>III</b> AMBIENTES HUMEDOS	Excelente	Muy bueno
<b>IV</b> CONTAMINANTES ATMOSFERICOS		
a) ACIDOS	Bueno	Bueno
b) ALCALIS	Excelente	Excelente
c) OXIDANTES	Limitado	Limitado
d) DISOLVENTES	Excelente	Excelente
<b>V</b> SALPICADURAS DE DERRAMES INDUSTRIALES		
a) ACIDOS	Regular	Bueno
b) ALCALIS	Excelente	Bueno
c) OXIDANTES	No recomendable	No recomendable
d) DISOLVENTES	Excelente	Excelente
<b>VI</b> INMERSION EN AGUA	Depósitos de agua pota ble, desmineralizada, <sup>2</sup> residual, salada, etc.	Cascos de barcos, de pósitos de agua.
<b>VII</b> INTERIOR DE TANQUES	Almacenamiento de cru- do de petróleo (buques- tanques), combustibles, alimentos, etc.	Almacenamiento de con bustibles, alimentos, albercas, etc.

	EPOXICOS	POLIURETANOS
<b>VII</b>		
<b>PROPIEDADES FISICAS:</b>		
a) RESISTENCIA A LA ABRASION	Bueno	Sobresaliente
b) ESTABILIDAD A LA ABRASION	Excelente	Bueno
c) DUREZA	Bueno	Excelente
d) BRILLO	Mate-semi brillante	Brillante
e) COLORES	Amplia gama	Amplia gama
<b>IX</b>		
<b>APLICABLE PARA:</b>	Acero, concreto, aluminio y superficies galvanizadas.	Acero y concreto, superficies galvanizadas.
<b>X</b>		
<b>NOTAS ADICIONALES</b>	Este recubrimiento - requiere cuidado para su aplicación, da películas gruesas por capa, tiene una buena resistencia a los productos originados por corrosión presentando una excelente adherencia.	Curan a bajas temperaturas, los poliuretanos basados en diisocianatos aromáticos amarillean y calean rápidamente. Los basados en diisocianatos alifáticos no calean y no amarillean. Son de alto costo, actualmente - su uso está dirigido a los transportes - (metro, autobuses, - etc.)

**COMPARACIONES DE RESISTENCIA DE LOS RE  
CUBRIMIENTOS PROTECTORES.**

	<b>INORGANICOS</b>	<b>FENOLICOS</b>
<b>I</b> <b>TIPO DE</b> <b>CURADO</b>	<b>Reacción química</b>	<b>Horneo</b>
<b>II</b> <b>EFFECTO DE</b> <b>LOS RAYOS</b> <b>SOLARES</b>	<b>Mínimo</b>	- - - - -
<b>III</b> <b>AMBIENTES</b> <b>HUMEDOS</b>	<b>Excelente</b>	- - - - -
<b>IV</b> <b>CONTAMINANTES</b> <b>ATMOSFERICOS:</b>		
a) ACIDOS	Requiere acabado	- - - - -
b) ALCALIS	Requiere acabado	- - - - -
c) OXIDANTES	Requiere acabado	- - - - -
d) DISOLVENTES	Excelente	- - - - -
<b>V</b> <b>SALPICADURAS</b> <b>DE DERRAMES</b> <b>INDUSTRIALES</b>		
a) ACIDOS	No recomendable	Limitado a ácidos mi- nerales
b) ALCALIS	No recomendable	No recomendable
c) OXIDANTES	No recomendable	No recomendable
d) DISOLVENTES	Excelente	Sobresaliente
<b>VI</b> <b>INMERSION</b> <b>EN AGUA</b>	<b>Sobre cascos de barcos</b> <b>con sistemas de recu -</b> <b>brimiento apropiado y -</b> <b>en otras estructuras -</b> <b>marinas.</b>	<b>Como revestimiento de</b> <b>tanques</b>

VII  
INTERIOR DE  
TANQUES

INORGANICOS

Tanques de combustible,  
de lastre, para solventes.

FENOLICOS

Solventes, solu-  
ciones acuosas-  
y productos ali-  
menticios.

VIII  
PROPIEDADES  
FISICAS:

- a) RESISTENCIA  
A LA ABRASION
- b) ESTABILIDAD  
AL CALOR
- c) DUREZA
- d) BRILLO
- e) COLORES

Excelente

Bueno

Excelente

Excelente

Excelente

Excelente

Ninguno

Excelente

Gris

Transparente

IX  
APLICABLE  
PARA:

Acero

Acero

X  
NOTAS ADICIONA  
LES

Como primario permanen-  
te combinado con siste-  
mas orgánicos propor-  
ciona una larga vida -  
de servicio. Se requie-  
re de una superficie  
limpia y libre de gra-  
sa mediante limpieza -  
por abrasivos. Además,-  
de que se requiere un-  
control estricto de los  
espesores al momento de  
su aplicación.

Generalmente se  
utilizan para -  
la protección -  
de superficies-  
que van a mane-  
jar productos -  
alimenticios --  
(cervezas, jugos,  
etc.)

COMPARACIONES DE RESISTENCIA DE LOS RECU  
BRIMIENTOS PROTECTORES.

	SILICONADOS	ALQUITRAN DE HULLA-EPOXICO
I TIPO DE CURADO	Horneo	Catalizado
II EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	Mínimo	Caleo de la superficie
III AMBIENTES HUMEDOS	Bueno	Excelente
IV CONTAMINANTES ATMOSFERICOS:		
a) ACIDOS	Bueno	Excelente
b) ALCALIS	Bueno	Excelente
c) OXIDANTES	Limitado	Limitado
d) DISOLVENTES	Limitado	Limitado
V SALPICADURAS DE DERRAMES INDUSTRIALES:		
a) ACIDOS	No recomendable	Bueno
b) ALCALIS	No recomendable	Bueno
c) OXIDANTES	No recomendable	No recomendable
d) DISOLVENTES	No recomendable	No recomendable
VI INMERSION EN AGUA	No recomendable	Protección de boyas, pilg tes, tuberías expuestas a agua dulce, salada, etc.
VII INTERIOR DE TANQUES	No recomendable	Protección de tanques para combustoleo

SILICONADOS ALQUITRAN DE HULLA-EPOXICO

VIII  
PROPIEDADES DE  
FISICAS:

a) RESISTENCIA A LA ABRASION	Bueno	Bueno
b) ESTABILIDAD AL CALOR	Sobresaliente	Bueno
c) DUREZA	Excelente	Excelente
d) BRILLO	Excelente	Mate
e) COLORES	Aluminio, negro, gris.	Rojo óxido y negro

IX  
APLICABLE  
PARA:

Acero e inorgánicos  
de zinc

Acero, concreto

X  
NOTAS ADICIONA-  
LES:

Se emplea general-  
mente para la pro-  
tección exterior de  
chimeneas, calderas,  
hornos, tuberías pa-  
ra vapor, etc.

Se usa generalmente  
para la protección-  
interior y exterior  
de tubería enterra-  
da, para almacena-  
miento de crudo de-  
petróleo.

RESISTENCIA QUIMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS  
PROTECTORES.

<u>A C I D O S</u>		HULE CLORADO	VINILICOS	EPOXICOS	ALQUILICOS
Ac. sulfúrico	98%	S	-	-	-
Ac. sulfúrico	50%	S	S	-	-
Ac. sulfúrico	25%	S	S	S	-
Ac. sulfúrico	10%	S	S	S	-
Ac. sulfúrico	2%	S	S	S	-
Ac. fosfórico	85%	S	S	-	-
Ac. fosfórico	21%	S	S	-	-
Ac. fosfórico	10%	S	S	S	-
Ac. fosfórico	2%	S	S	S	-
Ac. nítrico	10%	S	S	S	-
Ac. nítrico	2%	S	S	S	-
Ac. clorhídrico	40%	S	S	-	-
Ac. clorhídrico	10%	S	S	-	-
Ac. clorhídrico	2%	S	S	S	S
Ac. acético	10%	S	S	S	-
Ac. acético	2%	S	S	S	-
Ac. láctico	85%	S	I	S	-
Ac. tánico	50%	-	I	I	-

**RESISTENCIA QUIMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS  
PROTECTORES.**

<u>V A R I O S</u>		HULE CLORADO	VINILICOS	EPOXICOS	ALQUILICOS
Agua de bromo		-	S	I	S
Agua de cloro		S	S	S	S
Agua deionizada		-	S	I	S
Agua de mar		I	I	I	S
Agua potable		S	I	I	S
Detergente casero		I	S	I	-
Dietanol-amina		I	S	I	-
Formaldehído		-	I	I	-
Fenol		S	S	S	-
Látex		I	S	S	--
Peróxido de hidrógeno	30%	-	S	-	-
Peróxido de hidrógeno	3%	I	S	S	-
Cloruro de sodio	25%	S	I	I	S
Hipoclorito de sodio	10%	-	I	S	-
Hipoclorito de sodio	6%	S	I	S	-
Gasolina		S	S	I	S
Gliserina		I	I	I	I

I= Inmersión (resistencia a la inmersión incluyendo derrames, salpicaduras y vapores de los productos citados a temperatura ambiente.

S= Derrames, salpicaduras y vapores.

RESISTENCIA QUIMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS  
PROTECTORES.

<u>ALCALIS</u>	HULE CLORADO	VINILICOS	EPOXICOS	ALQUILICOS
Hidróxido de sodio 50%	S	S		-
Hidróxido de sodio 25%	S	S		-
Hidróxido de sodio 10%	S	S		-
Hidróxido de sodio 2%	S	S		-
Hidróxido de potasio 50%	S	S		-
Hidróxido de potasio 10%	S	S		-
Hidróxido de potasio 2%	S	S		-
Hidróxido de amonio conc.	S	S		S
Hidróxido de amonio 10%	S	S		S
Hidróxido de amonio 2%	S	S	S	S
<u>DISOLVENTES</u>				
Acetona	-	-	S	-
Benzol	-	-	S	-
Butanol	S	S	S	S
Bisulfuro de carbono	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	-	S	S	S
Etanol	S	S	-	S
Metanol	-	S	-	S
Acetato de etilo	-	-	S	-
Metil etil cetona	-	-	S	-
Eter de petróleo	-	S	-	S
Percloro-etileno	-	-	S	-
Xileno	-	S	S	-
Gas nafta	S	S	-	S

## 8.- Aspectos económicos de los recubrimientos.

El costo de la corrosión y los medios para combatirla son preocupación creciente de los países industrialmente desarrollados, ya que los adelantos tecnológicos que continuamente avanzan aceleran los efectos destructivos de los materiales con el consiguiente desperdicio de recursos.

Estas preocupaciones y consideraciones han llevado a estudiar económica y tecnológicamente el proceso electroquímico de la corrosión, para comprender su naturaleza y tomar las medidas necesarias para su control.

El costo del fenómeno corrosivo no solamente incide en el valor de reposición de bienes de capital, sino también en la contaminación del producto y aún más grave en la disminución de la producción.

La importancia de los estudios de la corrosión es doble. En primer lugar figura el aspecto económico que comprende la reducción de las pérdidas de material que se produce por el desgaste progresivo o rotura repentina de tuberías, recipientes, componentes metálicos de máquinas, cascos de buques, estructuras marinas, etc. En segundo término hay que considerar la conservación de los recursos naturales aplicado en principio a los metales cuya reserva mundial es limitada, y su consumo incluye las correspondientes pérdidas de reservas de energía y agua que acompañan a la producción y montaje de las estructuras metálicas. No menos importante es el consiguiente ahorro de potencial humano que se emplea en dise-

LOS SISTEMAS PARA CADA TIPO DE EXPOSICION (INDUSTRIA PETROQUIMICA)

Condiciones de Exposición	Preparación de la Superficie	PRIMARIO:		ACABADO:		Aplicación	OBSERVACIONES:
		RECUBRIMIENTO	No. de Manos Espesor (mic. / mil)	RECUBRIMIENTO	No. de Manos Espesor (mic. / mil)		
Acabado liso	I.M.	RP-1 Esmalte Alquidático	2 0.5	RA-20 Esmalte Alquidático RA-21 Aluminio	2 1.5 2 1.5	Brocha o Agujón	No se aplica el esmalte alquidático si se requiere como mano de taller.
Acabado liso de alta calidad	I.M. Ch. A. Can.	RP-1 Esmalte Alquidático RP-2 Cromato de Zinc	2 0.5 2 0.5	RA-20 Esmalte Alquidático RA-21 Esmalte Aluminio	2 1.5 2 1.5	Brocha o Agujón	
Acabado liso y satinado	Ch. A. M. B.	RP-1 Inorgánico de Zinc Fosforado RP-4 Inorgánico de Zinc Antimonio	1 2.5-3 1 2.5-3	RA-21 Esmalte Aluminio RA-22 Vitales Alas Satinadas	2 1.5 2 1.5	Agujón	El Inorgánico de Zinc Antimonio, se empleará cuando se requiera superficies mates de tipo.
Acabado liso y satinado con gran resistencia al agua	Ch. A. M. B. Ch. A. Can. Ch. A. Can.	RP-3 Inorgánico de Zinc Fosforado RP-4 Vitales Catalítico RP-7 Vitales Modificado	1 2.5-3 1 2 1 2	RA-21 Esmalte Aluminio RA-22 Vitales Alas Satinadas RA-23 Vitales Alas Satinadas	2 1.5 2 1.5 2 1.5	Agujón	
Acabado mateo (No lavable)	Ch. A. M. B.	RP-4 Inorgánico de Zinc Antimonio RP-6 Alquidático de Múltiple Epíctico	1 2.5-3 2 0.5	RA-21 Esmalte Aluminio RA-22 Vitales Alas Satinadas	2 1.5 2 1.5	Agujón	El Inorgánico de Zinc Antimonio, se empleará para tuberías y conductos de combustión.
Agua salada (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. Can.	RP-5 Alquidático de Múltiple Epíctico	2 0.5			Agujón	Revisar compatibilidad química. No se use alquidato.
Agua salada (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. Can.	RP-6 Alquidático de Múltiple Epíctico	2 0.5			Agujón	Revisar compatibilidad química. No se use alquidato.
Agua salada (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. Can.	RP-7 Vitales Modificado	2 1	RA-23 Vitales Alas Satinadas	2 1	Agujón	Revisar compatibilidad química.
Vaporización (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. M. B.	RP-8 Epíctico para tuberías	1 2	RA-23 Epíctico para tuberías	1 2	Agujón	Revisar compatibilidad química.
Exposición a la intemperie (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. M. B.	RP-3 Inorgánico de Zinc Fosforado	1 2.5-3			Agujón	No se use alquidato. Se usa en tanques para almacenamiento.
Exposición a la intemperie (interiores de tanques de almacenamiento)	Ch. A. Can.	RP-6 Epíctico Catalítico	1 2	RA-23 Epíctico Alas Satinadas	1 2	Agujón	Revisar compatibilidad química.
Exposición a la intemperie (interiores de tanques de almacenamiento)	Unidad de almacenamiento Ch. A. M. B. Para áreas de plantación y de cultivo. Manos de campo. Hacer estudios, C.I.A.M.S.	RP-3 Inorgánico de Zinc Fosforado RP-3 Inorgánico de Zinc Fosforado	1 2.5-3 1 2.5-3	RP-7 Esmalte Vitales Modificado y Antivulcanizante RP-7 Esmalte Vitales Modificado y Antivulcanizante	2 1 2 1	Agujón	
Interiores de tanques de almacenamiento	Ch. A. C. M. B.	RP-6 Epíctico Catalítico	1 2	RA-23 Epíctico Alas Satinadas	1 2	Agujón	Revisar compatibilidad química. No se use para almacenamiento.
Zona de montaje y carga	I. M.	RE-20 Epíctico para zona de montaje y carga	1 1.5			Mano	No se use alquidato.
Resistencia al rayado				RE-20 Antivulcanizante a) Vitales RE-20 Antivulcanizante b) Esmalte Aluminio Puro	2 2 2 2	Agujón	
Alta temperatura	Mano Ch. A. Can. Ch. A. M. B.	RE-20 A) RE-20 B) RE-20 C)	2 1.5 2 1.5 2 1.5			Brocha o Agujón	A) Mano 500°C. B) Mano 600°C. C) Mano 700°C.

\* Cuando se presenten problemas con el sistema de aplicación indicado, referirse a las Especificaciones.

