

15

2 Gen.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

## Corrosión en el Casco de Acero de los Buques.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**MIGUEL EDUARDO AYMES WATSON**  
**ALBERTO BISMARCK MORA VALDES**

DIRECTOR DE TESIS:  
**ING. ARTURO BARBA PINGARRON**



Ciudad Universitaria, D. F.

1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

PAG.

1.- INTRODUCCION.	1
2.- GENERALIDADES SOBRE CORROSION.	4
2.1 TIPOS DE CORROSION.	6
2.2 PROTECCION CONTRA OXIDACION Y CORROSION.	9
3.- EL ACERO Y LA REACCION DE CORROSION.	15
3.1 SERIE GALVANICA EN AGUA SALADA Y DIAGRAMAS DE POURBAIX.	19
4.- PROTECCION CONTRA LA CORROSION EN EL CASCO - DE ACERO DE LOS BUQUES.	24
4.1 PROTECCION POR RECUBRIMIENTO DE PINTURA.	25
4.1.1 PREPARACION DE LA SUPERFICIE.	25
4.1.2 APLICACION DE LA PINTURA.	39
4.2 PROTECCION CATODICA.	47
4.2.1 FUNDAMENTOS DE LA PROTECCION CATODICA.	47
4.2.2 TIPOS DE PROTECCION CATODICA.	56
4.3 COMPATIBILIDAD DEL RECUBRIMIENTO CON PINTURA Y LA PROTECCION CATODICA.	61
5.- CONCLUSIONES	66
6.- GLOSARIO	68
- BIBLIOGRAFIA	69

## 1. INTRODUCCION

El estudio de la corrosión es de importancia mundial debido a que sus efectos físicos en los materiales representan --- cuantiosas pérdidas económicas. En la mayoría de los países industrializados se habla de billones de dólares anuales -- por este concepto.

La corrosión está presente en nuestras casas, talleres, oficinas, hospitales, etc. Por ejemplo, no podríamos permitir que existiera corrosión en latas para alimentos, mucho me-- nos en agujas hipodérmicas, ya que sería en perjuicio de -- nuestras vidas.

En México la inquietud por el estudio, prevención y protec-- ción de la corrosión es cada vez mayor. Las instituciones - que se preocupan por estas actividades, son principalmente PETROLEOS MEXICANOS, la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD; - la SECRETARIA DE MARINA, la ASOCIACION MEXICANA DE INGENIE-- ROS EN CORROSION, la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXI-- CO y el INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, etc., quienes reali-- zan esfuerzos por preparar y contar con gente que interpre-- te correctamente los diversos aspectos de la corrosión a -- fin de poder controlarla y evitarla lo mejor posible.

En este trabajo tomando como ejemplo la "CORROSION EN EL -- CASCO DE ACERO DE LOS BUQUES" nuestra principal intención - es exponer los principios básicos de la corrosión, así como las formas de controlarla; particularmente en el acero.

A pesar de los progresos importantes en la tecnología de la fabricación del acero, no ha sido desarrollado ningún tipo de acero económico que posea mejor resistencia a la corro--

sión en agua de mar, desde que se botaron los primeros buques construídos con este material. Sin la adecuada protección, el acero sería un material inservible para la construcción de buques.

En 1824, Sir Humphrey Davy presentó a la Royal Society of London, la idea de reducir la disolución de los forros de cobre que se usaban entonces en los buques de madera, a base de conectar el cobre a placas de un metal menos noble, como el hierro o el zinc.

Cuando la madera fue sustituida por el acero en la construcción de cascos de buques, el acoplamiento de bloques de zinc sobre la popa de los buques se convirtió en una práctica tradicional.

Aunque estos bloques ofrecían alguna protección al casco de acero, eran a menudo prácticamente infectivos, hasta que se comprobó que el zinc debe estar libre de impurezas perjudiciales, la más importante de las cuales es el hierro, cuyo contenido debe estar por debajo del 0.0014%. La eficacia de los bloques de zinc fue además frecuentemente anulada al pintar encima de ellos, debido a la falta de comprensión de los fundamentos de la corrosión.

La corrosión es un tema extenso, por lo que su estudio y el conocimiento de las técnicas para controlarla requieren de un carácter multidisciplinario, es decir del trabajo en equipo de profesionales en diferentes áreas, por ejemplo: Ingenieros Químicos, Mecánicos, Eléctricos, Electrónicos, Metalúrgicos, etc.

Debido a lo anterior consideramos importante que los estudiantes de todas las áreas de Ingeniería conozcan los principios de este fenómeno, pues la corrosión se puede presentar en los procesos industriales (intercambiadores de calor, válvulas, bombas, etc.), en la industria eléctrica -- (transformadores, motores, generadores, etc.), en la construcción (estructuras de concreto armado), y en muchos --- otros sistemas.

Es de notar que prácticamente no existe bibliografía mexicana sobre este tema, por lo que sería interesante el desarrollo de la misma.

## 2. GENERALIDADES SOBRE CORROSION

La corrosión es la destrucción de un material a causa de una reacción electroquímica, con su ambiente. El material y su ambiente forman un elemento de corrosión, influyendo en la extensión de ésta los potenciales eléctricos de los materiales metálicos, así como las diferencias en concentración y temperatura.

En algunos casos los productos de la corrosión aparecen - bajo la forma de una película fina adherida a la superficie del metal, a la cual simplemente manchan o quitan brillo y que puede dificultar o impedir la continuación de - la acción corrosiva. En otros casos los productos de la - corrosión forman una capa porosa de mayor espesor, que no ofrece ninguna protección contra la corrosión posterior.

El proceso de corrosión es espontáneo, pues todos los metales tienen tendencia a volver a la condición estable en la que se encontraban en la naturaleza. Esta tendencia es mucho más fuerte en los metales menos nobles, por lo que éstos se pueden clasificar de acuerdo con su nobleza en - orden de decreciente actividad y creciente potencial.

Para que se produzca la corrosión en una estructura metálica, se ha de encontrar ésta en contacto con el ambiente corrosivo bien sea la misma atmósfera como en el caso de la corrosión atmosférica, o bien en un electrólito.

Un electrólito es una solución cualquiera que contiene átomos o grupos de átomos cargados eléctricamente, llamados iones. Por ejemplo, el agua pura contiene en cantidades iguales iones hidrógeno cargados positivamente ( $H^+$ ) e

iones oxhidrilo cargados negativamente ( $\text{OH}^-$ ). Por lo tanto el electrólito puede ser agua natural, agua salada, soluciones ácidas, o alcalinas de una concentración cualquiera.

Para formar el circuito eléctrico es necesario que existan dos electrodos, ánodo y cátodo, éstos unidos entre sí, los cuales pueden ser dos metales distintos o zonas distintas de la misma superficie metálica. La unión del cátodo y ánodo puede realizarse mediante un puente metálico, pero en el caso concreto de la corrosión ésta tiene lugar por simple contacto. Además, para que se establezca el paso de corriente, tiene que existir una diferencia de potencial entre los electrodos.

Al ponerse en contacto el metal con el electrólito, los átomos metálicos que constituyen el ánodo pasan a la solución en forma de iones, mientras que las correspondientes cargas negativas o electrones pasan a través del metal a la zona que constituye el cátodo. Allí los electrones neutralizan los iones cargados positivamente que pasan de la solución al cátodo. Estos iones positivos son normalmente iones hidrógeno, que al neutralizarse se transforman en átomos, los cuales se desprenden como gas hidrógeno.

Uno de los factores más importantes y que más influencia ejerce en el proceso de la corrosión es la diferencia de potencial que se establece entre dos metales distintos en contacto mutuo e inmersos en un electrólito.

La influencia del oxígeno disuelto sobre la velocidad de corrosión es doble: Por un lado, da lugar a la formación de óxidos y por otro provoca la despolarización del cátodo. Si la formación de los óxidos originan una disminución de

los iones metálicos que han pasado del metal al electrolito la corrosión aumentará, siempre y cuando la película de óxido depositada sobre el metal reúna las características de porosidad necesarias.

La velocidad de corrosión puede verse seriamente afectada - por otros factores, tales como la agitación, la presencia - de otros iones, la temperatura de la solución y la existencia de corrientes vagabundas.

## 2.1 TIPOS DE CORROSION

**CORROSION UNIFORME:** Es la clase de corrosión que se da cuando toda la superficie del metal presenta el mismo grado de ataque. Sin embargo, este tipo de corrosión no suele presentarse en los metales, ya que rara vez estos tienen una homogeneidad tal que el ataque se verifique por igual en todos los puntos de su superficie.

**CORROSION LOCALIZADA:** Esta es un tipo de corrosión no uniforme provocada por la falta de homogeneidad del metal, la cual puede deberse a las inclusiones, a la segregación o a la existencia de zonas distorsionadas. Esta falta de homogeneidad es causada en puntos localizados que establecen diferencias locales de potencial, que originan la formación de profundos orificios aislados.

El gran orificio en que se transforma la pequeña zona superficial atacada crece después rápidamente por debajo de la superficie formando una cavidad de grandes dimensiones, la cual en su constante crecimiento penetra cada vez más en el interior del material, hasta que llega un momento en que --

parte de la pared que la separa del medio exterior se derrumba. La corrosión localizada del metal base se produce cuando la capa o película que lo protege se rompe.

**CORROSION INTERGRANULAR:** Esta también se considera como corrosión no uniforme que se produce al establecerse una diferencia de potencial entre los contornos de los granos y el resto del material. Este tipo de corrosión se presenta normalmente cuando precipita una fase de una solución sólida. Como normalmente la precipitación se verifica con mayor rapidez en los contornos de grano, el material próximo a estas zonas pierde la totalidad del elemento disuelto, -- creándose una diferencia de potencial y originándose preferentemente la destrucción de los contornos de unión de dichos granos. En muchas ocasiones el hacer un exámen visual del material no permite apreciar la extensión del daño, el cual se pone de manifiesto la mayor parte de las veces por una disminución considerable de las características mecánicas.

**CORROSION GALVANICA:** En forma general toda corrosión depende de la acción galvánica, pero este término significa -- específicamente un tipo de corrosión que ocurre debido a -- que dos materiales de diferente potencial de solución están en contacto.

Una circunstancia muy importante que hay que tener en cuenta en la corrosión galvánica, es la relación entre las -- áreas catódicas y anódicas. Si el área del cátodo es grande con relación al ánodo, sufrirá éste una corrosión muy intenso, por el contrario, si el ánodo es grande con relación al cátodo, la corrosión será débil.

CORROSION POR HETEROGENEIDAD DEL MEDIO AMBIENTE: Las diferencias de temperatura, de concentración y sobre todo de contenido de oxígeno, son causas muy frecuentes de corrosión.

En este tipo de corrosión, que se denomina efecto EVANS, -- las partes de una pieza menos aireadas funcionan como ánodos y son inmediatamente atacadas. Esta misma clase de corrosión es la que se produce en una pieza medio sumergida, en la que la porción próxima a la superficie del agua y, -- por tanto, más oxigenada es catódica y la parte inferior, -- menos oxigenada, es el ánodo, que es el que se corroe.

Hasta aquí hemos mencionado los tipos de corrosión más comunes, ahora es de interés conocer los efectos combinados de aspectos mecánicos y corrosión.

En muchos casos una pieza fallará debido al efecto combinado de factores mecánicos o hidráulicos y corrosión. Estos casos son de tres tipos: CORROSION POR ESFUERZO, FATIGA -- POR CORROSION, EFECTOS DE LA VELOCIDAD DEL LIQUIDO (CORROSION, EROSION, CAVITACION).

El ensayo típico para la corrosión por esfuerzo es el de tomar una muestra de un metal en forma de pequeña viga, aplicar una carga permanente de flexión y colocar la viga en un líquido corrosivo. La falla ocurrirá más rápidamente -- que en una pieza no esforzada. Otro método consiste en tomar una muestra deformada tal como una pieza marcada y observar el comienzo del agrietamiento. Los casos clásicos -- son de agrietamiento estacionarios de cajas de cartuchos de latón estirado y la fragilidad cáustica del acero en calderas. En ambos casos tenemos una estructura altamente defor

mada con alto esfuerzo remanente y un ambiente apropiado. - En el caso de las cajas de cartucho de latón el agrietamiento está asociado con la presencia de amonio que proviene de la descomposición de materia orgánica y la alta humedad de los trópicos. En los tubos de calderas, la deformación elástica se produce al laminar en frío los extremos y a la presencia de sustancias cáusticas en el ambiente.

La corrosión por esfuerzo está acompañada muchas veces de -- una fractura intergranular en la cual el material no muestra ductilidad aún cuando los ensayos de tracción puedan indicar una alta capacidad de alargamiento plástico para el material. En muchos casos se debe a los esfuerzos remanentes del proceso de manufactura, los esfuerzos también pueden ser resultado de diferentes condiciones de servicio.

## 2.2 PROTECCION CONTRA LA OXIDACION Y CORROSION

La protección contra la oxidación y corrosión es un problema muy complejo, en el que intervienen tantos factores que no se puede pensar en una solución de protección de tipo universal.

Los principales factores que se deben considerar en el estudio de la protección contra la oxidación y corrosión son los siguientes:

- a) Clase y estado del material.- Evidentemente hay que tener en cuenta, en primer lugar, la clase de metal y el estado en que se encuentra. Para esto hay que conocer su composición química, su constitución, estructura, impurezas que contiene, procedimientos de elaboración, --

tratamientos mecánicos, térmicos, etc.

- b) Medio en que se encuentra.- El ataque al metal partirá del medio en que se encuentra, y por tanto, cuanto mejor lo conozcamos, más fácil será prever la clase de corrosión que se puede producir y los medios de evitarla. Sobre el medio conviene conocer su naturaleza química, su concentración, el porcentaje de oxígeno disuelto, el índice de acidez (pH), presión, temperatura, etc.
- c) Clase de contacto entre el metal y el medio en que se encuentra.- El contacto entre el metal y el medio en que se encuentra queda definido por la forma de la pieza, estado de la superficie, condiciones de inmersión, etc.

Los procedimientos empleados para la protección contra la oxidación y corrosión, pueden clasificarse en seis grupos principales:

- 1.- Protección por recubrimientos metálicos.
- 2.- Protección por recubrimientos no metálicos.
- 3.- Protección por el empleo de inhibidores.
- 4.- Protección por el empleo de pasivadores.
- 5.- Protección catódica.
- 6.- Protección por el empleo de metales autoprotectores.

Sobre la elección del procedimiento más adecuado para cada caso no se pueden dar normas generales, cada problema debe ser estudiado como un caso particular, puesto que simplemente pequeñas impurezas en el medio o en el metal pueden

cambiar por completo el planteamiento del problema.

1. PROTECCION POR RECUBRIMIENTOS METALICOS: Consiste en recubrir la superficie que se desea proteger con una capa de metal autoprotector lo más compacta y adherente posible.

La elección del metal empleado en el recubrimiento se hace de acuerdo con el metal que se va a proteger, del objeto de que se trata y del espesor que se proyecta dar a la capa protectora.

Los recubrimientos metálicos pueden aplicarse -- por varios procedimientos: Por electrólisis, -- por inmersión en el baño del metal protector, -- por metalización, por cementación, por chapado, etc.

2. PROTECCION POR RECUBRIMIENTOS NO METALICOS: Análogo al anterior, utiliza los siguientes procedimientos para conseguir un recubrimiento resistente a la corrosión: la fosfatación, la oxidación superficial, el esmaltado y las pinturas.