I. M.: Ingeniería Manual.  
Ch. A. Can.: Charro de Acero Canalado.  
Ch. A. C. M. B.: Charro de Acero Gris de Metal Blanco.  
Ch. A. M. B.: Charro de Acero o Metal Blanco.

RP: Recubrimiento Primario  
RA: Recubrimiento Acabado.

ñar y reconstruir los equipos metálicos corroídos, de otra manera sería usado para otros fines útiles a la sociedad.

a).- Selección de recubrimientos.

Actualmente existe un sinnúmero de actividades industriales, las cuales implican una elevada e intensiva mano de obra; un ejemplo sobresaliente es el recubrimiento para el mantenimiento de plantas y estructuras con las operaciones esenciales de preparación de superficies, aplicación de los recubrimientos e inspección de los mismos. Se ha estimado que el contenido de mano de obra en cualquier proyecto de protección es del orden de un 70-80% del costo total.

La economía del recubrimiento industrial depende del costo de mano de obra, la cual debe considerarse durante la selección y evaluación de los sistemas protectores.

La función de cualquier sistema de recubrimientos es escogido para la protección industrial con el fin de mantener la planta en óptimas condiciones tanto como sea posible a un costo mínimo.- Cuando se seleccionan los sistemas de protección para estos propósitos; el Ingeniero de Planta -- usualmente analiza las alternativas en el uso de materiales baratos de baja calidad y frecuente repintado o usando sistemas de protección más costosos de alta calidad, los cuales tiene bajos requerimientos en mantenimiento.

Es notable que el alto contenido de la mano de obra mencionado previamente, reflejan la efi -

ciencia de los costos de la planta y la diferencia en los precios de los recubrimientos tienen poco efecto. Con el incremento progresivo en los cargos de mano de obra debe considerarse la fácil aplicación y las cualidades protectoras de los recubrimientos aplicados.

Para obtener una fácil aplicación de los sistemas de recubrimientos anticorrosivos. Deben considerarse los tipos de revestimientos elegidos: un grupo es los que secan mediante una auto-oxidación con el medio ambiente (alcídicos); otro grupo efectúa su secado mediante una evaporación de disolventes (vinílicos); otro grupo efectúa su secado mediante una reacción química (epóxicos) y por último un grupo que debe considerarse son los revestimientos inorgánicos que efectúan su secado o curado mediante insolubilización con solución ácida y/o interaccionando con elementos atmosféricos: agua y oxígeno.

Para la elección de un sistema de recubrimientos que prestará un cierto servicio, deberán analizarse los elementos corrosivos que estarán en contacto directo o indirecto en sus diferentes concentraciones y temperaturas, así como el sustrato que se protegerá; en base a esto se estudiará el sistema de protección que se especificará de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas (involucran secado rápido, resistencia a la temperatura, excelente adherencia entre capas, buena resistencia química, baja permeabilidad al vapor de agua, tipo de limpieza y facilidad de aplicación.

Normalmente después del análisis técnico con

cerniente a la selección del tipo o tipos de recubrimiento anticorrosivo que permiten resolver un problema específico de corrosión, se presenta la situación de que dos o más sistemas pueden ser -- utilizados; la elección final podrá llevarse a ca-- bo considerando adicionalmente aspectos de tipo -- económico.

Para la evaluación de estos aspectos económi-- cos de los recubrimientos, es necesarios deter-- minar los siguientes puntos.

b).- Costos de preparación de superficies.

Aún cuando los costos unitarios son afecta-- dos por la configuración, localización y tipo de superficie a preparar, a continuación se propor-- cionan valores aproximados que permiten la estima-- ción de los costos de limpieza de superficies.

<u>Método de limpieza</u>	Costo \$/m <sup>2</sup>
Limpeza por abrasivos:	
A metal blanco	110.00-130.00
Cercano a metal blanco	90.00-110.00
Comercial	90.00-105.00
Ráfaga	60.00- 85.00
Limpeza química	45.00- 65.00
Limpeza por herramientas mecánicas	30.00- 45.00
Limpeza manual	20.00- 30.00

Los costos anteriores fueron proporcionados por contratista, dedicados a la aplicación de recubri-- mientos anticorrosivos; así como del tabulador de--

precios unitarios de Petr6leos Mexicanos.

c).- Costos de aplicaci6n.

Los sistemas de recubrimientos usados en trabajos de plantas industriales, deben tener los espesores recomendados normalmente en mil6simas de pulgada (m6nimo 5 mils.) para asegurar una protecci6n efectiva.

Sobre esta base, los costos de aplicaci6n son aproximadamente proporcionales al n6mero de capas necesarias, para lograr el espesor deseado; por lo tanto si los costos de aplicaci6n est6n siendo efectivamente minimizados, deber6n utilizarse hasta donde sea posible sistemas de recubrimientos que sean capaces de proporcionar elevadas pel6culas protectoras.

Existen tres tipos o formas de aplicaci6n de los recubrimientos m6s comunes que son: brocha, rodillo y aspersi6n, y cada uno de ellos es preferido seg6n las superficies a recubrir y dependiendo desde luego del tipo de recubrimiento recomendado.

La aplicaci6n con brocha es un medio conveniente para recubrir estructuras, mientras que la aplicaci6n por rodillo o aspersi6n son usualmente preferidos para grandes 6reas de superficies continuas. Para aplicaciones r6pidas el rociado o atomizado sin aire es un m6todo extremadamente eficiente y puede ser usado efectivamente para la protecci6n de superficies hasta de 30 cm. de anchura, proporcionando en una o dos capas de pel6cula seca de 75 a 125 micras (1 mil. equivale a

25 micras).

El método adoptado para la aplicación de los recubrimientos, dependerá del sistema de protección anticorrosiva seleccionado, del tipo de superficie y de los avances que se requieran para una obra determinada.

Se presentan las siguientes tablas con valores aproximados:

#### Avances de aplicación

Método	m <sup>2</sup> /hora (por capa)
Aspersión	25 - 54
Rodillo	18 - 36
Brocha	9 - 18

#### Mermas de aplicación

Método	%
Aspersión	10 - 20
Rodillo	10 - 15
Brocha	5 - 10

#### Costos de aplicación

Método	\$/m <sup>2</sup> (por capa)
Aspersión	15 - 30
Rodillo	12 - 25
Brocha	10 - 22

#### d).- Costos de los recubrimientos

En este párrafo se determina el costo por m<sup>2</sup> del recubrimiento de acuerdo a lo siguiente:

Número de capas requeridas (primario-interme

dio-acabado).

Espesor de película seca recomendado por capa

Rendimiento teórico del recubrimiento en  $m^2/litro$ .

Costo del recubrimiento por litro.

Costo del adelgazador requerido (por lo común no debe exceder de un 10% del recubrimiento empleado).

Los datos de los puntos anteriores, generalmente se toman de la literatura técnica (catálogos) proporcionados por los fabricantes de recubrimientos anticorrosivos o bien de manuales técnicos de Petróleos Mexicanos o Comisión Federal de Electricidad.

En cuanto al costo de los revestimientos, en la siguiente tabla presentamos los precios unitarios por litro (los cuales estarán sujetos a variaciones a corto plazo por las fluctuaciones que presente el mercado) de productos requeridos por Petróleos Mexicanos, para la protección de sus diversas instalaciones, así como sus rendimientos teóricos  $m^2/litro$  ya que, mediante una encuesta con fabricantes de pinturas estos materiales deben cumplir con una formulación y un control de calidad específico.

Especificación	Rend. teórico $m^2/l$ a 1 mil.	Precio \$/l
<b>Primarios alquílicos:</b>		
RP-1-74 de Minio	17.4	160.00-180.00
RP-2-74 de Cromato de zinc	12.3	130.00-150.00
<b>Primarios inorgánicos de zinc:</b>		
RP-374 Post-curado	19.6	300.00-330.00
RP-4-74 (A) Autocurante base acuosa.		

Especificación:	Rend.teórico m <sup>2</sup> /l a 1 mil.	Precio \$/l
RP-4-74 (B) Autocurante base solvente.	17.2	290.00-310.00
Primarios epóxicos al - quitrán de hulla:		
RP-5-74 (A)	28.0	160.00-180.00
RP-5-74 (B)	27.2	160.00-180.00
Primarios epóxicos cata lizados:		
RP-6-74	16.9	165.00-180.00
RP-8-74	16.9	165.00-180.00
Primario vinil-epóxico:		
RP-7-74	6.6	120.00-140.00
Enlace o intermedio vi- nil epóxico:		
RP-7-74 E	6.9	120.00-130.00
Acabado esmalte alquílico:		
RA-20-74	15.0	110.00-130.00
Acabados epóxicos catali- zados:		
RA-21-74	18.9	200.00-240.00
RA-23-74	26.0	200.00-240.00
RA-26-74	26.0	200.00-240.00
Acabado vinílico:		
RA-22-74	10.9	130.00-160.00
Acabado vinil-acrílico:		
RA-25-74	8.0	130.00-160.00

**Siliconados para alta temperatura:**

RE-30-74 (A)	16.0	180.00-200.00
RE-30-74 (B)	14.0	450.00-550.00

**Antivegetativos:**

RE-31-74 (A) Vinílico	21.7	350.00-420.00
RE-31-74 (B) base alquitrán	14.7	220.00-280.00

Adelgazadores		45.00- 90.00
---------------	--	--------------

**e).- Costos totales en la aplicación de los recubrimientos.**

Determinados los puntos anteriores, se pueden utilizar para llevar a cabo el estudio económico de los costos para la protección de las superficies, para este objeto se muestra el siguiente ejemplo:

Se tiene un tanque de acero al carbón, que almacenará turbosina teniendo una área interior de  $1000 \text{ m}^2$ , el cual será instalado en un ambiente marino con una área exterior de  $1000 \text{ m}^2$ . Determinar:

El sistema de protección.

Costo total de la protección interior y exterior.

**Datos:**

Tanque de acero al carbón

Área interior =  $1000 \text{ m}^2$ .

Almacenará Turbosina

Área exterior =  $1000 \text{ m}^2$ .

Localización en un ambiente marino.

### Sistemas de protección (interior y exterior)

De la tabla sistemas de protección para la industria petroquímica tenemos:

Exposición	Sistema	No. de capas	Espesor de película - seca/capa
Turbosina	Primario RP-8-74	1	2.0 mils.
	Acabado RA-23-74	1	6.0 mils.

Método de aplicación: Aspersión.

Método de limpieza: Chorro de arena a metal blanco.

Exposición	Sistema	No. de capas	Espesor de película se ca/capa.
Ambiente marino	Primario RP-4-74 (A)	1	3.0 mils.
	Acabado RA-22-74	2	3.0 mils.

Método de aplicación: Aspersión.

Método de limpieza: Chorro de arena a metal blanco.

### Costo total de los recubrimientos.

De los costos de aplicación considerando un 20% de mermas, y de los costos de los recubrimientos, se obtiene el rendimiento práctico al espesor recomendado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rend. práctico al espesor recomendado} = \frac{\text{Rend. teórico a 1 mil} \times 0.8}{\text{Espesor recomendado}}$$

$$\begin{aligned} \text{Rend. práctico para primario RP-8-74} &= \frac{16.9 \text{ m}^2/\ell \text{ a 1 mil} \times 0.8}{2.0 \text{ mils}} \\ &= 6.76 \text{ m}^2/\ell \text{ a 2 mils de espesor seco.} \end{aligned}$$

Siguiendo el mismo mecanismo para los otros productos tenemos:

<u>Interior</u>		<u>Exterior</u>	
Sistema	Rend. práctico (m <sup>2</sup> /litro)	Sistema	Rend. prac. (m <sup>2</sup> /litro)
Primario RP-8-74	6.76 a 2 mils.	Primario RP-4-74	6.5 a 3 mils.
Acabado RA-23-74	3.01 a 6 mils.	Acabado RA-22-74	1.45 a 6 mils.

Determinado el rendimiento práctico al espesor recomendado, calculamos el volumen de litros requeridos y costos de los productos para la protección del tanque, de acuerdo a las fórmulas siguientes:

$$\text{Volumen de litros} = \frac{\text{Area m}^2}{\text{Rend. práctico m}^2/\text{litro}}$$

$$\text{Costo del recubrimiento} = \text{Vol. req. de litros} \times \$/\text{litro}$$

$$\text{Volumen de litros requeridos.} = \frac{1000 \text{ m}^2}{6.76 \text{ m}^2/\text{litro a 2 mils.}} = 148 \text{ litros}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo del primario} \\ \text{RP-8-74} &= 148 \text{ litros} \times 180 \text{ \$/litro} = \\ &\$ 26,640.00 \end{aligned}$$

En forma similar con los otros productos tenemos:

Interior: Area 1000 m<sup>2</sup>

Sistema	Volumen requeridos de litros	Costo \$
Primario RP-8-74	148	26,640.00
Acabado RA-23-74	332	79,680.00
<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>\$106,320.00</b>

Exterior: Area 1000 m<sup>2</sup>

Sistemas	Volumen requerido de litros	Costo \$
Primario RP-4-74 (A)	169	64,220.00
Acabado RA-22-74	689	110,240.00
	<b>858</b>	<b>\$174,460.00</b>

Como se mencionó en el inciso (d) Costos de los recubrimientos por lo común, se requiere de un 10% de adelgazador respecto al material emplea

do, en este ejemplo a excepción del primario inorgánico de zinc RP-4-74 tipo (A) Autocurante baseacuosa, no requiere adelgazador: tomando en cuenta esta situación se tiene:

$$\text{Volumen de litros de adelgazador requeridos} = \text{Volumen de litros de recubrimientos requeridos} \times 0.1$$

$$\text{Costo de adelgazador} = \text{Volumen de litros de adelgazador} \times \text{Precio } \$/\ell$$

$$\text{Volumen de litros de adelgazador} = 1169 \text{ litros de recubrimientos}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de adelgazador} &= 116.9 \text{ litros} \times 90.0 \text{ } \$/\ell \\ &= \$ 10,521.00 \end{aligned}$$

### Costo de limpieza.

En la preparación de la superficie del tanque (interior y exterior), se determinó que requiere una limpieza por chorro de arena a metal blanco SP-5-63.2 Por este motivo, se tiene una área de 2000 m<sup>2</sup> cuyo costo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de preparación de superficie} = \text{Área } m^2 \times \text{Precio unitario } \$/m^2$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de preparación de superficie} &= 2000 \text{ m}^2 \times 130.00 \text{ } \$/m^2 \\ &= \$ 260,000.00 \end{aligned}$$

Costo de aplicación.

El método seleccionado para la aplicación de los recubrimientos, es el de aspersión; ya que tenemos una superficie continua, además que nos permitirá tener un control de los espesores de película por capa de cada uno de los productos, y lograr un acabado terso de la superficie.

Su costo está determinado por:

$$\text{Costo de aplicación} = \frac{\text{Area } m^2 \times \text{No. de capas} \times \text{Precio } \$ / m^2}{}$$

$$\text{Costo de aplicación} = \frac{2000 m^2 \times 5 \text{ capas} \times 15.00 \$ / m^2}{}$$

$$= \$ 150,000.00$$

Costo total de protección.

Se obtiene sumando los totales de los anteriores puntos:

Gastos	\$
Recubrimientos	280,780.00
Adelgazadores	10,521.00
Preparación de superficie	260,000.00
Aplicación	150,000.00
	<u>\$ 701,301.00</u>
	=====

En resumen, se ve que para el ejemplo, la protección anticorrosiva de un tanque de 2000 m<sup>2</sup> que almacenará turbosina y estará instalado en un am -

biente marino, requiere de una inversión de - -  
\$ 701.301.00. Cabe recordar que los precios uni-  
tarios utilizados en los cálculos son aproxima-  
dos, por lo que es necesario verificar con los -  
fabricantes y contratistas dedicados a este ra-  
mo los costos al momento de enfrentarse a un pro-  
blema similar.

Sin embargo, el ejemplo resulta adecuado -  
como procedimiento de selección, comparación y -  
presupuesto de protección anticorrosiva.

## V.- PROTECCION CATODICA.

Este capítulo trata de la aplicación de la protección catódica, los principios que intervienen en ella, los métodos que se emplean y los factores de diseño para aplicar la protección catódica.

Este método no es un descubrimiento reciente, ya que, en 1824 Sir Humphrey Davy utilizó esta técnica para retardar la corrosión del recubrimiento de cobre de los cascos de navíos británicos uniendo a ellos placas de zinc. La protección catódica es un método bastante efectivo para mitigar la acción destructiva de la corrosión galvánica.

### 1.- Principios de la protección catódica.

Para entender los principios de la protección catódica debe conocerse el mecanismo de la corrosión, el cual se encuentra descrito en el capítulo Teoría Electroquímica de la Corrosión por tal motivo no ahondaremos en la descripción de dicho mecanismo.

La corrosión es una reacción electroquímica en la que intervienen metales, productos químicos y agua que se combinan para formar celdas capaces de generar electricidad mediante la acción de estas celdas, los metales regresan a su forma nativa y estable utilizando electricidad generada como fuente de energía. Una celda electroquímica está formada por:

a) Electrolito.- Una solución o medio conduc

tor, por ejemplo el suelo que contiene agua, oxígeno y productos químicos disueltos.

b) Anodo.- Un electrodo metálico en contacto con el electrolito que se corroe.

c) Cátodo.- Un electrodo metálico en contacto con el electrolito que se encuentra protegido contra la corrosión.

d) Circuito externo.- Un conductor metálico que conecta el ánodo y el cátodo.

Se conocen tres tipos de celdas diferentes:

1).- Celda galvánica.- Electrodo de metales diferentes en un electrolito común.

2).- Celdas de concentración.- Electrodo metálicos similares en un electrolito diferente.

3).- Celda electrolítica.- Una celda controlada por una fuente externa de corriente eléctrica.

En cada una de estas celdas, el ánodo se consume y el cátodo se encuentra protegido contra la corrosión.

El diagrama (a) de la figura V-1, representa una celda galvánica, el diagrama (b) muestra una celda de concentración. En ambos casos, la corriente eléctrica fluye del cátodo al ánodo en el circuito externo.

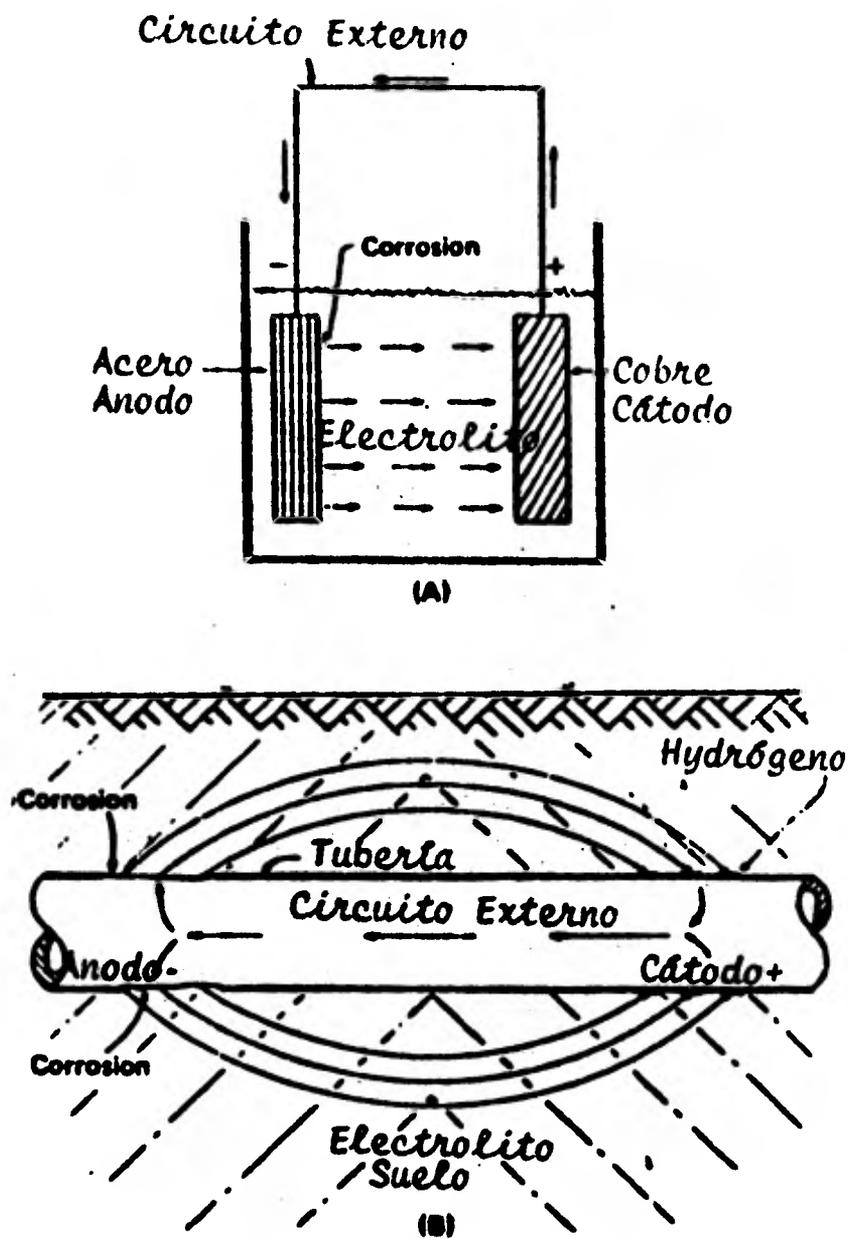


Figura V-1.- Celda galvánica (A), celda de concentración (B).

La corriente deja el ánodo para entrar al -- electrolito y al hacerlo produce una reacción química en la superficie del ánodo. En esta reacción los iones del metal del ánodo y los iones negativos del electrolito se combinan con la subsecuente formación de un compuesto del metal como un -- producto de corrosión. La corriente emigra a través del electrolito al cátodo, de la superficie -- del cátodo se liberan iones positivos de la solución generalmente en forma de hidrógeno atómico.- A menudo se desprende hidrógeno gaseoso o se forman otros compuestos como oxhidrilos, carbonatos, cloruros a través de reacciones secundarias.

El cátodo no se corroe ya que está protegido contra la corrosión. La formación de hidrógeno - y otros compuestos en la superficie del cátodo se conoce como polarización catódica. Los productos de polarización producen un potencial contrario - que actúa como una película de alta resistencia - en la cara de los electrodos, esto reduce la actividad de la celda electroquímica y en ocasiones - retarda por completo la acción de la corrosión de la celda; sin embargo, los agentes despolarizan - tes como el oxígeno se combina con el hidrógeno - formando iones oxhidrilo y agua manteniendo la actividad de estas celdas.

La protección catódica hace que la estructura metálica sea el cátodo de una celda electroquímica diseñada de tal manera que protege a dicha estructura de la corrosión, la corriente protectora desarrollada dentro de la celda o introducida por una fuente externa, es lo suficientemente alta para superar y nulificar el efecto de la corriente de corrosión que sale de las áreas anódi-

cas de la estructura.

Cuando la superficie metálica está totalmente polarizada la corrosión se detiene, en cierto-sentido la corrosión no se elimina sino se dirige a un material menos costoso y totalmente desechable que se utiliza como ánodo, mientras que la estructura metálica se protege a medida que estos ánodos se consumen deben ser substituídos para mantener la protección de la estructura.

Para entender mejor la protección catódica, es necesario examinar la ecuación básica de la corrósión que se presenta a continuación:

$$i_c = \frac{E_a - E_c}{R_a + R_c} = 0$$

$i_c$  = corriente de corrosión, amperes

$E_a$  = potencial anódico, volts

$E_c$  = potencial catódico, volts

$R_a$  = resistencia anódica, ohms

$R_c$  = resistencia catódica, ohms.

Cuando en una estructura subterránea existe una diferencia de potencial ( $E_a - E_c$ ) que tiene un valor finito de resistencia del <sup>a</sup>circuito (suponiendo que  $R_a + R_c$  es la resistencia de control en el <sup>c</sup>circuito de la celda de corrosión), en este caso fluirá una corriente de corrosión ( $i_c$ ).

Para lograr la protección catódica la corriente de corrosión debe ser igual a cero. La corriente de corrosión puede ser igual a cero haciendo que  $R_a + R_c = \text{infinito}$ . Se intenta lograr ésto aplicando un recubrimiento protector, sin embargo este recubrimiento perfecto no sería costeable. Un recubrimiento de esta categoría aumentaría la resistencia del circuito reduciendo la magnitud de la corriente de corrosión, pero no la haría igual a cero.

La corriente de corrosión puede nulificarse igualando la diferencia de potencial y haciendo  $E_a - E_c = \text{cero}$ , al igualar los valores de potencial constituye la corriente mínima requiere para tener una efectiva protección catódica.

Para obtener una máxima economía, la corrosión se retarda por la combinación de un recubrimiento a la estructura así como una aplicación de protección catódica.

Presentada de otra forma, la protección catódica consiste en hacer que el potencial del suelo que está en contacto con la estructura sea positivo, de tal manera que las corrientes de corrosión no puedan salir de la superficie del metal, en su lugar entran corrientes protectoras de mayor intensidad que se dejan salir en un punto controlado en forma metálica. Siempre que se evite que las corrientes eléctricas salgan de la estructura electrolíticamente la corrosión se puede evitar.

2.- Métodos de aplicación de protección catódica.

Existen dos métodos para aplicación de protección catódica en estructuras metálicas enterradas: ánodos galvánicos o de sacrificio y corrientes impresas o camas rectificadoras. En cada uno de estos métodos se dispone de un suministro de corriente DC requerida para la protección de una estructura. La selección del método empleado depende de diversas consideraciones económicas y técnicas. Cada uno de los métodos anteriores presenta sus ventajas y desventajas.

a) Anodos Galvánicos.- Este método es aplicable y efectivo cuando los requisitos de corriente son bajos, donde las estructuras a proteger están bien protegidas con recubrimientos, cuando se requiere protección localizada y la resistividad de los suelos es baja; las ventajas de los ánodos galvánicos son las siguientes:

- 1.- Costos mínimos de mantenimiento e instalación.
- 2.- Mayor eficiencia en el empleo de corriente protectora.
- 3.- Rara vez ocasionan problemas de interferencia con estructuras extrañas.
- 4.- Los gastos de servicio son bajos.
- 5.- La utilización de corriente protectora es más eficiente.

Las principales desventajas son:

- 1.- Los potenciales de operación son limitados.
- 2.- Salidas de corriente más bajas y limitadas.

- 3.- Limitaciones en la resistividad del suelo.
- 4.- No es aplicable para tuberías de grandes diámetros.

Cuando un ánodo galvánico se entierra o se conecta a una estructura metálica como se ilustra en la figura V-11. Se forma una celda galvánica, el ánodo está formado por un metal que es electro negativo siendo la parte anódica la que se corroe, mientras que la estructura se transforma en catódica y es protegida. La corriente protectora fluye del ánodo a través del suelo hasta la tubería, a medida que entra a la tubería la corriente protectora se opone, supera y evita que las corrientes de corrosión salgan de la estructura, la corriente regresa al ánodo a través de un conductor metálico.

Los principales metales que se utilizan como ánodos galvánicos son el zinc y el magnesio, últimamente han ganado aceptación las aleaciones de aluminio que se emplean en agua de mar. En menor grado se han empleado ánodos de plomo, normalmente estos metales son electronegativos con respecto al acero, plomo, cobre y aluminio; usualmente estos metales son los que se deben proteger contra la acción de la corrosión.

Los ánodos galvánicos generalmente se empa can o entierran con un soporte químico consistente de yeso, arena, bentonita, sulfato de sodio. Dichos productos permiten obtener un potencial de trabajo más alto y estable, reducen considerablemente los efectos de polarización indeseables, permiten que la resistencia del ánodo a tierra sea menor y distribuyen el ataque de corrosión sobre-

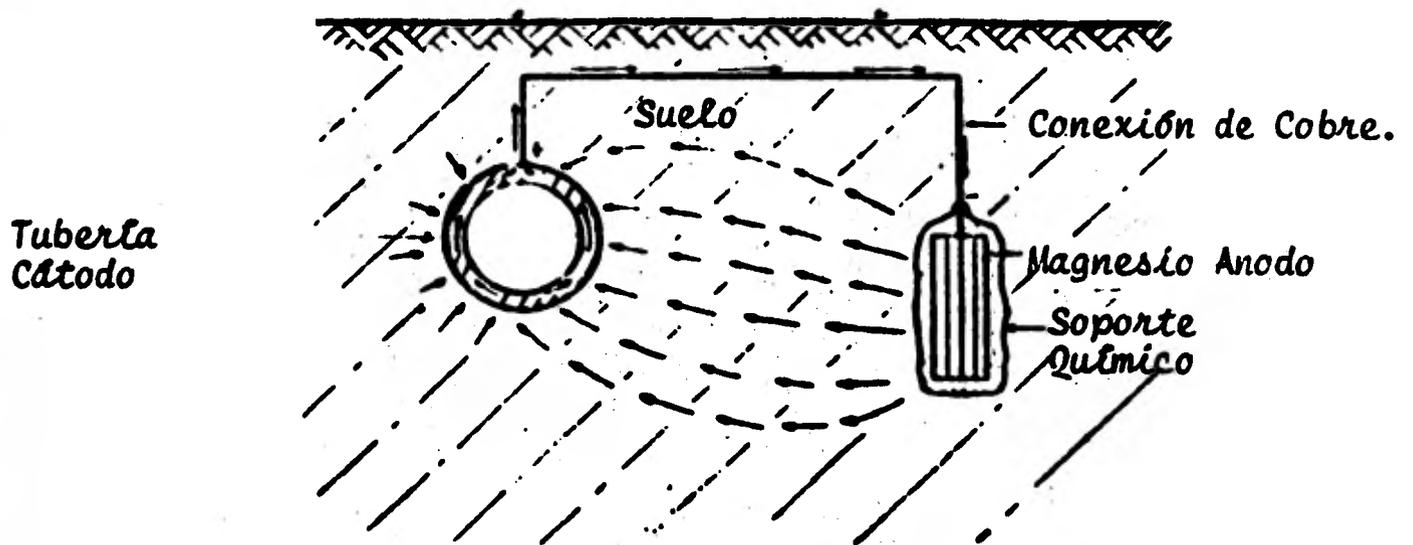


Figura V-11.- Protección catódica.- ánodos galvánicos.

el ánodo previniendo una falla prematura.

El potencial de solución del zinc (sobre un soporte) es de aproximadamente -1.1 volts, medido con respecto a un electrodo de sulfato de cobre - medido en la misma forma es aproximadamente de --1.55 volts. En un potencial de tubería a suelo - de -0.85 volts, el potencial de operación del zinc es de 0.25 volts; mientras que el del magnesio de 0.70 volts.

El promedio real ampers-hora por libra de zinc es de 335 en comparación con 500 para el magnesio. Los ampers-hora varían con las densidades de salida de corriente del ánodo, a densidades de corriente más altas el valor de los ampers hora por libra para los ánodos son más altos.

Estos productos químicos sirven para los siguientes propósitos:

- 1.- Permiten un potencial de trabajo más alto.
- 2.- Reducen los efectos de polarización indeseables.
- 3.- Permiten que la resistencia del ánodo a tierra sea menor.
- 4.- Distribuye el ataque de corrosión sobre el total del ánodo para evitar fallas.

Las siguientes fórmulas se utilizan para determinar la vida de operación de un determinado peso de ánodo o el peso de ánodo necesario para una vida específica de salida de corriente conocida, asumiendo un completo consumo de los ánodos:

$$L_m = \frac{57.08 \times W}{i} \quad L_z = \frac{38.24 \times W}{i}$$

$L_m$  = vida del ánodo de magnesio en años

$L_z$  = vida del ánodo de zinc en años

$W$  = peso del ánodo en libras

$i$  = corriente de salida del ánodo en miliamperos.

En estas fórmulas se ha utilizado una eficiencia de corriente de 90% para el ánodo de zinc y 50% para el de magnesio, de salida teórica por libra basada en la ley de Faraday.

Asumiendo que el consumo de los ánodos es completo, sin embargo se presentan fallas antes de este tiempo. Para un valor real de operación ( $L_m$  y  $L_z$ ), las constantes 57.08 y 38.24 deben multiplicarse por 0.75 dando respectivamente 42.81 y 28.68. Suponiendo que la salida del ánodo es constante, mientras que otros muchos factores como son la humedad del suelo, temperatura, etc., producirán salidas variables. Así mismo a medida que los ánodos se consumen, la corriente de salida será menor debido a las dimensiones reducidas del ánodo.