3. PROTECCION POR EL EMPLEO DE INHIBIDORES: El inhibidor es una sustancia que se añade, generalmente en proporción muy pequeña, a un medio corrosivo, para detener o disminuir la velocidad de la corrosión formando un compuesto protector insoluble sobre la superficie del metal, bien sea catódica o anódica.

Existen dos clases de inhibidores: Los catódicos y los anódicos.

Ejemplos de los catódicos son: Sulfato de magnesio, de níquel y de zinc. Ejemplos de anódicos: Carbonato sódico, el bicarbonato sódico, etc.

4. PROTECCION POR EL EMPLEO DE PASIVADORES: En algunos metales se forma una película en su superficie que detiene la corrosión apenas iniciada. Se dice entonces que estos metales tienen pasividad natural contra la corrosión en el medio que ocurre esto. También puede conseguirse la pasividad tratando previamente el metal, y entonces se dice que la pasividad ha sido provocada por un pasivador.

No se conocen bien las causas de la pasivación, pero se atribuye, en general, o bien a la formación de películas gaseosas protectoras, generalmente de oxígeno e hidrógeno, o bien a la formación de películas sólidas, generalmente de óxidos que protegen el metal.

Los pasivadores más empleados son el minio - - - ( $Pb_3O_4$ ) y el cromato de zinc ( $CrO_4Zn$ ).

5. PROTECCION CATODICA CONTRA LA CORROSION: La protección catódica consiste en incluir la pieza -- que se desea proteger en un circuito eléctrico -- con fuerza electromotriz exterior aplicada, o -- sin ella, de manera que el metal haga de cátodo.

Este método se funda en el hecho comprobado de que si se sumergen dos metales de distinto potencial galvánico, por ejemplo, hierro y zinc unidos o puestos en contacto en una solución salina, se produce una corriente eléctrica a través del electrólito, que va del metal anódico en este caso el zinc al catódico que es el hierro, que neutraliza las acciones electroquímicas locales entre distintas zonas que habría en cualquiera de los metales de haberse aislado. En este caso -- particular, el hierro resulta protegido a costa de consumirse el zinc.

Los ánodos más utilizados, cuando se aplica protección catódica sin suministro de energía eléctrica exterior, son de zinc, aluminio, magnesio o aleación rica en magnesio.

6. PROTECCION POR EL EMPLEO DE METALES AUTOPROTECTORES: Uno de los procedimientos más sencillos para proteger las piezas contra la oxidación y corrosión, es fabricarlas con metales autoprotectores, es decir, metales que tengan la suficiente resistencia contra la oxidación y corrosión que haga innecesaria la aplicación de alguna protección adicional.

Así el cromo, el níquel, el platino, el oro, el tántalo y el wolframio, entre otros, son muy resistentes a la oxidación y corrosión atmosférica y a la acción de muchos ácidos. Pero su elevado precio impide su utilización salvo para aplica--

ciones científicas.

Unicamente se emplea en gran escala el plomo para muchas aplicaciones anticorrosivas, entre ellas el revestimiento de las cámaras de fabricación de ácido sulfúrico.

En cambio, se emplean mucho las aleaciones autoprotectoras, que son más económicas y además tienen, en general, mejores características que los metales puros, para muchas aplicaciones. Las aleaciones anticorrosivas que más se emplean son los aceros inoxidables y las aleaciones de níquel.

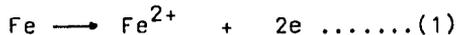
### 3. EL ACERO Y LA REACCION DE CORROSION

El acero sigue siendo el material principal que se utiliza en la industria de construcción naval, debido a su precio económico, fácil disponibilidad y sus propiedades mecánicas, particularmente la tenacidad, la capacidad de poder ser soldado y su buena resistencia a la corrosión. Estas características son reguladas por organizaciones tales como The American Bureau of Shipping (ABS) y Lloyds Register of Shipping.

La ABS determina un rango entre 58 000 y 90 000 lb/in<sup>2</sup> para los esfuerzos de tensión; para la prueba de impacto la clasificación es: Grado "D" 35 lb-ft a 32<sup>o</sup>F, Grado "EH32" - 25 lb-ft a 40<sup>o</sup>F.

Desgraciadamente el acero está propenso al ataque del agua por lo que hay que utilizar un plan protector adecuado para asegurar que las estructuras de acero tengan una duración conveniente en el ambiente de trabajo.

El paso importante en la corrosión del acero en agua es la conversión de un átomo de metal a un ión de metal mediante la pérdida de dos electrones. Esta es la reacción anódica:



Esta reacción sólo puede tener lugar si existe un captador adecuado de los electrones, para recoger los que son liberados por el átomo de hierro. El agua contiene oxígeno atmosférico disuelto que fácilmente sirve para este fin. El oxígeno se reduce electroquímicamente a iones hidroxílicos en la reacción catódica:



(ver figura No. 1)

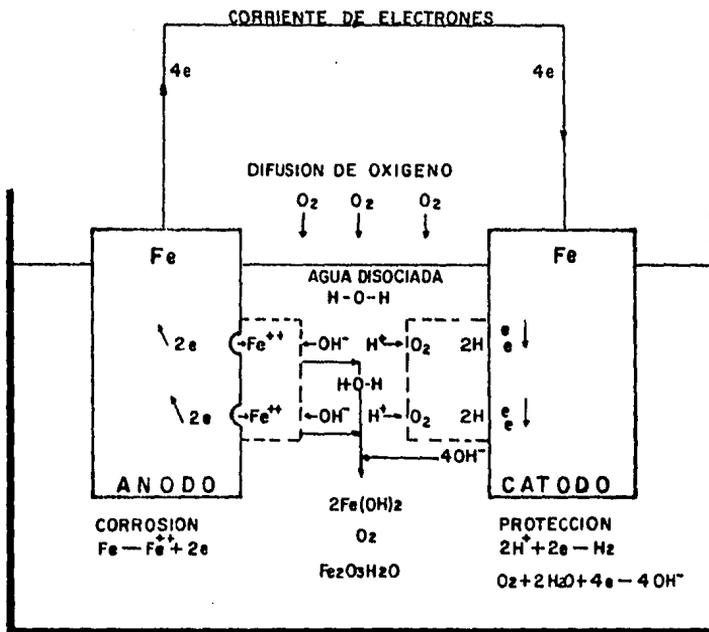
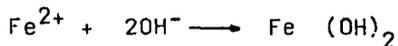
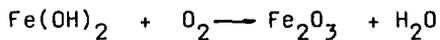


FIGURA 1

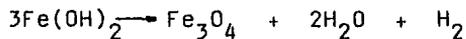
Los productos de las reacciones (1) y (2), los iones ferrosos y los iones hidroxílicos, se combinan para formar hidróxido ferroso,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$



el cual, en presencia de un abundante suministro de oxígeno, se oxida para formar el orín rojo-castaño que también se conoce.

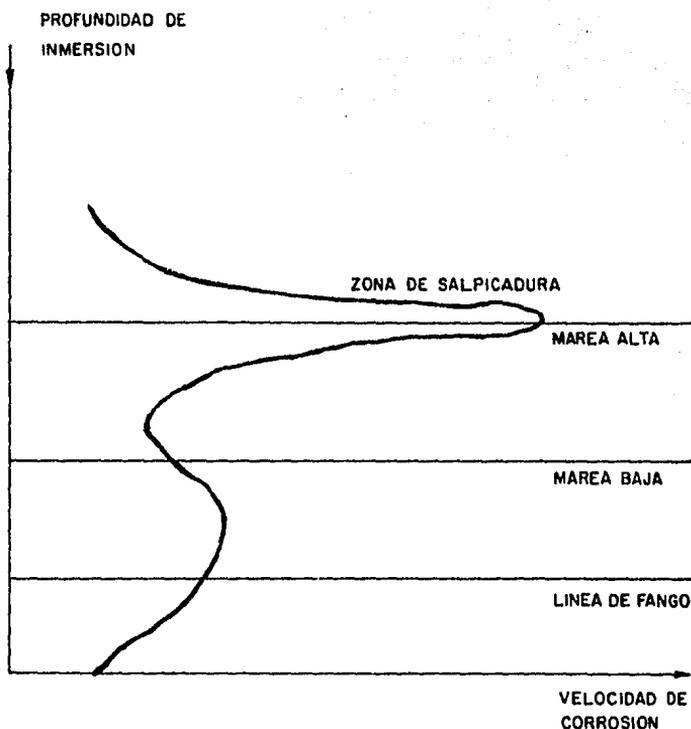


Cuando solo hay un suministro limitado de oxígeno, el hidróxido ferroso se convertirá en magnetita negra,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , mediante la reacción:



La importante influencia del oxígeno sobre la corrosión en el ambiente marino se podrá apreciar en la figura 2 que muestra la velocidad de corrosión en diversas posiciones de una estructura de acero parcialmente sumergida en agua salada.

Como se podrá notar, la concentración de oxígeno disuelto en agua de mar disminuye conforme aumenta la profundidad.

**FIGURA 2**

La figura 2 muestra que para la sección del acero que está siempre sumergida, la velocidad de corrosión disminuye con el aumento de la distancia a la superficie, de acuerdo con la disminución del oxígeno disponible. En la zona de salpicaduras, donde el acero está alternativamente expuesto al agua y al aire, las condiciones son ideales para las reacciones de corrosión y las tasas de pérdidas de material son extremadamente elevadas.

### 3.1 SERIE GALVANICA EN AGUA SALADA Y DIAGRAMAS DE PUORBAIX.

Como ya hemos visto la corrosión metálica es un fenómeno -- electroquímico, siendo acompañada la degradación del metal por el flujo de electrones. Por lo tanto, conforme un me-- tal se corroe, va tomando su propio potencial eléctrico, -- llamado el potencial de corrosión en relación a una referen-- cia fija. En la tabla 1 se da una selección de metales y - aleaciones de mayor uso en el ambiente marino, de acuerdo - con sus potenciales relativos en agua salada.

T A B L A 1

#### POTENCIALES DE ELECTRODO

Acero inoxidable	-0.10
Níquel	-0.20
Bronce	-0.23
Cuproníqueles	-0.25
Cobre	-0.36
Latón	-0.40
Plomo	-0.51
Acero	-0.65
Aluminio	-0.75
Zinc	-1.13
Magnesio	-1.54

La tabla 1 da una indicación aproximada de las tendencias de diversos metales a corroerse en el agua salada.

Cuando dos metales diferentes están eléctricamente conectados y están expuestos al mismo medio corrosivo, sus comportamientos de corrosión individuales pueden alterarse - - enormemente, especialmente si la diferencia entre sus potenciales de corrosión es grande.

Por ejemplo, cuando el acero y el cobre están en contacto, el acero al ser el material menos noble sufre más corrosión que si los dos metales estuvieran aislados. Por consiguiente, la velocidad de corrosión del cobre, más noble, se disminuye debido al contacto eléctrico con el acero. En la tabla 2 se muestran las pérdidas de peso del acero y de metales acoplados a él, de la misma área superficial, sumergidas en una solución de 1% de cloruro de sodio.

T A B L A 2

Metal acoplado al acero	Pérdida en peso de acero (mgr.)	Pérdida en peso del metal acoplado (mgr.)
Cobre	183	0
Níquel	181	0
Plomo	183	4
Aluminio	10	106
Zinc	0	688
Magnesio	0	310

Hasta qué grado la corrosión de un metal dado se aumenta o se disminuye al acoplar un metal disimilar, depende no sólo de las características electroquímicas relativas de los me-

tales en cuestión sino también de otros factores, especialmente las áreas expuestas relativas.

Por ejemplo, la inserción de remaches de cobre en una junta de acero de un área superficial relativamente mayor, produce sólo un ligero aumento en la corrosión del acero, mientras que remaches de acero en contacto con un área de cobre relativamente grande están expuestos a sufrir una corrosión grave. Con relación a la tabla 2 es evidente que los efectos de acoplar cobre o zinc al acero son muy diferentes, la figura 3 muestra la dirección del flujo de corriente en ambos casos.

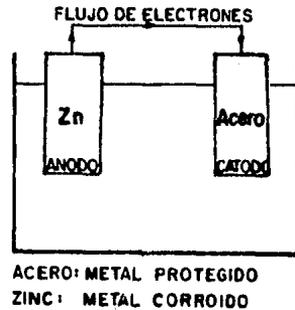
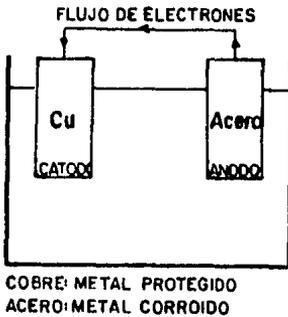


FIGURA 3

Uno de los más notables desarrollos de los años recientes - ha sido la construcción de diagramas con valor pH y potencial como coordenadas, representando los distintos equilibrios químicos y electroquímicos que afectan la corrosión - metálica.

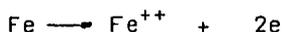
Las curvas dividen el diagrama en regiones dentro de las -- cuales la inmunidad, la corrosión y la pasivación puede esperarse que prevalezcan.

Le debemos estos diagramas a la inventiva de Marcel Pour- - baix. Actualmente el Centro Belga de Estudios de la Corrosión edita un Atlas que conjunta los diagramas de Pourbaix de todos los metales importantes.

Cada diagrama contiene una basta información expresada concisa y claramente.

Cada línea de un diagrama representa las condiciones de algún equilibrio. Las líneas horizontales representan el - - equilibrio para reacciones que involucran electrones pero - no iones de tipo  $H^+$  u  $OH^-$ ; una línea vertical representa un equilibrio que involucra a éstos iones pero no a electrones; una línea inclinada representa un equilibrio de ambos iones  $H^+$  u  $OH^-$  y electrones.

Por ejemplo, en el diagrama para el hierro la familia de líneas horizontales muestra los potenciales de equilibrio del electrodo.



La línea vertical representa la hidrólisis de los iones férricos.



Las líneas inclinadas representan el equilibrio entre los iones ferrosos en solución y los óxidos férricos sólidos.

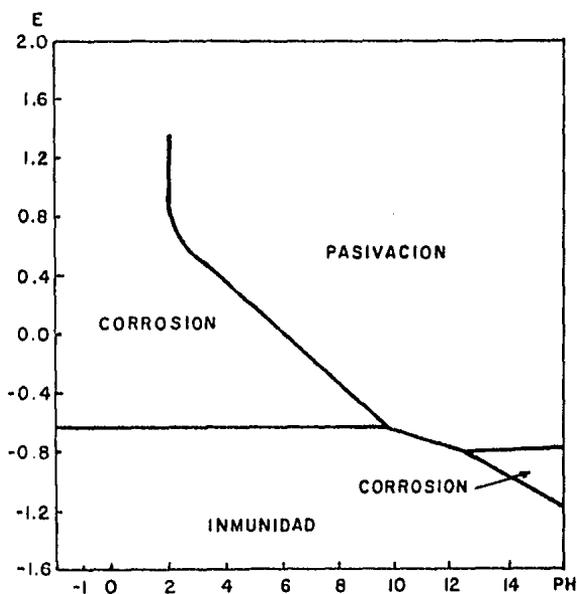
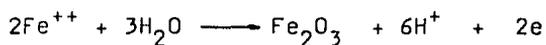


FIGURA 4

#### 4. PROTECCION CONTRA LA CORROSION EN EL CASCO DE ACERO DE LOS BUQUES.

Desde hace mucho tiempo es práctica común proteger el casco de acero de los buques revistiéndolos con pinturas especiales. Sabemos que la pintura por una serie de razones tanto técnicas como económicas, es el medio de protección más ampliamente usado contra la corrosión de los aceros. Sin em bargo, la protección que suministran las capas de pintura - puede no ser suficiente; las películas de pintura no son to talmente impermeables y presentan poros y defectos, por don de el agua se pone en contacto con el metal.