Para aplicación en agua de mar como en las superficies externas de los cascos de los barcos, las plataformas de perforación, las tuberías sumergidas, se han utilizado con bastante éxito ánodos de aleaciones de aluminio. El potencial de solución del ánodo de aluminio es aproximadamente

de -1.0 volts. medido con un electrodo de sulfato de cobre lo que dá un potencial de trabajo de - - 0.20 volts a un potencial tubería a suelo de - - -0.85 volts. El promedio actual ampers-hora por libra del ánodo de aleación de aluminio, de reportan como 810 basado en una eficiencia de corriente de 60% y hasta 1300 basado en una eficiencia de 96%.

Para usos marinos se dispone de ánodos galvánicos de metales que permiten salidas de corriente altas para una rápida polarización de la estructura. En la superficie exterior del ánodo se emplea un metal de alta densidad de corriente, sobre la estructura protegida se forman productos de polarización calcáreos, finalmente reducen los requerimientos de corriente. El metal interno o de base ofrece una corriente suficiente para una protección adecuada y permite un diseño de vida más prolongado.

Otro sistema de uso común en la protección de tuberías es el de utilizar ánodos de tipo brazalete, estos ánodos son instalados alrededor de la circunferencia de la tubería durante la construcción, la frecuencia de los brazaletes dependerá del tamaño de la tubería protegida y de la vida deseada de los ánodos.

Al diseñar una cama de ánodos galvánicos, para la protección de una estructura. Se examinarán los principales factores que controlan y determinan la salida de corriente de los ánodos galvánicos:

- 1.- El tamaño y la condición del recubrimiento de la estructura que se protege.
- 2.- La resistividad del suelo que rodea al ánodo.
- 3.- El tamaño y la forma del ánodo (incluyendo el soporte.)
- 4.- La formulación metalúrgica del ánodo.
- 5.- El tipo y cantidad de soporte empleado.
- 6.- La distancia del ánodo a la estructura-protegida.
- 7.- Profundidad del ánodo utilizado.
- 8.- Número de ánodos y el espacio entre -  
ellos.
- 9.- El potencial tubería a suelo de la es-  
trutura.

La resistividad del suelo que rodea al ánodo es la parte de mayor importancia que determina la salida de corriente. La salida de corriente de un ánodo galvánico tiene una relación inversa con la resistividad del suelo que la rodea siempre y cuando los otros factores sean constantes.

Por ejemplo, la salida de corriente de un ánodo de magnesio de 17 libras empacado y enterrado en un suelo de 1000 ohms-cm, protegiendo a una tubería desnuda de acero a 10 pies de distancia y con un potencial resultante de la estructura de 0.85 volts sería aproximadamente de 150 miliampers. Si estuviera enterrada en un suelo de 2000 ohms-cm, la salida de corriente del ánodo sería aproximadamente de 75 miliampers; mientras que en un suelo de 500 ohms-cm sería más o menos de 300-miliampers.

Las siguientes fórmulas y tablas son utilizadas para estimar aproximadamente la salida de co-

corriente anticipada de los ánodos de magnesio o de zinc, suponiendo una distancia aproximada entre ánodo y estructura de 10 pies, la resistividad del suelo superior de 500 ohms-cm, donde la estructura que se va a proteger está sin recubrir o con un recubrimiento deficiente.

Los factores de corrección y de la tabla V-2 tienen como objeto corregir la salida de corriente para valores anticipados de potencial tubería a suelo distintos de 0.85 volts a la estructura que se protege:

$$i_m = \frac{150,00 fY}{P}; \quad i_z = \frac{50,000 fY}{P}$$

$i_m$  = salida de corriente para el ánodo de magnesio, miliamperes.

$i_z$  = salida de corriente para el ánodo de zinc, miliamperes.

P = resistividad del suelo, ohms-cm.

f = factor de la tabla V-1.

Y = factor de corrección del potencial tubería a suelo, valores de la tabla V-2.

Cuando la estructura tiene un buen recubrimiento la salida de corriente del ánodo será inferior a la salida anticipada de una estructura desnuda. La resistencia de la estructura recubierta a tierra es más alta y debe considerarse dentro de la resistencia total del circuito. Pa-

ra estimar la salida de corriente en una línea -- bien protegida, las constantes anteriores 150,000 y 50,000 se transforman en 120,000 y 40,000 respectivamente. Lo anterior supone un promedio de 20% menos en la corriente de los ánodos.

Las salidas de corrientes mayores para un determinado peso de ánodo, pueden obtenerse aumentando su área superficial por libra de ánodo. De hecho la longitud del ánodo afecta principalmente la salida de corriente, así mientras afecta su vida. En la tabla V-1, se hace evidente, comparando los factores  $f$  de 9 libras de ánodo estándar con el ánodo largo de 10 libras, el ánodo de 17 libras estándar con el ánodo extra largo de 20 libras.

Para ilustrar un ejemplo: se tiene la salida de corriente anticipada aproximada para un ánodo de zinc empacado de 32 libras, enterrado en un suelo de 750 ohms-cm para la protección de una tubería desnuda, cuando el potencial resultante esperado de tubería a suelo es de -0.85 volts es:

$$i = \frac{50,000 f Y}{p}$$

$$i = \frac{50,000 \times 1.06 \times 1}{750} = 70.7 \text{ ma}$$

Para las instalaciones de ánodos múltiples, la salida de corriente total puede determinarse calculando la salida de un solo ánodo y multiplicándolo por el factor de ajuste apropiado, que se encuentra en la tabla V-3.

Peso del ánodo en libras	factor f
3 (empacado)	0.53
5 (empacado)	0.60
9 (empacado)	0.71
17 (empacado)	1.00
32 (empacado)	1.06
50 (empacado-dimensión del ánodo 8x16 - pulg.)	1.09
50 (empacado-dimensión del ánodo 5x5x31 pulg.)	1.29
<b>Anodos largos</b>	
9 (2.75x2.75x26 pulg. soporte 6x31 pulgs.)	1.01
10 (1.5x1.5x72 pulg. soporte 4x78 pulg.)	1.71
18 (2x2x72 pulg. soporte 5x78 pulg.)	1.81
20 (2.5x2.5x60 pulg. soporte 5.x66 pulg.)	1.60
40 (3.75x3.75x60 pulg. soporte 6.5x66 pulg)	1.72
42 (3x3x72 pulg. soporte 6x78 pulg.)	1.90
<b>Anodos extralargos</b>	
15 (1.6 pulg de diametro x 10 pies sopor- te de 6 pulg. de diametro).	2.61
20 (1.3 pulg. x 20 pies soporte de 6 pulg. de diámetro)	4.28
25 (2 pulg. de diámetro x 10 pies soporte de 8 pulg. de diámetro)	2.81

Tabla V-1

P/S	Magnesio	Zinc
-0.70	1.14	1.60
-0.80	1.07	1.20
-0.85	1.00	1.00
-0.90	0.93	0.80
-1.00	0.79	0.40
-1.10	0.64	0.00
-1.20	0.50	0.00

Tabla V-2 "Y" Factores de corrección.

No. de ánodos en paralelo	Factores de ajustes espacios de los ánodos(pies)			
	5	10	15	20
2	1.839	1.920	1.946	1.964
3	2.455	2.705	2.795	2.848
4	3.036	3.455	3.625	3.714
5	3.589	4.188	4.429	4.563
6	4.125	4.902	5.223	5.411
7	4.652	5.598	6.000	6.232
8	5.152	6.277	6.768	7.036
9	5.670	6.964	7.536	7.875
10	6.161	7.643	8.304	8.679

Tabla V-3

Basada en la fórmula de E. Sunde, para la resistencia de la tierra de los ánodos múltiples usando ánodos empacados de 17 libras en paralelo para cálculos aproximados la tabla V-3 es aplicable para todo tamaño de ánodos.

Otro ejemplo sería; si una cama de magnesio de cuatro ánodos estándar, empacados de 17 libras y espaciados a 10 pies de distancia, se va a instalar para proteger una tubería perfectamente recubierta en un suelo cuya resistividad es de 2000 ohms-cm y basada en un valor de potencial tubería a suelo de -1.0 volts, la salida de corriente estimada es de:

$$i = \frac{120,000 f Y}{p}$$

para un solo ánodo (tubería recubierta):

$$i = \frac{120,000 \times 1 \times 0.79}{2000} = 47.4 \text{ ma}$$

De la tabla V-3, el factor para cuatro ánodos paralelos a 10 pies de espaciamiento, se tiene que es 3.455 por lo tanto la salida estimada de la cama es:

$$i = 47.4 \times 3.455 = 163.8 \text{ ma}$$

Las fórmulas y las tablas anteriores solo deben utilizarse como una guía para estimar las salidas de corriente de los ánodos galvánicos. Debido a las muchas variables que intervienen, las salidas de corriente reales solo pueden obtenerse

nerse por medidas hechas siguiendo las instalaciones de los ánodos, las salidas de corriente -- normales de los ánodos se miden después de que se ha llegado a un equilibrio con el medio ambiente.

Al diseñar instalaciones adecuadas de ánodos galvánicos es importante determinar el requerimiento de corriente para la protección de la estructura que se considera. Esto puede llevarse a cabo con una cama subterránea temporal y un acumulador de baterías, dicha cama puede ser de una sola barra de prueba enterrada y unida a un sistema más complejo dependiendo de la resistividad del suelo y de la magnitud de la corriente que se requiere para una buena determinación. Una vez conocido el valor de la corriente necesaria para hacer la protección, entonces puede seleccionarse el tipo, tamaño y número de ánodos empleando las fórmulas anteriores.

Las instalaciones de ánodos galvánicos deben diseñarse para una salida mínima de 10 años cuando se trata de una estructura permanente, para tuberías lejanas a la costa otras estructuras inaccesibles es común diseñar sistemas de ánodos para 30 o 40 años de vida.

La selección del tipo de ánodo galvánico que se utiliza en la protección catódica es un problema económico, el costo por libra de magnesio es aproximadamente el doble que el del zinc; el magnesio cuyo potencial de trabajo es más alto produce mayores corrientes y debido a esto se consume más rápidamente, en un medio de resistividad del suelo fija el magnesio se consumirá 2.5 más rápi-

damente que el del zinc. Sin restricción en el circuito el costo del magnesio será por lo tanto cinco veces más que el del zinc; mientras que un ánodo de zinc puede proporcionar la protección necesaria, el magnesio estaría sobreprotegiendo a la estructura lo que da como resultado un desperdicio de potencia, sin embargo la salida de corriente y el voltaje de trabajo son los factores limitantes de los ánodos de zinc.

El uso de los ánodos de zinc, que es por lo general más económico cuando las resistividades de los suelos son inferiores a 1000 ohms-cm, siempre que los requisitos de corriente no sean demasiado altos y pueda obtenerse la salida deseada, la resistividad de los suelos en muchas áreas es demasiado alta para pensar en el uso de zinc, lo cual es el motivo de que el magnesio sea el más empleado para la protección catódica.

Los ánodos de zinc encuentran un uso más amplio en la protección de estructuras en ambientes marinos o salinos, el zinc es el metal que se utiliza más en los ánodos de tipo brazaletes para la protección de tuberías lejanas a la costa.

La instalación de ánodos galvánicos es bastante simple, pueden instalarse en forma individual o en múltiplos de hasta 10 o más en paralelo. Pueden instalarse en una zanja abierta durante la construcción de la tubería; ánodos múltiples paralelos a la estructura a distancias de 5 a 25 pies o en ánodos múltiples perpendiculares a la tubería; mientras más cerca se instalen a la estructura los ánodos menor será la resistencia del

circuito y menor será la salida de corriente. La distribución de corriente sin embargo será más baja mientras más alejados estén los ánodos múltiples perpendiculares mayor será la resistencia del circuito, menor será la salida de corriente pero se podrá obtener una mayor distribución de corriente.

Obviamente existen limitaciones en cada método de instalación, la configuración, espaciamiento y distancia entre los ánodos y la tubería están determinados por varios factores que son: longitud y diámetro de la tubería que se protege, resistividad del suelo, condiciones del recubrimiento, tipo de ánodos empleados y derechos de propiedad; lo más común es que los ánodos galvánicos se instalen sobre el derecho de vía de la tubería.

Los alambres del anodo en las conexiones deben estar completamente enterrados; o bien la conexión entre los ánodos y la tubería, pueden hacerse sobre la superficie de la tierra a través de un receptáculo que utiliza una derivación de 0.01 ohms en el circuito para medir la salida de corriente.

Este último método permite un mejor control de la vida de ánodos en lo que respecta a salida de corriente, vida anticipada y tiempo de falla. A menudo este método es impráctico e ineconómico. Donde se emplean numerosos ánodos como en los sistemas de recolección y distribución de gas. Cuando los ánodos y los alambres están totalmente enterrados, el control de la vida del ánodo se lleva a cabo mediante pruebas de potencial tubería a suelo.

En años recientes se han empleado ánodos de zinc para tierras eléctricas en lugar de cobre en los casos en que se encuentran próximas tuberías de acero o de otros metales propensos a la corrosión y en conexión metálica a los sistemas de tierra, como sucede en las estaciones de compresoras y torres de comunicación.

La principal ventaja del zinc, es que los graves problemas de corrosión inherentes a un sistema de tierra con cobre se eliminan, más aún los requisitos de corriente para protección catódica de las estructuras subterráneas, inclusive la protección de los sistemas de tierra como zinc se reducen en forma drástica.

El resultado produce costos de operación, instalación y mantenimiento más bajos en las instalaciones de protección. Es importante verificar periódicamente la efectividad del sistema del zinc, ya que, el zinc es vulnerable a la corrosión si la protección catódica falla o se hace inadecuada para proteger el zinc.

b) Camas rectificadoras.- Este segundo método de aplicar la protección catódica a las estructuras metálicas es por medio de corrientes impresas de una fuente externa. Una instalación típica de una cama rectificadora utiliza un suministro corriente alterna. La fuente alterna de potencia está proporcionada por una unidad generadora movida por gas, un generador termoeléctrico, un generador de viento o cualquier otra forma de las que actualmente se conocen. Por lo general estos solo se utilizan en áreas donde no se dispone de -

suministro de potencia AC. (Figura V-3).

Este método está basado en rectificadores ya que constituye el mayor porcentaje del método de corrientes impresas para aplicar la protección catódica; sin embargo, gran parte del análisis es aplicable a cualquier otro método que se utiliza para producir una corriente impresa.

Las principales ventajas del método de camas rectificadoras para aplicar la protección catódica son:

- 1.- Voltaje de trabajo más altos.
- 2.- Mayores salidas de corriente.
- 3.- Son aplicables en casi todas las resistividades de suelo.
- 4.- Hay flexibilidad en el control de salida de corriente.
- 5.- Son aplicables a estructuras desnudas y con recubrimientos defectuosos.
- 6.- Protegen estructuras mayores y más expansivas.

Las desventajas de este método son:

- 1.- Mayor costo de instalación.
- 2.- Mayor costo de mantenimiento.
- 3.- Costos de energía mensuales.
- 4.- Problemas de interferencia con líneas foráneas.