Las uniones soldadas, cajas de mar, zona de codaste y timón, son regiones sensibles a la corrosión, en especial estas úl timas, por el par galvánico hélice-casco que se forma y fenómenos de cavitación producidos por la hélice. El roce de las cadenas de las anclas y de los costados del buque con - los muelles motivan que las regiones pintadas al principio, pronto se queden sin pintura.

Hay ciertas zonas que por su inaccesibilidad en la etapa de pintado, como es el caso de los picaderos de apoyo del bu-- que cuando éste se encuentra en dique, nunca son pintadas. Existe por lo tanto un gran porcentaje del acero del caso - que esta expuesto a la acción de la corrosión. Todo esto - corrobora que, además de la pintura, es necesario aplicar - una protección adicional a la carena de los barcos, siendo ésta la protección catódica.

#### 4.1 PROTECCION POR RECUBRIMIENTO DE PINTURA.

##### 4.1.1 PREPARACION DE LA SUPERFICIE.

La preparación de la superficie del caso que ha de ser pintada, tiene tanta importancia o más que la correcta elección del tipo y calidad de las pinturas correspondientes. Se puede afirmar que con una pintura de calidad mediocre, aplicada sobre una superficie convenientemente preparada, se alcanzará un resultado mejor que con una pintura de alta calidad aplicada sobre una superficie cuya preparación no se ha cuidado en el grado necesario.

Las placas de acero, presentan herrumbre, polvo, suciedad en general y eventualmente sustancias grasas u oleosas. Todas estas sustancias impiden en mayor o menor grado la adherencia de la pintura de imprimación a la superficie del metal y, por tanto, son causantes del fracaso prematuro del sistema de protección con pintura. Así pues, es necesario, como primera etapa y antes de aplicar la pintura dejar completamente limpia la superficie.

##### METODOS QUE SE EMPLEAN PARA LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE:

Al seleccionar un método de preparación adecuado se debe -- considerar cuidadosamente la eficacia de tal método. Normalmente se verificará que los métodos manuales sólo sirven para áreas de deterioro pequeñas o localizadas. Para grandes áreas o para una limpieza más completa hay que utilizar métodos mecánicos o automáticos.

A CONTINUACION SE INDICAN LOS DIVERSOS METODOS MAS UTILIZADOS EN LOS ASTILLEROS:

a) TRATAMIENTOS MANUALES Y RASPADURA MANUAL: Este método es casi inútil. La mayoría de las veces sólo sirve para quitar el material ya desprendido y la contaminación principal. No quita la cascarilla compacta, resultado de la herrumbre, que existe con frecuencia. El área del caso de una embarcación es, de por sí, un gran obstáculo para cualquier método de limpieza totalmente manual.

b) TRATAMIENTO CON CHORRO HIDRAULICO (LIMPIEZA CON AGUA) A GRAN PRESION: La operación consiste en dirigir un chorro de agua a gran presión contra la superficie. El efecto dependerá de la naturaleza y condición de la superficie, y también en la presión del agua. La distancia de la boquilla de la superficie, y el ángulo entre el chorro y la superficie también influirán. Generalmente, se emplean presiones entre  $140 - 210 \text{ kg/cm}^2$  ( $2000 - 3000 \text{ lb/in}^2$ ) para remover contaminación superficial, incrustaciones tipo concha quizás resistan el chorro de agua.

Cuando hay que remover pintura defectuosa se emplean presiones de hasta  $350 \text{ kg/cm}^2$  ( $5000 \text{ lb/in}^2$ ). Este método nunca elimina todas las manos de pintura, aún a estas presiones elevadas, aunque sí eliminan las pinturas débiles o de poca adhesión.

Para el chorro hidráulico, se introducen materiales abrasivos en el chorro de agua. Este método puede utilizarse para remover pinturas resistentes y duras, y cascarilla de corrosión, dando buenos resultados.

Normalmente este método se limita a presiones inferiores a  $210 \text{ kg/cm}^2$  ( $3000 \text{ lb/in}^2$ ). Seleccionando cuidadosamente el abrasivo y ajustando la presión, se pueden lograr resultados exactos, por ejemplo, para remover pintura antiincrustante sobre pintura anticorrosiva, sin dañar demasiado la superficie anticorrosiva. Si se daña la pintura subyacente, entonces hay que reparar las áreas dañadas.

Después de la aplicación de chorro hidráulico es normal -- que se forme una oxidación rápida sobre las superficies de acero expuestas a la atmósfera. La superficie limpia se -- oxida rápidamente mientras esté húmeda. Se recomienda que el óxido desprendido que se forma en la superficie sea removido con cepillos de alambre rotativos. La coloración rojiza que queda, firmemente adherida, provee una superficie aceptable para la mayoría de las pinturas para el exterior.

c) TRATAMIENTO CON CHORRO ABRASIVO: Hasta ahora, la ---- limpieza con chorro abrasivo es el método más eficaz de lograr semejante superficie. El nivel de limpieza que se obtiene con chorro de perdigones o con granalla ha sido in--vestigado por diversas autoridades, y el Instituto de Normas Sueco ha publicado un libro de referencia con fotografías, ilustrando los diversos grados. El libro muestra los diversos estados de la superficie de acero con respecto a la corrosión antes de la limpieza, y el resultado que se - puede obtener para cada estado raspando, con cepillos de - alambre y aplicando chorro de granalla.

El grado más normal que se requiere en la práctica para la aplicación de pintura recibe la designación de Sa2½. El --

grado de preparación más elevado es Sa3, y hay algunas pinturas que requieren este grado.

Con frecuencia, son razones de economía las que deciden el grado de limpieza que se consigue, pero en muchos casos la economía en la limpieza puede traer consigo un gasto mucho mayor de mantenimiento posterior.

La limpieza de la superficie por el chorro abrasivo es el resultado del impacto del producto abrasivo sobre esa superficie. La fuerza de este impacto depende del suministro de aire comprimido. Cuando mayor sea la velocidad, mayor será la fuerza del impacto, y cuando mayor sea la fuerza del impacto, mayor será la velocidad de limpieza. Por consiguiente, la limpieza con chorro abrasivo requiere que se mantenga una presión elevada.

La mayoría de los compresores portátiles o instalaciones de aire comprimido trabajan a presiones de hasta  $7.03 \text{ kg/cm}^2$  - ( $100 \text{ lb/in}^2$ ). Esta cifra es considerada como la presión de trabajo ideal, y debe mantenerse (o lo más cerca posible) - hasta en la misma boquilla. Presiones inferiores a  $7.03 \text{ kg/cm}^2$  ( $100 \text{ lb/in}^2$ ) limpian a una velocidad más lenta, y se llega a un punto, alrededor de los  $4.22 \text{ kg/cm}^2$ , (  $60 \text{ lb/in}^2$  ), cuando el chorro abrasivo ya no es económico.

Se debe utilizar siempre manguera del tipo adecuado para -- llevar aire comprimido más el material abrasivo desde la máquina y la boquilla. Nunca se debe utilizar manguera que ha sido fabricada para llevar exclusivamente aire comprimido. Esta debe extenderse en una línea tan recta como sea posible, evitando curvas muy agudas. Cualquier curva aguda causa un desgaste excesivo en la manguera, pudiendo causar una

explosión peligrosa.

Las boquillas se fabrican de diversos materiales. En algunos casos los materiales se refieren solamente al revestimiento, pero en otros puede significar toda la boquilla. Existen boquillas de los siguientes materiales:

- a) Boquillas cerámicas: normalmente tienen una vida muy corta y pueden dañarse accidentalmente.
- b) Boquillas de hierro colado: una vida corta, pero mejor que las boquillas cerámicas.
- c) Boquillas de aleación de boro: una vida de hasta 60 horas cuando se utilizan con abrasivos minerales. Relativamente baratas.
- d) Boquillas con revestimiento interior de carburo de tungsteno: larga vida, estos artículos cuestan mucho, pero si se tiene cuidado y no se abusa de ellos resultan rentables.
- e) Boquillas con revestimiento interno de carburo de boro: una vida muy larga; precio elevado pero muy rentables.

En 1954 se desarrolló la boquilla Venturi, en la cual hay una garganta de entrada grande (con ángulo convergente) que va disminuyendo gradualmente hasta una corta sección recta en el centro de la boquilla, aumentando con ángulo divergente hasta la extremidad de salida. La velocidad de salida del material abrasivo a  $7.03 \text{ Kg/cm}^2$  ( $100 \text{ lb/in}^2$ ) es más del doble del valor con una boquilla de diámetro recto, siendo aproximadamente 720 km/hr. Es evidente que, debido

a la mayor velocidad del material abrasivo, el impacto y, - por consiguiente la velocidad de limpieza, es mucho mayor - usando una boquilla Venturi.

#### MATERIALES ABRASIVOS FUNGIBLES.

Existen diversos materiales abrasivos fungibles que son:

- a) Minerales abrasivos: escorias que se producen en la refinación del cobre o del hierro. Estos son los que se usan normalmente. Deben de ser duros y angulares, para cortar bien. La dureza de la escoria cuprífera suele ser más consecuente que la de la escoria y también es más pesada.
- b) Arenas, granitos y otras granallas silíceas.
- c) Productos abrasivos agrícolas: estos son blandos y se usan generalmente para dar un buen pulimento de la superficie, y no para cortar.

Uno de los factores individuales de mayor importancia para que la operación de chorro abrasivo tenga éxito es el uso - del material abrasivo correcto. El material abrasivo incorrecto puede causar una superficie incorrecta. Es decir, - un grado de aspereza incorrecto para la fijación de la pintura. Esto se mide desde lo alto de la cumbre más alta has ta el fondo del valle más profundo, y se expresa en milésimas de pulgada o micras. Lo que es aún más importante es - que si se usa un material abrasivo incorrecto, toda la operación será lenta y poco económica.

## FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCION DEL ABRASIVO.

Hay seis factores, cualquiera de los cuales puede tener un efecto importante en el rendimiento del producto abrasivo:

- a) La gravedad específica.
- b) La dureza.
- c) La resistencia.
- d) El tamaño.
- e) La forma.
- f) El costo.

a) **GRAVEDAD ESPECIFICA:** Cuanto más pesada sea la partícula, más energía se producirá y más trabajo se hará. Por lo tanto, en el caso de partículas de tamaño idéntico, la partícula con la mayor gravedad específica hará proporcionalmente más trabajo que una partícula con una gravedad específica inferior.

Así pues, al seleccionar un material abrasivo, lo primero que hay que hacer es averiguar la gravedad específica, eligiendo el que tenga el mayor factor de peso.

b, c) **DUREZA Y RESISTENCIA:** Estos dos factores deben considerarse a la vez. El principio de la energía cinética, de que ésta se transfiere de un objeto en movimiento al objeto estacionario, tiene aplicación nuevamente. Cualquier deformación o rotura de la partícula en movimiento tiene como consecuencia que esa partícula pierda energía y, por lo tanto, disminuye la cantidad de energía que se transfiere al artículo receptor. Por consiguiente, se debe seleccionar un producto abrasivo que, al dar contra la superficie a lim

piar no se rompa o cambie de forma. Idealmente, claro está, esto sería algo como el acero endurecido, pero su costo impide que se utilice este tipo de material abrasivo. Hay -- que esperar, por lo tanto, que todos los materiales abrasivos fungibles tengan una resistencia limitada a la fragmentación y deformación.

Sin embargo, se pueden calcular los dos factores de dureza y resistencia. Es evidente que lo que se quiere es una combinación de los dos factores. No sería de gran utilidad el tener un material abrasivo muy duro que se fragmentase completamente con el impacto, con la consiguiente pérdida de -- energía, ni tampoco habría gran ventaja en tener un mate- -- rial abrasivo muy resistente que, en el momento del impacto, se deformase, nuevamente perdiendo energía. Lo que se quiere es una combinación de los dos.

Normalmente se mide la dureza de acuerdo con la escala Mohs. Los productos abrasivos fungibles varían mucho en dureza, -- pero los mejores productos disponibles están normalmente -- dentro de los valores 6 - 7 de esta escala, (que va del 1 al 10 en orden ascendente).

La resistencia se mide con una prueba de fragmentación. Se colocan diversas partículas de granalla de tamaño similar -- en un recipiente debajo de una pesa de acero endurecido, -- que está suspendida a una altura constante por encima del -- recipiente. Se deja caer la pesa que, en el impacto, fragmentará una cierta proporción de las partículas del producto abrasivo. El porcentaje de partículas fragmentadas es -- el índice de fragmentación. Cuanto más bajo sea el número, mayor será la resistencia del material. En el campo de materiales abrasivos fungibles, este valor puede ir desde 18\_

hasta 55 fragmentos.

Como se podrá apreciar fácilmente, materiales abrasivos con un valor de fragmentación muy elevado pierden una proporción tan grande de su energía en el impacto que la cantidad de trabajo que hacen es muy pequeña.

Repetimos, pues, que es necesario seleccionar un material abrasivo que tenga una combinación del número Mohs más alto y el índice de fragmentación más bajo.

d) TAMAÑO: Cuando se utiliza aire comprimido como la fuerza motriz para dar velocidad al material abrasivo, los granos van transportados en la corriente de aire y no son empujados o chupados. Así pues, es evidente que hay un óptimo de lo que viajará con la corriente de aire. Una partícula demasiado pesada tendrá la tendencia a caerse conforme va viajando. Partículas demasiado pequeñas perderán velocidad rápidamente al ser proyectadas de la boquilla, al encontrarse con la resistencia de la presión atmosférica.

La velocidad es un factor muy importante, debido a la relación entre la velocidad y el trabajo hecho. Como el trabajo que se hace es proporcional al cuadrado de la velocidad, es evidente que la velocidad máxima tenga que ser de mayor importancia.

No puede haber un tamaño óptimo en todos los casos, puesto que esto dependerá de la gravedad específica del material.

e) FORMA: Normalmente, en una operación de tratamiento con chorro se utilizan granallas angulares, y granallas afiladas y uniformes son preferibles a partículas laminadas o

planas.

f) COSTO: Si bien, como en todo, el costo tiene que ser considerado, no se debe suponer que un material abrasivo ba rato es, necesariamente el más económico. Los materiales - abrasivos baratos son inevitablemente de baja gravedad espe pe cífica, friables, rompiéndose con facilidad, y con frecuen cia también tienen una forma incorrecta.

Se puede calcular que aunque un material abrasivo barato -- puede costar 25% menos, en la práctica costará mucho debido a su baja velocidad de limpieza y a la mayor cantidad de ma terial necesario para limpiar un área dada.

PERFIL DE LA SUPERFICIE: Los factores que ya se han mencio no se refieren, principalmente a la velocidad de la lim pie za, pero también es necesario controlar el perfil de la superficie o aspereza, resultante de la aplicación del cho rr o abrasivo.

Este perfil superficial se mide, normalmente, averiguando - la distancia entre la punta de una cumbre y el fondo del va lle adyacente de una superficie. Normalmente esto se mide en milésimas de pulgada (una milésima de pulgada = 25.4 mi cro nes).