En el método de camas rectificadoras se desarrolla a propósito una celda electrolítica en la

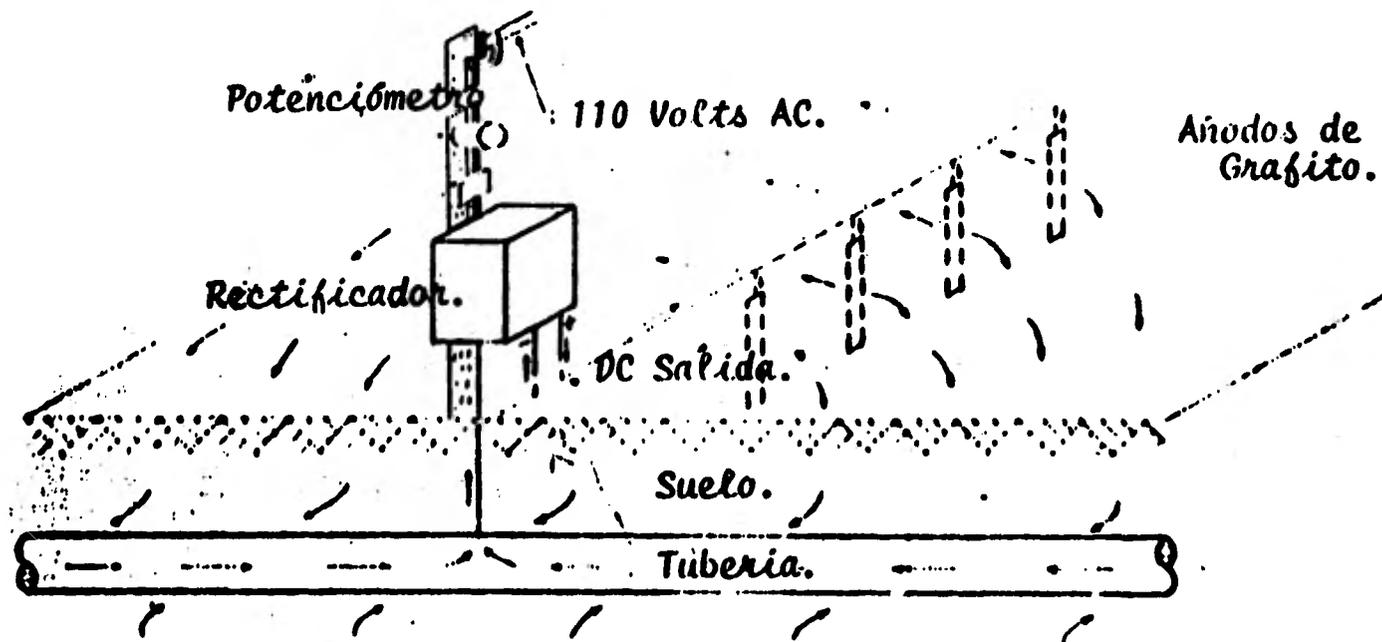


Figura V-3 Protección catódica-camas rectificadoras.

cual la estructura que se va a proteger es el cátodo y la cama del rectificador el ánodo. Las camas están formadas por varios ánodos en paralelo de grafito, carbón, duridón o metal de desperdicio, a medida que se imprime corriente a la tierra en la cama se consumen los ánodos, puesto que la estructura está conectada al polo negativo del rectificador, éste recibe la corriente del suelo y está protegido. La corriente protectora del rectificador se ajusta para superar las corrientes de corrosión de menor intensidad que tratan de salir de los puntos anódicos en una tubería.

El rectificador dispone de un suministro de potencia AC medida por un medidor de potencia en kilowatts-hora, se instala una caja de interruptores en el circuito AC que contiene algún contacto térmico o magnético para romper el circuito y proteger el rectificador contra las sobrecargas y las ondas irruptivas. La corriente alterna se dirige a la unidad del rectificador, donde un transformador de reducción disminuye el voltaje y un elemento de rectificación transforma la corriente alterna en una corriente pulsante unidireccional. Estos elementos de rectificación están formados por celdas de óxido de cobre, celdas de selenio o diodos de silicio. La corriente directa pulsante va desde la terminal positiva DC del rectificador hasta la cama de tierra donde se imprime sobre el suelo. La corriente emigra a través del suelo y entra en la tubería bajo el efecto del rectificador, la tubería es el retorno negativo del circuito de la celda de electrólisis.

Los ingenieros en corrosión utilizan tres -

sistemas principales de camas de tierra, en cada sistema los ánodos pueden instalarse verticalmente u horizontalmente:

1) Cama remota o de punto.- Las camas están instaladas en un punto remoto de la estructura - que se protege, este tipo de cama se utiliza tanto en tuberías desnudas como recubiertas; cuando se desea obtener una gran dispersión de la corriente protectora, el primer ánodo de la cama debe estar localizado entre 100 a 1000 pies de distancia de la tubería o estructuras que se protege. Cuando la tubería está mal protegida se utilizan mayores distancias a los primeros ánodos, mientras que, los recubrimientos de las estructuras son buenos y suficientes las distancias son más cortas. Aunque con este método se obtiene una mayor distribución de la corriente protectora, los problemas de interferencia con líneas foráneas son más complejos y los costos de vía en otras propiedades pueden ser más altos.

Las instalaciones de pozos profundos se consideran también como camas remotas, se han utilizado camas hasta a 1000 pies de profundidad; el pozo profundo presenta ventajas cuando hay problemas de propiedad, cuando se encuentran limitaciones en la resistividad del suelo cerca de la superficie de la tierra y la interferencia anódica con líneas foráneas es crítica al utilizar la cama remota convencional.

Con los pozos profundos se encuentran ciertas desventajas que limitan su uso a un método selectivo y no convencional.

Las camas de pozos son normalmente más costosas de instalar, la mayoría de las camas profundas son difíciles de reparar o revisar cuando se presentan fallas, su resistencia a la tierra es menos previsible que las camas convencionales.

Las pruebas de requerimientos de corriente preliminares no pueden hacerse exactamente a mano que se taladren perforaciones piloto y se inserten ánodos temporales, así mismo se producen aumentos graduales en la resistencia del circuito y reducción de salida de corriente debida al bloqueo con gas, preferencialmente el ataque corrosivo de los ánodos o por la formación de un producto de polarización anódica de alta resistencia sobre los ánodos. Se ha hecho uso de dispositivos de ventilación que no han dado muy buenos resultados, se ha tenido más éxito en controlar el bloqueo por gas y evitar las fallas prematuras de los pozos operando los ánodos a densidades de salida de corriente más baja. Esto requiere el uso de un mayor número de ánodos para un requisito determinado de corriente. Se han utilizado con éxito como ánodos, tuberías abandonadas de pozos o rieles que reducen el costo de un sistema de pozos profundos.

2) Cama de ánodos distribuídos.- Este método es empleado en forma efectiva en la protección de tuberías y estructuras geométricas complejas que se encuentran en estaciones de compresoras de bombas, instalaciones de tanques, terminales de tuberías y refinerías. Los ánodos están distribuidos en diversos puntos en un patrón no geométrico para evitar el efecto de protección de una estructu

ra, por otra parte se requiere una menor corriente de protección para llegar a la protección completa que con otros métodos.

Generalmente se requieren más ánodos para estructuras enterradas desnudas. Una de las ventajas del sistema distribuido sobre los otros métodos es que hay una mínima interferencia. A menudo este método se utiliza en conjunción con otros sistemas por ejemplo: con pozos profundos, con instalaciones de tanques y compresoras. La cama de pozos profundos protege a la mayoría de las estructuras, mientras que, los ánodos distribuidos del mismo rectificador protegen las áreas que han quedado ocultas.

3) Camas de tipo paralelo.- Este tipo de camas pueden instalarse como ánodos en paralelo y muy cercanos a la estructura que se protege. Los ánodos son instalados sobre una capa continua o semicontinua de coque en forma horizontal; también se han utilizado con gran éxito ánodos de corrientes impresas empacados e instalados en forma horizontal. Las camas en paralelo es una forma efectiva para tuberías desnudas, en atmósfera altamente corrosivas donde los requerimientos de corriente son extremadamente altos, las resistividades de los suelos excesivas y cuando las líneas foráneas se encuentran cerca de la estructura que se protege hacen de la interferencia un grave problema. El costo de instalación es aproximadamente el doble del equivalente de una cama de tipo remota; pero, debido a la baja resistencia del circuito de los rectificadores el costo de la potencia para un requerimiento de corriente es una-

fracción de la cama remota. El diseño de camas-paralelas es menos costoso ya que, se requieren - hacer muy pocos números de pruebas.

En cada uno de los métodos anteriores, los ánodos son normalmente instalados sobre pedacería de coque transformandose en un ánodo efectivo más grande que disminuye la resistencia del ánodo a tierra. La pedacería de coque prolongará la vida del ánodo y suministrará el medio permeable para el desprendimiento de los gases generados. Una práctica que cada día se hace más popular, es la de empacar previamente los ánodos de grafito o de duridón en tuberías de paredes delgadas o ductos-antes de instalarlos; esto es particularmente ven tajoso donde se encuentran perforaciones lodosas-que impiden la colocación adecuada de la pedace-ría de coque; también elimina la necesidad de - - transportar la pedacería de coque al lugar de trabajo.

Al diseñar sistemas rectificadores de camas-deben considerarse los siguientes factores:

- a) Tipo y condición de la estructura.
- b) Resistividad del suelo.
- c) Requerimientos de corriente.
- d) Accesibilidad.
- e) Equipo y material necesario.
- f) Disponibilidad de un suministro de potencia.
- g) Derechos de propiedad.
- h) Problemas de interferencia con líneas forráneas.

En el diseño de camas rectificadoras debe con

siderarse principalmente el tipo y la condición de la estructura esté recubierta o nó. La condición del recubrimiento, el tamaño y longitud de la estructura a proteger y la continuidad eléctrica de la misma son algunos de los factores primarios a considerar. La siguiente consideración es la disponibilidad de suministro de potencia y derechos de propiedad, si se dispone de dicho suministro de potencia y asegurando tentativamente los derechos de propiedad, pueden hacerse pruebas para diseñar el sistema de cama rectificadora, llevándose a cabo una serie de pruebas de resistividad del suelo donde se colocará la cama. Las pruebas del suelo sirven para determinar también a que profundidad se colocarán los ánodos, así como instalación vertical u horizontal. Por lo general la resistividad del suelo es el factor a controlar en la localización de una cama, siempre que se cuente con la potencia adecuada y se tengan los derechos de propiedad.

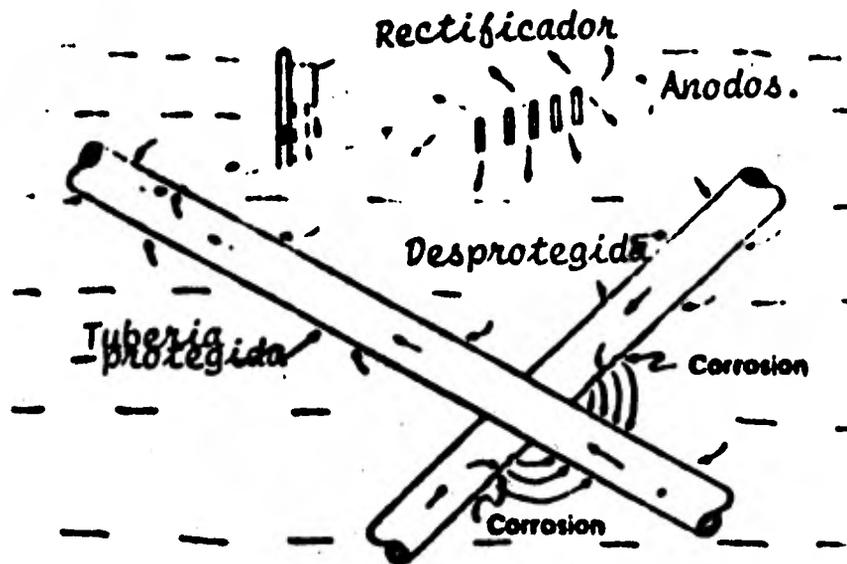
Una vez que se ha establecido el lugar para la colocación de la cama, se llevan a cabo pruebas de requerimientos de corriente, empleando para ello una cama temporal y utilizando un generador portátil DC o un acumulador de baterías como fuente de corriente llevándose a cabo pruebas de potencial tubería a suelo en varios puntos, estando conectada y desconectada la corriente de prueba procedente de la cama a intervalos regulares. Los cambios de voltaje por unidad de amperaje dará la indicación aproximada de corriente requerida para lograr los potenciales de protección deseados.

Instalada la cama temporal se llevan a cabo pruebas de interferencia con estructuras foráneas que afectan la corriente de protección; si se encuentra que hay interferencia es fácil relocalizar la cama de tierra, si la interferencia con estructuras foráneas es moderada puede contrarrestarse con enlaces de resistencia como se presenta en la figura V-4, es así como puede determinarse la cantidad aproximada de corriente desperdicio requerida para las estructuras. La suma de la corriente necesaria para evitar la interferencia de las estructuras foráneas y el requerimiento aparente de corriente determina el requerimiento total de corriente requerida para la protección de la estructura original.

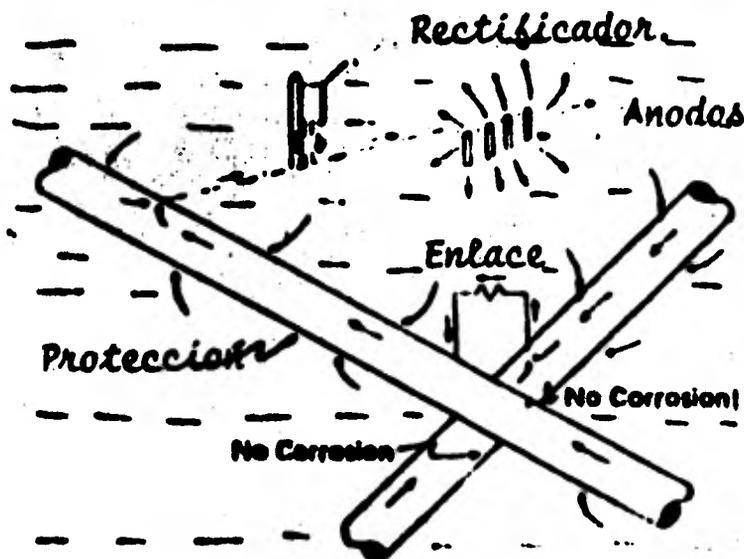
Mientras que la cama temporal es acondicionada es aconsejable determinar la resistencia estructura a suelo particularmente sobre cubiertas-buenas o tuberías que tengan recubrimientos; ésto puede ser dado por la interrupción de la corriente impresa de la cama y midiendo el potencial tubería a suelo en el punto de drene, la resistencia estructura a suelo es el cambio en el potencial tubería a suelo entre la corriente de prueba. Con los requerimientos de corriente establecidos la cama debe ser diseñada para una baja resistencia al circuito tanto como sea posible, mediante un voltaje mínimo a fin de manejar la corriente protectora requerida. Así mismo, a más baja resistencia del circuito menor es el costo inicial del rectificador y subsecuentemente el consumo de corriente.

La resistencia del circuito de un rectifica-

dor consiste en una serie de resistencias figura V-5; en la que se observe que la resistencia de control es la resistencia cama a tierra, la cual se determina mediante fórmulas empíricas proporcionándonos una aproximación de sus valores que nos sirven de guía.



(A)



(B)

Figura V-4.- Interferencia entre estructuras (A), enlaces de resistencia (B).

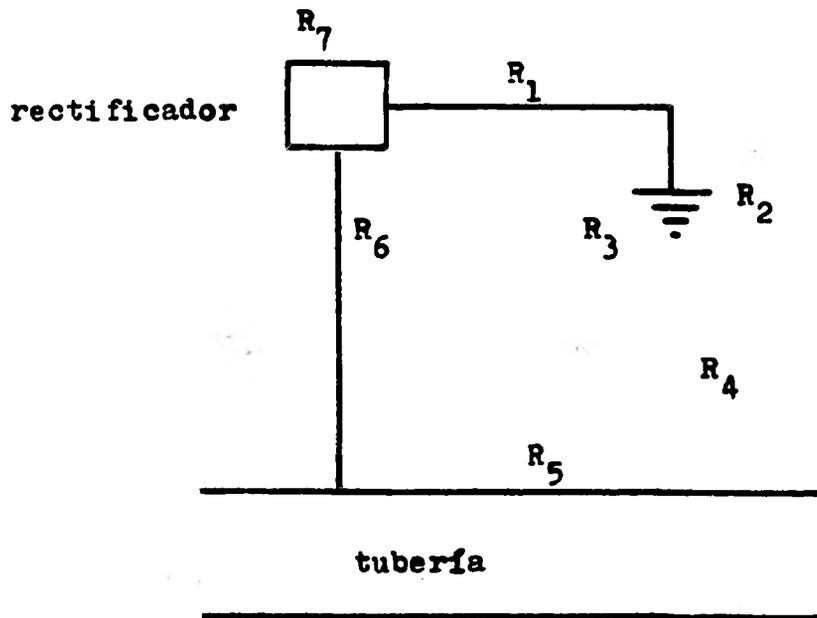


FIGURA V-5.- Resistencia total del circuito de un rectificador

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$

$R_T$  = Resistencia total del circuito

$R_1$  = Resistencia del circuito

$R_2$  = Resistencia del cable positivo

$R_3$  = Resistencia del suelo

$R_4$  = Resistencia estructura a suelo

$R_6$  = Resistencia del rectificador

$R_7$  = Resistencia interna del rectificador.

Las siguientes fórmulas son empleadas para estimar la resistencia e instalar a tierra un ánodo vertical u horizontal. Las dimensiones de los ánodos verticales son de 8 a 12 pulgadas de diámetro y 10 pies de largo, en tanto que las dimensiones del ánodo son de 12 pulgadas cuadradas de sección transversal y de 4 a 6 pies de profundidad.

$$R_v = \frac{PF}{537}, R_h = \frac{PF}{483}$$

$R_v$  = Resistencia a tierra del ánodo vertical, ohms.

$R_h$  = Resistencia a tierra del ánodo horizontal, ohms

P = Resistividad del suelo, ohms-cm

F = Factor de ajuste para ánodos múltiples, tabla V-4.

La tabla V-4 nos da el factor de ajuste cuando se emplean ánodos múltiples paralelos en la cama. Deberá notarse que las dimensiones del ánodo son para todas longitudes y diámetros incluyendo el soporte terminal. Para  $R_v$ ,  $R_h$  y el factor de ajuste de las tablas están basadas en las ecuaciones de E. D. Sunde y H. B. Dwight. Para las dimensiones y otros parámetros de los ánodos como los que se muestran a continuación, las siguientes formas desarrolladas de las ecuaciones pueden ser empleadas.

La ecuación de E. D. Sunde para la resistencia de la tierra usando ánodos múltiples verticales es:

**FACTORES DE AJUSTE PARA ESPACIAMIENTO DE  
ANODOS EN PIES.**

<b>NO. DE ANODOS EN PARALELO</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
2	0.652	0.576	0.551	0.538	0.530
3	0.586	0.460	0.418	0.397	0.384
4	0.520	0.385	0.340	0.318	0.304
5	0.466	0.333	0.289	0.267	0.253
6	0.423	0.295	0.252	0.231	0.218
7	0.387	0.265	0.224	0.204	0.192
8	0.361	0.243	0.204	0.184	0.172
9	0.332	0.222	0.185	0.166	0.155
10	0.311	0.205	0.170	0.153	0.142
11	0.292	0.192	0.158	0.141	0.131
12	0.276	0.180	0.148	0.132	0.122
13	0.262	0.169	0.139	0.123	0.114
14	0.249	0.160	0.131	0.116	0.107
15	0.238	0.152	0.124	0.109	0.101
16	0.226	0.144	0.117	0.103	0.095
17	0.218	0.138	0.112	0.099	0.091
18	0.209	0.132	0.107	0.094	0.086
19	0.202	0.127	0.102	0.090	0.082
20	0.194	0.122	0.098	0.086	0.079
22	0.182	0.114	0.091	0.079	0.073
24	0.171	0.106	0.085	0.074	0.067
26	0.161	0.100	0.079	0.069	0.063
28	0.152	0.094	0.075	0.065	0.059
30	0.145	0.089	0.070	0.061	0.056

TABLA V-4

$$R_v = \frac{P}{191.5NL} \left( 2.303 \log \frac{4L}{a} - 1 + \frac{2L \times 2.303 \log.}{s} \right)$$

$R_v$  = Resistencia de la tierra a los ánodos verticales, ohms

$P$  = Resistividad del suelo, ohms-cm

$N$  = Número de ánodos paralelos

$L$  = Longitud del ánodo: incluyendo el soporte, -- pies.

$a$  = Radio del ánodo incluyendo el soporte, pies.

$s$  = Espaciamiento de los ánodos, pies.

La ecuación de H. B. Dwight es para la resistencia de la tierra para un solo ánodo horizontal:

$$R_h = \frac{0.00522P}{L} \left( 2.303 \log. \frac{4L}{d} + 2.303 \log \frac{L}{h} + \frac{2h-2}{L} \right)$$

$R_h$  = Resistencia de la tierra al ánodo horizontal, ohms

$P$  = Resistividad del suelo, ohms-cm

$L$  = Longitud del ánodo, pies

$d$  = Diámetro del ánodo incluyendo el soporte, pies

$h$  = Profundidad de la superficie al centro del -- ánodo, pies

Para la resistencia de la tierra a varios -- ánodos horizontales es necesario multiplicar  $R_h$  -- por el factor de ajuste de la tabla V-4

Después de determinar la resistencia de la --

cama a suelo, el valor negativo en ohms del conductor positivo de la cama y la tubería se añade a  $R_v$  y a  $R_h$  para dar el valor aproximado de la resistencia del circuito del rectificador.

Para determinar la resistencia del conductor positivo, la resistencia total del alambre conectado al polo positivo del rectificador al primer ánodo se le añade la mitad de la resistencia total del alambre entre el primero y último ánodo. La resistencia del cable negativo es el total del alambre entre la conexión de la tubería y la terminal negativa del rectificador.

La resistencia del rectificador puede ser omitida en el buen diseño de la unidad, así como la resistencia de la tubería dentro del espacio de protección, a menos que se trate de un diámetro muy pequeño del tubo donde la resistencia puede ser apreciable. En tubos de retención de pozos o en tuberías bien recubiertas debe considerarse la resistencia estructura a tierra ya que puede llegar a formar un porcentaje apreciable de la corriente del circuito. La resistencia de la estructura a tierra se suma a la resistencia de la cama a suelo y la resistencia del cable total para obtener así la resistencia estimada del circuito de una unidad.

Cuando las camas se diseñan en suelos de baja resistividad y la ecuación de diseño indica la presencia de unos ánodos, el factor que controla el número de ánodos instalados es la salida de corriente máxima permitida. La mayoría de los fabricantes de ánodos recomiendan una salida de co-

corriente específica para un ánodo dependiendo del tipo y tamaño. Cuando se excede este valor la vida de la cama se reduce considerablemente. Para ánodos de tamaño común de 3 por 60 pulgadas de grafito y 2 por 60 pulgadas de hierro fundido al alto silicio en pedazería de coque nivelada es aconsejable un máximo de 3 amperes por ánodo.

Un sistema práctico que con frecuencia se utiliza para obtener la resistencia del circuito es la de instalar el rectificador completo con su ministro de potencia antes de la colocación de la cama. A medida que se instala cada ánodo de la cama se conecta la potencia y se calcula la resistencia del circuito leyendo el amperaje DC y voltaje aplicando la ley de Ohm. Cuando se llega al valor deseado de la resistencia se suspende la instalación de ánodos. Este sistema es particularmente útil cuando se reemplazan las camas en rectificadores ya existentes.

Para instalaciones iniciales es necesario hacer pruebas básicas de diseño para determinar el número de ánodos que van a utilizarse con el fin de estimar el costo del trabajo y los materiales necesarios para el mismo.

Cuando se encuentran dificultades para predecir la resistencia del circuito del rectificador, como sucede en suelos de alta resistividad, en camas de tipo pozo profundo y en camas paralelas; a menudo, es deseable instalar primero la cama aplicando corriente de prueba medida por medio de un acumulador de baterías o un generador DC y midiendo el voltaje puede calcularse la resisten-

cia real del circuito. Con los requerimientos de corriente que se conocen puede seleccionarse - el tamaño adecuado del rectificador, el cual normalmente deberá tener una capacidad mayor a los valores de diseño para líneas recién construídas, en virtud de que se necesita una potencia adicional cuando el suelo se compacta y el recubrimiento se deteriora o bien cuando se hacen adiciones a las instalaciones ya existentes.

Al planear una instalación debe considerarse la facilidad de acceso al lugar donde se encuentra el rectificador, ya que, el medidor de potencia debe revisarse a intervalos regulares, debiéndose hacer inspecciones periódicas y llevar a cabo trabajos de mantenimiento.

La selección del material y del equipo es -- muy importante para una instalación adecuada del rectificador. Los siguientes puntos son algunas de las consideraciones de mayor importancia que deben tomarse en cuenta:

- a) Selección de un rectificador de diseño y capacidad adecuados.
- b) Selección del cable a la cama, tamaño adecuado provisto de aislante especial para instalaciones subterráneas y para protección catódica.
- c) Selección adecuada del tipo, tamaño, número correcto de ánodos dando especial atención a las condiciones y naturaleza del suelo.

- d) Conexión adecuada del ánodo al cable - principal y selección del material aislante para obtener juntas perfectas y durables.
- e) Selección de la pedacería de coque, tamaño, y resistividad adecuadas.
- f) Equipo para nivelar en forma correcta la pedacería de coque.
- g) Colocación a suficiente profundidad de los cables para evitar daños causados por las lluvias.
- h) Contacto adecuado del cable negativo a la estructura que se protege.
- i) Instalación apropiada del rectificador - considerando la instalación de tierra y otras medidas de seguridad y protección.
- j) Conexión adecuada de cables positivos y negativos del rectificador.

### 3.- Requerimientos de corriente para la protección catódica.

Los requerimientos de corriente para la protección catódica de estructuras metálicas subterráneas dependen de los siguientes factores:

- a) El área desnuda de la estructura.
- b) La resistividad del suelo
- c) El efecto de polarización de la estructura.

#### 4.- Configuración geométrica de la estructura.

Varios estudios llevados a cabo por diversos investigadores han demostrado que se requiere entre 0.5 a 20 miliamperes de corriente para proteger un pie cuadrado de una superficie sin recubrir. La resistividad del suelo en que la estructura está enterrada, tiene una gran influencia sobre el requerimiento de corriente, en suelos de alta resistividad los requerimientos de corriente para la protección catódica será menor por pie cuadrado de estructura. En suelos normales se necesitan de 0.5 a 3 miliamperes de corriente por pie cuadrado de superficie metálica sin recubrir; en agua de mar y en suelos de muy baja resistividad los requerimientos de corriente variarán de 3 a 20 miliamperes por pie cuadrado de tubería desnuda, dependiendo de los factores de despolarización de las áreas protegidas.

En áreas de mucha aireación o puntos de agitación violenta, como la zona de salpicaduras de un equipo de perforación en alta mar los requerimientos de corriente para mantener la protección adecuada de una estructura serán mucho mayores por la rápida velocidad de despolarización de la superficie metálica; esto también, es cierto en cruces de ríos o caletas donde las tuberías están expuestas a la acción de las corrientes. Con frecuencia los requerimientos de corriente expuestos a la acción de los ríos, deben ser de cuatro a cinco veces más altos que las tuberías adyacentes enterradas al lecho del río o enterradas en el mismo lecho.

Los requerimientos de corriente en estructuras complejas son mucho más altos que en tuberías rectas debido a los efectos de protección inherentes. Parte de la estructura ocultará a otras partes atrayendo hacia sí una mayor cantidad de la corriente de protección disponible y evitando que llegue a las áreas protegidas suficiente corriente. A menudo en un sistema protegido en varios puntos, se requieren diez o veinte veces la corriente estimada para proteger en forma adecuada las partes de una estructura aún si se utilizan ánodos distribuidos, los requerimientos de corriente son mayores para la protección de estructuras de geometría compleja.

Para la protección catódica completa de estructuras recubiertas, los requisitos de corriente son considerablemente inferiores a los de estructuras desnudas; basándose en un potencial tubería a suelo de 1.000 volts. los requisitos de corriente varían entre 0.4 microamperes por pie cuadrado para tuberías que tienen excelentes recubrimientos, 4 a 8 microamperes por pie cuadrado para recubrimientos buenos, 8 a 15 microamperes por pie cuadrado para recubrimientos regulares y 15 microamperes o más para tuberías mal recubiertas o totalmente desnudas. La relación de requerimientos de corriente entre una estructura desnuda y una estructura bien recubierta a menudo alcanzan valores tan altos como 1000 a 1.

Un método alternativo para determinar los requerimientos de corriente para la protección catódica de una tubería recubierta, consiste en suponer un cierto porcentaje de tubería desnuda (casi - -

siempre el 1%), esto permite determinar el número de pies cuadrados equivalente en superficie de tubería que se supone desnuda y que se multiplica-- por una densidad de corriente entre 0.5 a 3 miliamperes por pie cuadrado para asegurar que se tengan los amperes de corriente requeridos. Obviamente este método no es tan exacto como la prueba real de requerimientos de corriente.

#### 5.- Criterios para la protección catódica.

La prueba de potencial tubería a suelo se ha establecido como una técnica de medida estandar en la evaluación de la protección catódica de la corrosión de estructuras metálicas subterráneas. La hemicelda de sulfato de cobre es la que más se utiliza como electrodo de referencia para hacer contacto con el suelo, principalmente cuando se prueban estructuras de acero. Normalmente los potenciales tubería a suelo de tubos de acero sin proteger varían entre 0.10 a 0.80 volts. Las diferencias en valores de potencial a lo largo de una tubería significan que las corrientes galvánicas fluirán a través del suelo entre los puntos anódicos y catódicos, dependiendo su magnitud de la resistencia del circuito, la caída de voltaje en las celdas galvánicas y los efectos de polarización. Si todos los potenciales tubería a suelo a lo largo de la tubería fueran iguales o si existieran resistencias de circuito infinitas, las corrientes galvánicas no fluirán y en consecuencia las estructuras no se corroerían. Es raro que se presenten estas condiciones, por lo general puede anticiparse que en estructuras subterráneas exis-

te un cierto grado de corrosión, la velocidad -- de corrosión dependerá de la magnitud de las corrientes galvánicas que fluyen, las cuales a lo largo del tiempo determinan el daño por corrosión resultante en una estructura enterrada.

Cuando se proporcionan suficientes contra -- corrientes procedentes de una fuente de protección a la sección que se corroe de una tubería para nulificar las corrientes de corrosión, los potenciales tubería a suelo en los puntos catódicos serán iguales a los potenciales tubería a suelo de los puntos anódicos. El punto de igualación del potencial general está cercano al potencial de circuito abierto del ánodo, Por ejemplo, si el potencial de circuito abierto tubería a suelo del punto anódico es -0.65 volts, la corrosión se retardará si el potencial del punto catódico alcanza este valor (se hace más negativo), este es un criterio básico para la protección de una estructura enterrada. Sin embargo es difícil determinar los potenciales del circuito abierto y los puntos de igualación en el campo.

Un segundo criterio que se aplica es el de obtener y mantener un potencial tubería a suelo de-0.85 volts o más negativo (utilizando un electrodo de referencia de sulfato de cobre) en la totalidad de la estructura que se va a proteger y al nivel de la superficie de la tubería. Por lo general el electrodo se coloca al nivel de la tierra directamente sobre la estructura pero puede producirse una disminución de la resistencia in --

terna a través del suelo entre el electrodo y la superficie de la tubería. Esto debe tomarse en cuenta cuando se tenga la fuente de protección catódica en suelos de alta resistividad. Este valor representa una sobreprotección en la mayoría de los casos, ya que, el punto de igualación del potencial es usualmente menos negativo de -0.80 volts, este es el valor más práctico y económico para estructuras recubiertas.

La localización de potenciales anódicos altos puede dar como resultado un gasto mayor que el proteger una estructura recubierta usando el criterio de -0.85 volts; para estructuras desnudas este criterio significa una pérdida de potencia y de mayor costo, los requerimientos de corriente suelen ser mayores a los necesarios para suprimir la corrosión.

Un tercer criterio que se emplea en la protección catódica es produciendo un cambio negativo en los potenciales tubería a suelo de 0.25 a 0.30 volts de los potenciales iniciales sin proteger. Este criterio es más aplicable a las estructuras desnudas o mal recubiertas de -0.85 volts; en particular, cuando los potenciales son menores de -0.5 volts debe considerarse la desiminución de la resistencia interna entre el electrodo y la superficie de la tubería lo que representa una sobreprotección, desperdicio de potencia y gastos injustificados.

Una técnica que a menudo se aplica en la pro

tección catódica de estructuras desnudas con buenos resultados es la protección en "puntos calientes", que requiere localizar los puntos anódicos en una tubería y aplicar la protección catódica.- Los puntos anódicos o puntos catódicos "calientes" se localizan investigando el potencial superficial justamente con las pruebas de resistividad de suelo e inspección de tuberías cuando se presentan fugas.

Recientemente se ha desarrollado una nueva herramienta para emplearse en las partes en que la tubería puede inspeccionarse en su totalidad cuando se encuentra en servicio, es un instrumento similar a un raspador que gira en la corriente del líquido de la tubería capaz de detectar en forma electrónica y registrar las reducciones en el espesor de la tubería o de las picaduras con una extraordinaria exactitud.