Si bien estos valores se pueden medir con gran precisión en un laboratorio, con las condiciones bajo control, la difi cul tad de obtener información exacta sobre el perfil de una superficie en otros lugares es grande.

La importancia de lograr un perfil de la superficie correc ta

to se debe al hecho de que un perfil muy profundo significa que o bien es necesario usar mucha pintura, para asegurar -- que todas las cumbres queden cubiertas, o si se usa poca -- pintura, entonces las cumbres quedan sin cubrir, y toda la mano de pintura empezará a deteriorarse rápidamente. Pero, si el perfil de la superficie es poco profundo, la adherencia de la pintura será mala, y por lo tanto también se deteriorará.

Afortunadamente, hay una cierta relación entre el tamaño de los materiales abrasivos y el tipo de perfil superficial -- que se produce. Así pues, aunque es difícil el medir el -- perfil de superficie que se produce en el taller o astillero, es razonablemente fácil producir el perfil con la pro-- fundidad que se requiere seleccionando el material abrasivo correctamente. La tabla 3 indica los valores promedio del perfil que se puede obtener utilizando una escoria cuprífera abrasiva:

TABLA 3

PERFILES DE SUPERFICIE QUE SE PUDEN PRODUCIR CON UN MATERIAL  
ABRASIVO DE ESCORIA CUPRIFERA.

TAMAÑO DEL MATERIAL ABRASIVO EN MM.	PERFIL SUPERFICIAL PROMEDIO EN MICRONES
3.125 - 1.00	200
1.00 - 0.50	100
1.00 - 0.146	87
0.50 - 0.250	25

NORMAS PARA LA LIMPIEZA DEL ACERO CON CHORRO ABRASIVO: El grado de limpieza que se requiere variará según el sistema de pintura necesario para proteger el acero (en el ambiente donde va a usarse) contra la corrosión.

Cuatro normas reconocidas internacionalmente son las del -- Steel Structures Painting Council (SSPC), de los Estados -- Unidos, las Normas Industriales Suecas (SIS-05-59-00), las Normas Británicas (BSS 4232:1967) y las Normas Japonesas -- (SPSS).

Las equivalencias entre las cuatro normas son las siguien-- tes:

<u>BSS.4232</u>	<u>SSPC</u>	<u>SIS-05-59-00</u>	<u>SPSS</u>
Primera Calidad	Metal Blanco SP5	Sa3	JASh 3 ó JASd 3
Segunda Calidad	Metal Casi Blanco SP10	Sa2½	JASh 2 ó JASd 2
Tercera Calidad	Comercial SP6 Chorro a cepi llar SP7	Sa2	Jash 1 ó JASd 1
		Sa1	-

NORMAS DEL CONSEJO DE LA PINTURA DE ESTRUCTURAS DE ACERO -- (SSPC): La primera organización que creó normas fue la -- SSPC de Norteamérica. En 1952 presentaron sus "Normas para la Preparación de Superficies" SSPC-SP52T. Estas especificaciones fueron modificadas en 1963, y los tres niveles de acabado pueden resumirse ahora de la siguiente forma:

No. 5 Limpieza con chorro abrasivo hasta Metal Blanco - -

SSPC-SP-5-63

- No. 10 Limpieza con chorro abrasivo hasta casi metal blanco, SSPC-10-63T
- No. 6 Limpieza con chorro abrasivo hasta niveles comerciales SSPC-SP-6-63

Las especificaciones indican condiciones sobre:

- a) La limpieza anterior, por ejemplo, remoción de grasa, etc.
- b) Remoción de herrumbre masiva por medio de herramientas manuales.
- c) El tipo de chorro abrasivo que se permite.
- d) Los tipos y tamaños de materiales abrasivos.
- e) Detalles de las técnicas de aplicación de chorro abrasivo.
- f) Perfil de la Superficie.
- g) Plazo de tiempo que hay que dejar pasar antes de la imprimación.

NORMAS INDUSTRIALES SUECAS SIS-05-5900-1967: El Comité sobre la Corrosión de la Academia Sueca de Ingeniería desarrolló un método visual para establecer normas.

Se establecieron cuatro grados de herrumbre de las superficies. Estas iban desde el acero acabado de salir de la laminación hasta acero muy corroído. Se sacaron fotografías estándar de cada grupo con la clasificación A, B, C y D.

También se establecieron, mediante raspadura y cepillado manuales, cuatro grados de limpieza, sacándose fotografías similares, clasificadas ST.0, St.1, ST.2 y ST.3.

Se estableció la misma clasificación para la limpieza con chorro abrasivo. Se sacaron fotografías de los resultados y se clasificaron.

- Sa.1 - Limpieza ligera mediante chorro abrasivo.
- Sa.2 - Limpieza a nivel comercial mediante chorro abrasivo.
- Sa.2½- Una limpieza completa con chorro abrasivo.
- Sa.3 - Limpieza hasta conseguir metal blanco.

Cada grado de limpieza fue relacionado con una condición de la superficie original.

La especificación Británica 4232:1967 también sugiere cómo se puede medir la aspereza de la superficie.

1. Por medio de secciones.
2. Por medio de rectificación.
3. Midiéndola directamente con microscopio.
4. Trazando el perfil.

#### 4.1.2 APLICACION DE LA PINTURA

La pintura como medio de protección en la Industria Naval - reúne una serie de condiciones inmejorables, como son: bajo costo, rápida aplicación (empleando un gran número de operarios) y mano de obra que no requiere ser altamente especializada.

Al aplicar las pinturas, los factores más importantes a considerar son la condición y la temperatura de la superficie y las condiciones atmosféricas en el momento de pintar. -- Cuando una embarcación entra en dique seco, la temperatura del casco hasta la línea de flotación es igual a la del - - agua. Por encima de la línea de flotación la temperatura - del acero es más cercana a la temperatura atmosférica

Durante la noche la temperatura del acero baja. Sube de -- nuevo durante el día, pero siempre hay un intervalo entre - el cambio de la temperatura del acero y el de las condiciones atmosféricas, de manera que existe la posibilidad de -- condensación sobre la superficie de éste. Ocurre condensación si la temperatura del acero está por debajo del punto de condensación de la atmósfera. Si existe la probabilidad de que esto sea un problema, debe vaciarse el buque totalmente de agua de lastre para disminuir su masa térmica, tan pronto como entre en dique seco.

El mal tiempo es un problema bien conocido por los que usan pinturas marinas. La mayoría de las pinturas toleran humedades elevadas, pero no debe permitirse que la humedad conduzca a la condensación en la superficie a pintarse. Con - el fin de determinar si una superficie está húmeda o no, se

debe medir la temperatura del acero, utilizando un termómetro de superficie, calculando el punto de condensación después de medir la humedad con un hidrómetro. No debe aplicarse pintura si la temperatura del acero está a menos de  $-3^{\circ}\text{C}$  por encima del punto de condensación.

La aplicación de pinturas en la superficie del casco consta de varias capas. Cada una de ellas cumple distintos objetivos, por lo que normalmente son de diferente composición e incluso tipo.

Dentro de las diferentes capas de pintura tenemos las siguientes:

1. Pintura de imprimación
2. Pintura anticorrosiva
3. Pintura antiincrustante

1. PINTURA DE IMPRIMACION: Una vez que el acero ha sido limpiado, éste es muy activo y propenso a una rápida corrosión por lo que es necesario efectuar una rápida imprimación. Actualmente en los astilleros, los equipos de pulverización de imprimación sincronizados resultan apropiados para proteger el acero. Las películas de pintura que son aplicadas, son delgadas y únicamente evitan temporalmente la corrosión.

Las características ideales que deben poseer estas imprimaciones son las siguientes:

- a) Fácil aplicación con brocha o pistola.
- b) Rápido secado.

- c) Compatibilidad versátil con las capas posteriores de pinturas de fondo.
- d) Resistencia al daño mecánico.
- e) Compatibilidad con la protección catódica.
- f) No causar interferencias con las operaciones de soldadura.