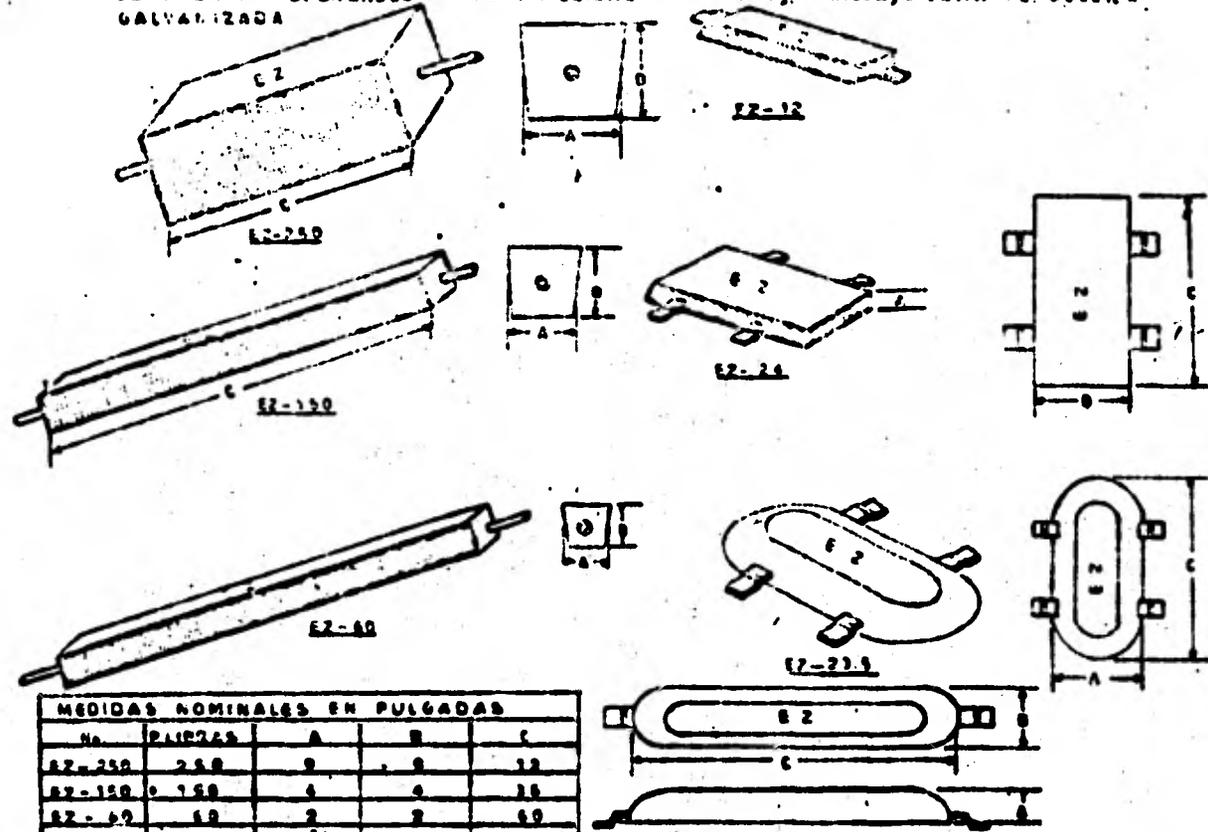
Tal como se indicó antes es importante la posición en que se coloque el electrodo de referencia, la posición ideal es sobre la estructura o cercana a ella sin hacer contacto con la misma.- Esto no es posible en la mayoría de las estructuras subterráneas, el electrodo puede localizarse sobre la tubería a un punto remoto de la superficie de la tierra. La mayoría de los técnicos prefieren localizar el electrodo de referencia cerca de la superficie de la tierra directamente sobre la superficie de la tubería, esto representa el punto más cercano y práctico a la posición ideal del electrodo, Sin embargo a menudo se emplea un electrodo remoto en particular si la estructura -

completa es inaccesible o en tuberías de pozos o en sistemas de distribución de gas.

Los especialistas en protección catódica emplean también otros criterios, un ejemplo de ellos es el criterio de corriente de tierra que emplea un instrumento especialmente diseñado para determinar los puntos anódicos o catódicos. Sin embargo este es otro método para determinar o verificar "puntos calientes".

Al seleccionar un criterio para protección catódica lo importante es escoger aquel que retardará la corrosión permitiendo al mismo tiempo alcanzar costos de instalación y mantenimiento razonables. La clave para el control efectivo de la corrosión consiste en reducir las fallas por corrosión al mínimo en una estructura utilizando protección catódica y cubiertas protectoras basándose siempre en estudios económicos bien fundamentados.

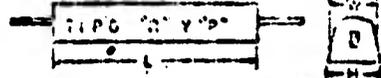
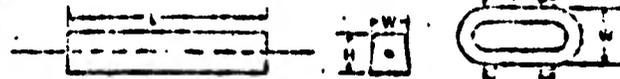
ANODO ELECTRO ZINC DE ZINC ELECTROLITICO DE 99.99% DE PURIFICA PARA PROTECCION CATORICA DE FABRICAN DIVERSOS Pisos Y MEDIDAS CON TUBO, VARILLA, O PASTIL DE SOLERA GALVANIZADA



MEDIDAS NOMINALES EN PULGADAS				
No.	PLACAS	A	B	C
EZ-250	250	9	9	12
EZ-150	150	4	4	16
EZ-60	60	2	2	60
EZ-12	12	1 1/4	3	12
EZ-20	20	2	6	12
EZ-22.5	22.5	1 1/4	6 1/2	16
EZ-40	40	2	4	20

® MARCA REGISTRADA LAMINADORA FOTO ZINC SA.  
LAMINADORA FOTO ZINC, S.A. DIV. PROTECCION CATORICA

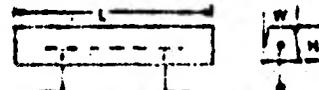
TIPO "E" ANODIA  
 "E" ALMA DE VARILLA  
 "R" VARILLA DE 1/2"  
 "P" TUCO DE 3/4"



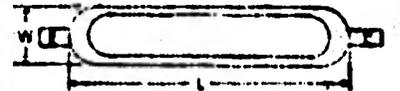
No.	PESO	L	W	H	TIPO
A-240	240	24"	10"	10"	"A"
A-175	175	18"	7"	7"	"A"
A-120	120	12"	10"	10"	"A"
A-120-1	120	24"	7"	7"	"A"
A-120-2	120	40"	5"	5"	"A"
A-100	100	18"	4"	4"	"A"
A-80	80	18"	4"	4"	"A"
A-60-1	60	12"	7"	7"	"A"
A-60-2	60	18"	5"	5"	"A"
A-30	30	18"	3"	3"	"A"

No.	PESO	L	W	H
MM-1-43	21	46"	2"	2"
MM-1-44	25	60"	2"	2"
MM-1-53	30	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-1-61	39	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-1-93	48	60"	3"	3"

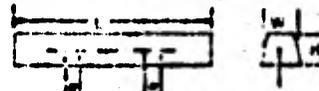
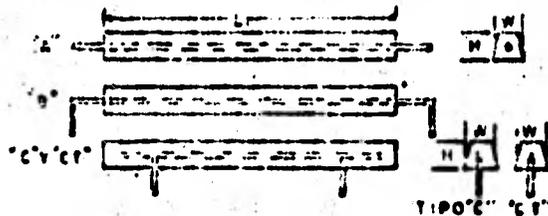
No.	PESO	L	W	H
AA-2-10H	10	14"	5 1/2"	1 1/2"
AA-2-32H	32	20"	10"	2"
AA-1-12H	12	14"	4 1/2"	2 1/4"
AA-1-20H	20	14"	4 1/2"	2 1/4"



No.	PESO	L	W	H
MM-11-B-43	21	48"	2"	2"
MM-11-B-44	25	60"	2"	2"
MM-11-B-63	30	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-11-B-64	33	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-11-B-93	45	60"	3"	3"



No.	PESO	L	W	H
G-1-29H	29	26"	5"	2 1/2"
G-1-23H	23	24"	5"	2 1/2"
G-2-15H	15	21 1/2"	5"	1 1/2"



No.	PESO	L	W	H	TIPO
A-375	375	0"	6 1/2"	6 1/2"	"A"
A-725	725	0"	9 1/2"	9 1/2"	"A"
B-365	325	0"	6 1/2"	6 1/2"	"B"
B-610	325	0"	6 1/2"	6 1/2"	"B"
C-365	325	0"	6 1/2"	6"	"C"
C-665	370	0"	6 1/2"	6 1/2"	"C"
CT-640	725	0"	6 1/2"	6 1/2"	"CT"

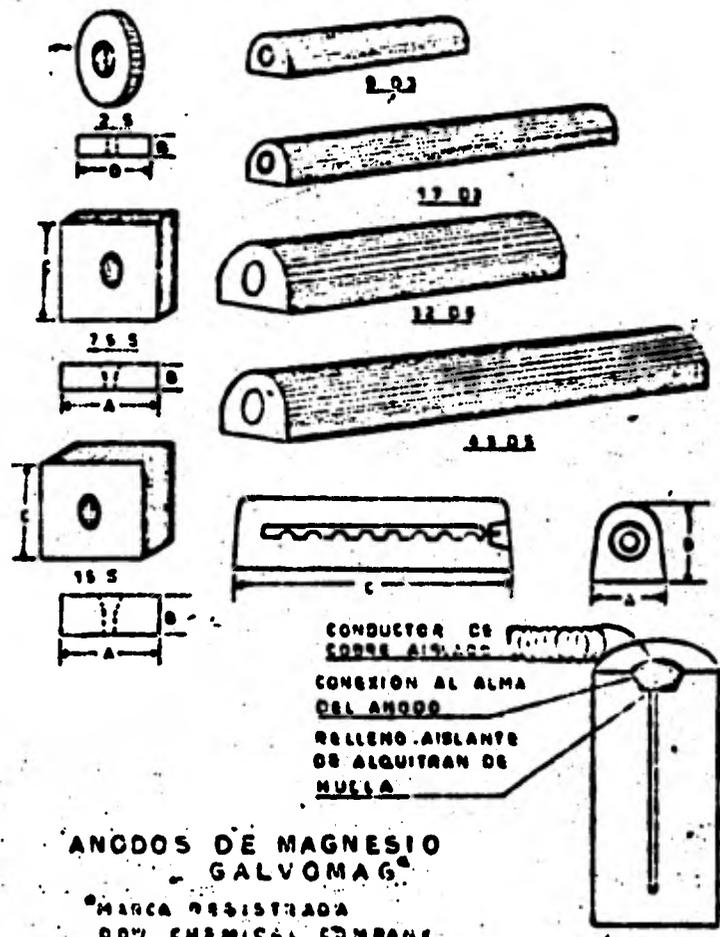
No.	PESO	L	W	H
MM-11-C-43	20	48"	2"	2"
MM-11-C-44	25	60"	2"	2"
MM-11-C-63	30	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-11-C-64	30	60"	2 1/2"	2 1/2"
MM-11-C-93	45	60"	3"	3"

PESOS INDICADOS EN LIBRAS

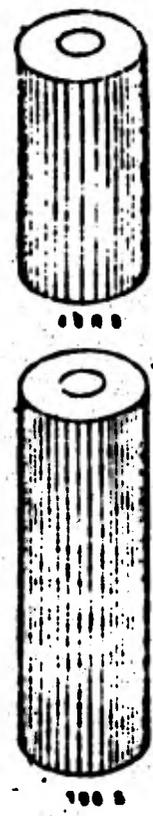
ANODOS DE ALUMINIO  
 GALVALUM®

MARCA REGISTRADA  
 DOW CHEMICAL CO.

LAMINADORA FOTO ZINC  
 DIV. PROTECCION CATODICA



**ANODOS DE MAGNESIO GALVOMAG<sup>®</sup>**  
 MARCA REGISTRADA  
 DOW CHEMICAL COMPANY

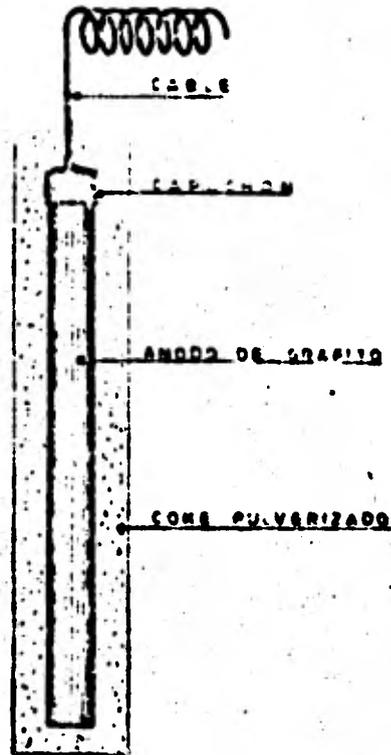


ANODOS DE MAGNESIO GALVOMAG<sup>®</sup> ALTO POTENCIAL DISEÑADOS POR DOW CHEMICAL COMPANY Y FABRICADOS BAJO LICENCIA EXCLUSIVA POR LAMINADORA FOTO ZINC, S.A. PARA PROTECCION CATODICA DE ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS, ESTOS ANODOS PROPORCIONAN MAS CORRIENTE EN ALTAS RESISTIVIDADES ASI COMO EN TERRENCOS MEDIOS. PRUEBAS DE LABORATORIO INDICAN QUE LOS ANODOS GALVOMAG<sup>®</sup> PRODUCEN DE 20 A 30% MAS DE CORRIENTE QUE LOS ANODOS CONVENCIONALES. ESTO SIGNIFICA MENOR COSTO DE LAS INSTALACIONES Y DEL MANTENIMIENTO.

LAMINADORA FOTO ZINC, S.A.  
 DIV. PROTECCION CATODICA

# ANODOS DE GRAFITO DURIRON® Y DURICHLOR®

ANODO DE GRAFITO  
3" x 60"  
6" x 60"  
Y ESPECIALES PARA  
INMERSION EN AGUA (TIPO UCAR)



ANODOS DE DURIRON Y DURICHLOR  
EN LAS SIGUIENTES MEDIDAS  
( NO REQUIEREN RELLENO DE CONCRETO )

DURIRON      DURICHLOR

TIPO ANODO	MEDIDAS PULGADAS	AREA SQ. FT.	PESO LBS.	APLICACION
B	1" x 6"	1.4	14	AGUA DULCE
C	1 1/2" x 60"	2.9	23	EN TIERRA
D	1" x 5"	2.9	46	EN TIERRA
E	1" x 60"	6.0	115	AGUA DE MAR
FC	1 1/2" x 9"	0.3	6	AGUA DULCE
FW	1 1/8" x 9"	0.2	1	AGUA DULCE
G	2" x 9"	0.6	6	QUEVOS
J	1" x 35"	2.5	30	AGUA DE MAR
M	2" x 50"	2.8	57	AGUA DE MAR

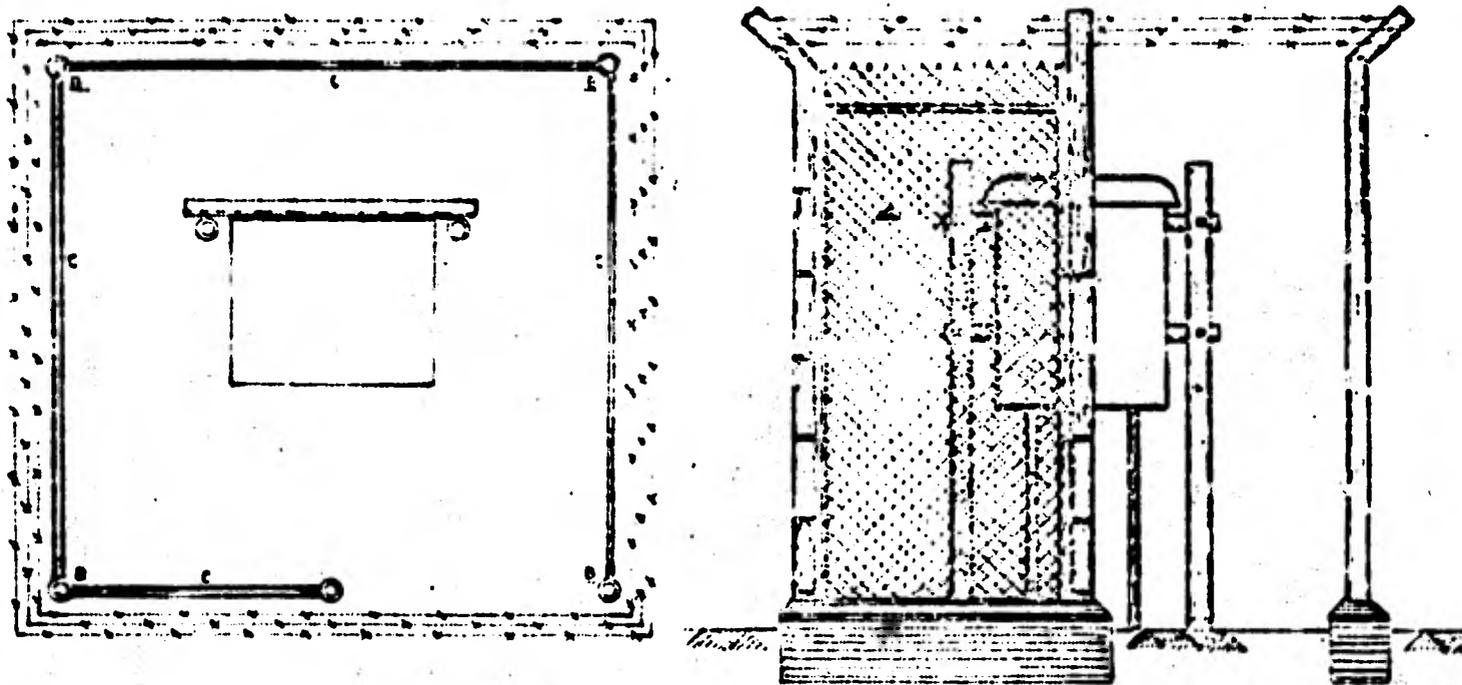
• SE APLICA TAMBIEN EN AGUA DULCE

ANODO DURICHLOR® Y DURIRON®

• MARCA REGISTRADA  
THE DURIRON COMPANY INC.

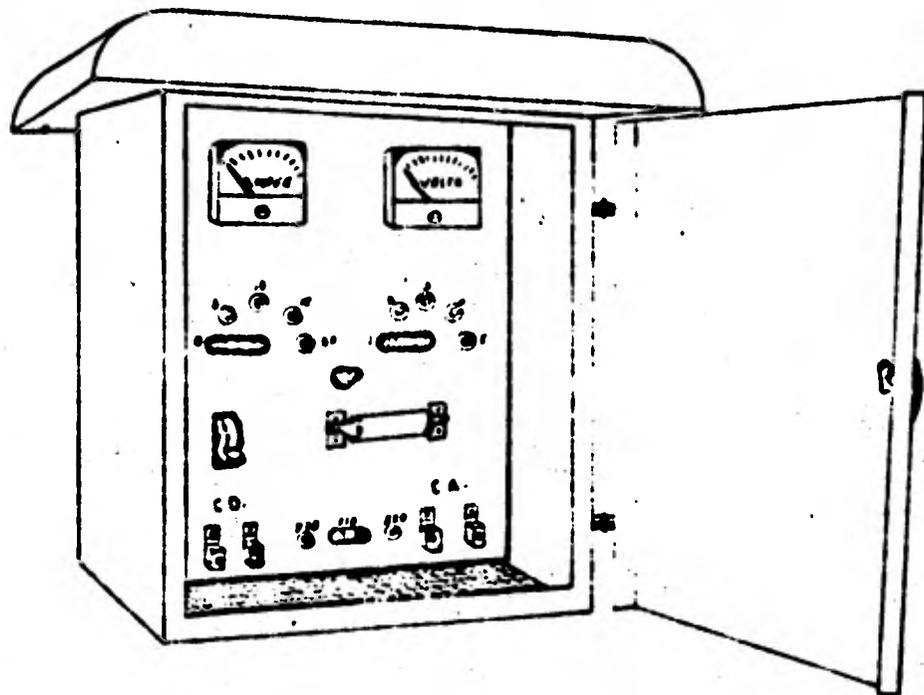
LAMINADORA POTO ZINC SA  
DIV. PROTECCION CATODICA

CERCADOS DE PROTECCION PARA RECTIFICADORES DE CORRIENTE



- 'A' TELA DE ALAMBRE GALVANIZADO CON ABERTURA DE 9cm x 9cm CALIBRE N.º 10 DE 2m ALTURA  
 'B' POSTES DE 3" DE FIERRO GALVANIZADO REFORZADO INCLUYE SOLERA TORNILLOS Y TUERCAS  
 PARA SUJETAR LA MALLA CON OCHAVO PARA ALDOREAR 3 HILOS DE ALAMBRES DE PUAS  
 'C' RETENIDAS HORIZONTALES CON TIRANTE Y TENSORES INCLUYE BANDAS Y ACOPLAMIENTOS  
 PUERTA DE UNA HOJA DE FIERRO GALVANIZADO Y REFORZADO SOLDADA CON CIERRE  
 AUTOMATICO DE GOLPE CON PORTACANDADO.

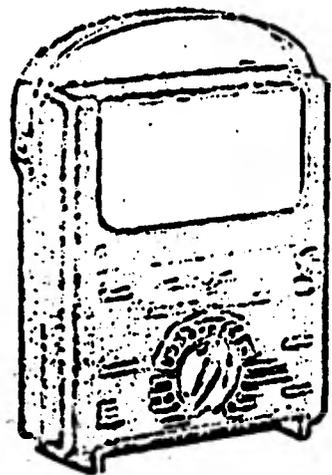
LAMINADORA FOTO ZINC SA  
 DIV. PROTECCION CATODICA



RECTIFICADORES DE CORRIENTE  
PARA PROTECCION CATODICA

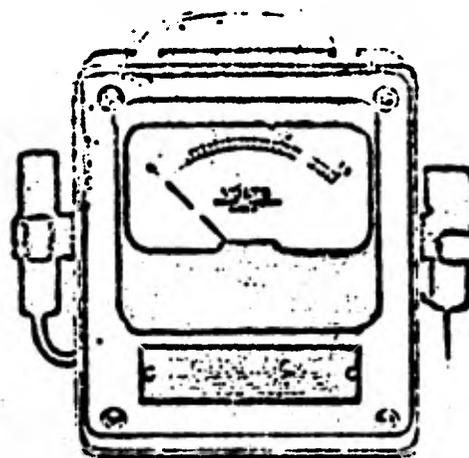
• SE FABRICAN EN TODAS CAPACIDADES  
ENFRIADOS POR ACEITE O POR AIRE

LAMINADORA POTO ZINC SA  
DIV PROTECCION CATODICA

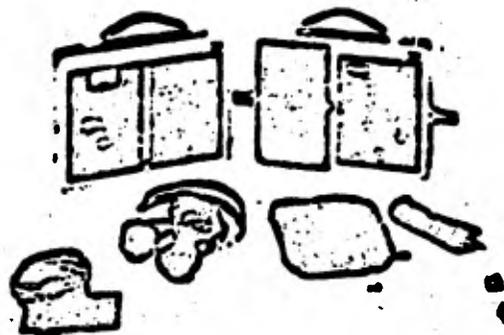


**Tester\* y Tripplitt\***  
Instrumentos para mediciones eléctricas.

**Engelhard Capac\***  
Potenciómetro para  
instalaciones  
marinas.

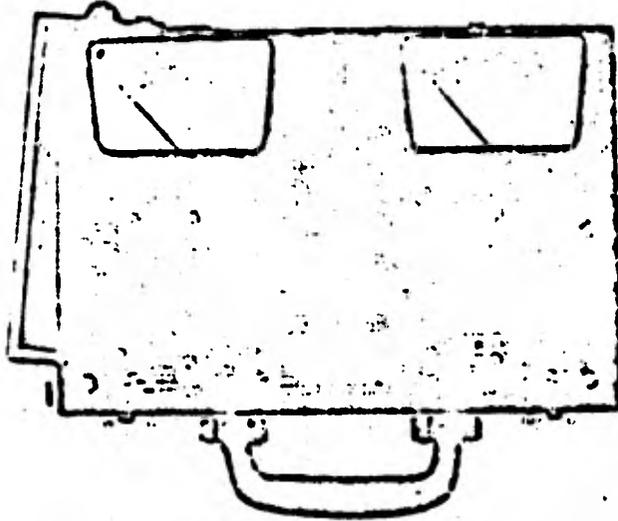


**Localizador de tuberías Fisher\*** en todos  
sus modelos.

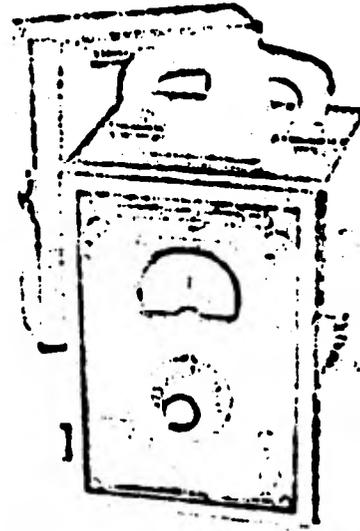


\* Marcas Registradas

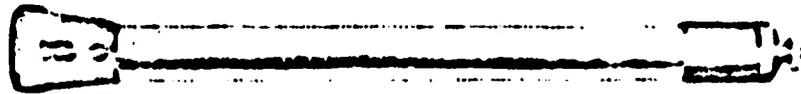
## EQUIPO DE MEDICION



Multicombinados M.C. Miller™ en todos sus modelos.  
Equipo para medición y pruebas de campo.



Vibrogrounds™ en todos sus modelos.  
Equipo para medición de resistividades.



Celdas de referencia para determinación de potenciales  
cobre-sulfato de cobre y plata-cloruro de plata.

• Marcas Registradas

## VI.- CONCLUSIONES.

Si bien los procesos de corrosión constituyen una base interesante para estudios científicos que son emprendidos frecuentemente como ejercicios en química y particularmente en electroquímica, indudablemente lo más importante es la preocupación -- por la corrosión que proviene de sus efectos prácticos y como pueden ser evitados.

El conocimiento de los procesos electroquímicos es uno de los primeros requisitos para controlar la corrosión. Se debe reconocer que el ataque por corrosión se puede manifestar de muy diferentes formas, que varían desde los agresivos efectos del intemperismo hasta las severas reacciones químicas que resultan del contacto con los ácidos -- fuertes, álcalis y otros agentes corrosivos. Además para poder controlarlos se deben comprender y apreciar plenamente los complejos mecanismos mediante los cuales operan los diversos tipos de corrosión con el objeto de anticipar, diagnosticar -- o enfrentar problemas de corrosión, ya sea individualmente o en colaboración con otros técnicos.

La protección catódica y los recubrimientos -- protectores resistentes a la corrosión, constituyen importantes factores que deben tomarse en cuenta -- para poner un programa adecuado de control de corrosión. En algunos casos es práctico y económico a largo plazo reemplazar algunos metales susceptibles a la corrosión como son el hierro y el acero, por algunos otros materiales más resistentes como son los aceros inoxidable, aleaciones, productos-

plásticos reforzados. Sin embargo, en muchos- - casos estos materiales resistentes a la corro-- - sión o son demasiado caros o en alguna forma ina- - adecuados.

Por lo anterior, las industrias recurren or- - dinariamente a la aplicación de la protección ca- - tódica y/o al uso de recubrimientos protectores - - eficaces, como medio de controlar el ataque de la - - corrosión.

Estos modernos métodos de prevención y con- - trol de la corrosión son técnicas especializadas - - para proporcionar una protección efectiva a las - - superficies sobre las cuales se aplican (platafor- - mas de perforación marinas, cascos de barcos, - - oleoductos, gaseoductos, complejos petroquímicos, - - etc.) deteniendo o retardando los mecanismos me - - diante los cuales tienen lugar cada una de las -- - formas particulares de la corrosión.

La experiencia práctica es otra importante - - condición para llevar a cabo un efectivo programa - - de prevención y control de la corrosión y que és- - te funcione realmente.

La posibilidad de proteger una superficie ba - - jo condiciones de diseño o de laboratorio no tie- - ne ningún valor, a menos que se pueda lograr la - - misma protección en el campo, por esta razón fac- - tores tales como: la experiencia práctica en pro- - tección catódica, la preparación de superficies, - - la aplicación de los recubrimientos protectores -

y una observación cuidadosa y detallada de la protección que efectivamente se alcanza, son requisitos esenciales para hacer eficaz cualquier programa de control de corrosión. Este mismo factor de experiencia práctica es también la clave de la --economía, y al final y al final de cuentas es el principal motivo para procurar un programa completo de control de corrosión.

La experiencia proporcionará la orientación y ayuda necesaria para determinar el tipo y grado de protección que logre resultados satisfactorios al mínimo costo por año. En algunos casos se puede justificar el proporcionar un menor grado de -protección cuando se pueda anticipar que el equipo a proteger caerá en desuso; en otros casos un elevado costo inicial de aplicación se justificará ampliamente por la reducción de los costos de mantenimiento y por la mayor duración que proporcionan los mejores sistemas.

Para poder valorar los diversos tipos de --protección, es importante tener a la vez el conocimiento y la experiencia práctica, en relación -con todos los tipos de protección. Solo entonces, se podrá estar seguro de dar las mejores especificaciones y recomendaciones para el problema particular de que se trate.

**BIBLIOGRAFIA.**

- 1.- NACE MANUAL DE CORROSION  
HOUSTON, TEXAS, (1969).
- 2.- URLIG, H.H., CORROSION Y CONTROL DE CORROSION,  
URMO, MEXICO, D. F., (1968).
- 3.- RUBIO, L.A.F., CORROSION Y MEDIOS DE PROTEC -  
CION CONTRA LA CORROSION, DEUSTO, MEXICO, D.F.  
(1965).
- 4.- TODT, F., CORROSION Y PROTECCION, CECSA,  
MEXICO, D. F., (1970).
- 5.- MORENO, V.E., CORROSION EN POZOS Y LINEAS, -  
CECSA, MEXICO, D. F., (1967).
- 6.- SCHWEITZER, P.A., MANUAL DE RESISTENCIA A LA  
CORROSION EN TUBERIAS, INDUSTRIAL PRESS INC.,  
NEW YORK, (1969).
- 7.- SCULLY, PREVENCION DE LA CORROSION, REVERTE,  
MEXICO, D.F., (1970).
- 8.- AMERCOAT MEXICANA, S. A., RECUBRIMIENTOS AN--  
TICORROSIVOS, MEXICO, D. F., (1975).
- 9.- NEVILLE, K., y H. LEE., MANUAL DE RESINAS EPO  
XICAS, MCGRAW HILL, NEW YORK, (1957).
- 10.- KEANE, J.D., STEEL STRUCTURES PAINTING COUN-  
CIL, GOOD PAINTING PRACTICE, PITTSBURGH, - -  
(1966).

- 11.- MATAS, A. B. y L. I. VILLEGAS, TECNOLOGIA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS ORGANICOS, QUIMICA, S. A., MEXICO, D. F., (1966).
- 12.- EL ABC DEL EQUIPO DE PINTAR, THE DEVILBISS - COMPANY, TOLEDO, OHIO, (1970).
- 13.- TEFANKJIAN, D.; METODOS DE APLICACION DE PROTECCION CATODICA, VOLUMEN XIX, No. 8 MATERIAS PERFORMANCE, HOUSTON, TEXAS., (1976)
- 14.- SCULLY, J. C., FUNDAMENTOS DE CORROSION, - - ALAMBRA, MEXICO, D. F., (1968)
- 15.- MAURIN, A. J., MANUAL DE LA ANTICORROSION, - URMO, MEXICO, D. F., (1966)
- 16.- MURPHY, J.A., SURFACE PREPARATION AND FINISHES FOR METALS, SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEER, DEARBORN, MICHIGAN., (1980).
- 17.- SEYMOUR, R.B. y J. M. CHURCH., PLASTICS FOR CORROSION RESISTANT APPLICATIONS, REYNHOLD. NEW YORK. (1955).
- 18.- PETROLEOS MEXICANOS, RECUBRIMIENTOS PARA PROTECCION ANTICORROSIVA REQUISITOS DE CALIDAD, MEXICO, D. F., (1974).
- 19.- LAMINADORA FOTO-ZINC, DIVISION PROTECCION CATODICA, CATALOGO, MEXICO, D. F., (1978).
- 20.- CLEMCO EQUIPO PARA SOPLETEAR CON ABRASIVOS, - CATALOGO, CLEMENTINA LTD, SAN FRANCISCO, CAL. (1975).