Son variadas las imprimaciones existentes en la actualidad, aunque, por lo general, se pueden clasificar en uno de los siguientes tres grupos, atendiendo a su pigmentación:

Imprimaciones pigmentadas con aluminio.- No deben usarse en tanques de combustible por el peligro de explosión que presentan a causa de la reacción térmica que se produce entre el pigmento y la posible herrumbre desarrollada en servicio.

Imprimaciones pigmentadas con zinc.- La toxicidad de los humos de zinc hace desaconsejable su empleo si las operaciones de soldadura se realizan en espacios cerrados.

Imprimaciones de cromato de zinc.- No tienen los inconvenientes de las imprimaciones anteriores, aunque dan películas de menor duración. Más que una capa de pintura producen un tratamiento de fosfatado. Estas imprimaciones están constituidas por la resina polivinil butiral, tetroxicromato de zinc, alcoholes etílico y butílico, ácido fosfórico y agua. Tienen la ventaja de tolerar pequeñas cantidades de agua en la superficie metálica durante su aplicación. La misión del ácido fosfórico es la de provocar un ataque superficial y favorecer así la adherencia de la pintura.

También existen otras imprimaciones a base de polvo de zinc y silicatos alcalinos, que presentan el mencionado problema de toxicidad de las imprimaciones de zinc, y las de tipo --epoxióxido de hierro que, aunque son bastante aceptables, -- presentan en ocasiones, problemas a la hora de formar una --película continua necesaria para la protección.

El espesor necesario a alcanzar en esta primera capa de imprimación varía con el tipo de formulación, no sobrepasando por lo general los 50 micrones (2 milésimas de pulgada).

2. PINTURA ANTICORROSIVA: Son numerosas y variadas las -- formulaciones existentes de estas pinturas y de las que -- constantemente vienen apareciendo. En una primera división se le podría clasificar en dos grandes grupos:

Pinturas convencionales.- Son las primeras que aparecieron y están basadas en aceites naturales y resinas reactantes -- (oleorresinosas). Requieren poca preparación superficial -- para su aplicación y se adhieren bastante bien, pero tienen la desventaja de absorber mucha humedad, con el inconveniente -- que esto supone desde el punto de vista de su resistencia -- a la corrosión.

Pinturas plásticas.- Más recientes y constituidas por resinas -- epoxi, vinílicas, clorocaucho, poliéster, etc. Son pinturas -- de alta resistencia química y requieren un grado de -- preparación superficial más alto que las anteriores.

Pinturas vinílicas.- Fueron desarrolladas durante la segunda -- guerra mundial ante la apremiante necesidad de que el --

barco estuviese largos períodos de tiempo sin ir al dique. Requieren alta calidad en la preparación superficial, al tener apenas tolerancia al aceite, grasa, humedad, etc. El espesor necesario a aplicar nunca debe de ser inferior a -- 150 micrones (6 milésimas de pulgada) si no se quiere correr el riesgo de que ocurran pronto desperfectos en la capa. Se han modificado últimamente con pigmentos metálicos (aluminio, plomo), que mejoran la resistencia a la corrosión.

Pinturas epoxi.- Son más recientes que las pinturas vinílicas. Existe gran variedad dentro de ellas. Mientras que unos prefieren las pinturas epoxi catalizadas con aminas, otros utilizan las poliamidas o ésteres como catalizador. Lo mismo que las pinturas vinílicas, requieren una preparación superficial bastante aceptable. Deben alcanzar al aplicarlas un espesor aproximado de 150 a 200 micrones (6 a 8 milésimas de pulgada).

Pinturas a base de resinas más alquitrán.- Son de mucha utilidad y suelen dar un buen resultado cuando el repintado es frecuente. Toleran peor preparación superficial que las anteriores y secan en poco tiempo. Con el fin de que sean más compatibles con la humedad superficial, se les añaden disolventes de tipo alcohol. Las pinturas epoxi-alquitrán observan un comportamiento excelente en espesores elevados, de unos 500 micrones (20 milésimas de pulgada).

Pinturas a base de zinc.- Según el vehículo que acompaña al zinc, pueden dividirse en pinturas de tipo inorgánico, cuando aquél es silicato de sodio, o de tipo orgánico, cuando

do es una resina vinílica o epoxi. Son de mucha aplicación en Europa, mientras que en América se resisten a emplearlas en zonas de inmersión continua por temor a posibles roturas de las capas por efecto de la corrosión del zinc; se intenta actualmente sellar estas capas con pinturas epoxi.

Pinturas a base de poliéster.- Son las últimas que han aparecido y con completo éxito. Se usan reforzadas con fibra de vidrio, con lo cual simulan el material de construcción de pequeñas embarcaciones. Una capa final de metalizado de cobre sirve como material antiincrustante. Se puede conseguir así una protección de más de quince años, aunque su costo es elevado.

3. PINTURA ANTIINCRUSTANTE: En las estructuras marinas hay que considerar dos tipos diferentes de protección del sistema de pinturas. Uno es la protección contra la corrosión, que se consigue mediante una buena elección de la pintura de acabado y, a veces, con la aplicación complementaria de protección catódica. Otra es la protección contra las incrustaciones biológicas, que aparecen sobre todo, cuando el barco está fondeado en puerto o su velocidad es inferior a 2 nudos.

Sería ideal afrontar estos dos diferentes tipos de protección con una única pintura, pero no se ha conseguido hasta el momento ninguna pintura que cumpla simultáneamente con las dos funciones. La experiencia ha demostrado que el mercurio, cobre, etc., elementos metálicos base para la fabricación de las pinturas antiincrustantes, pueden acelerar la corrosión del caso si no son adecuadamente aislados.

Cuando se sumerge un cuerpo cualquiera en el mar, no tarda en recubrirse de lo que se llama "velo biológico". Este velo, que está formado por bacterias envueltas en mucus, diatomeas, algas unicelulares autótrofas y protozoos, retiene partículas minerales y orgánicas en suspensión en el agua. Su formación facilita la posterior fijación de organismos voluminosos, vegetales y animales, que constituyen las incrustaciones biológicas. Tales incrustaciones son perjudiciales no sólo desde el punto de vista de la corrosión (arrancan las capas de pintura, dejando el acero al descubierto), sino también por el aumento del coeficiente de fricción que producen.

Es del todo necesaria pues la aplicación de pinturas anti-incrustantes después de la última capa de pintura anticorrosiva. La acción de estas pinturas se fundamenta en la cesión de iones tóxicos, a una velocidad que depende de la cantidad y solubilidad del tóxico empleado y, en especial, del tipo de resina. No es suficiente agregar grandes cantidades de tóxico a una pintura para que se tenga asegurada la calidad de la misma, sino que mucho más importante resulta la incorporación de una resina capaz de ceder estos iones dentro de unos niveles críticos. Si la velocidad de lixiviación es excesiva, la pintura queda rápidamente exenta de tóxico, con la consiguiente acumulación de adherencias.

Es un hecho incuestionable que las pinturas antiincrustantes pierden gran parte de su contenido tóxico durante el período en que el barco permanece en movimiento; esta parte de tóxico se malgasta y el tiempo de vida de una pintura se acorta por ello, extraordinariamente. Este es un campo de

acción interesante hacia el que van dirigidas en la actualidad un gran número de investigaciones.

Por otra parte, en lo que se refiere a la rugosidad del casco, es de gran importancia -y todavía no se ha reconocido - lo suficiente- obtener una superficie final del casco lo -- más lisa posible, pues la presencia de cualquier rugosidad puede incrementar notablemente la resistencia dinámica del barco. Se gastan grandes sumas de dinero en la búsqueda de una configuración hidrodinámica del casco con el fin de obtener una mínima resistencia al deslizamiento y, sin embargo, se descuida en grado sumo el factor "tratamiento del -- casco". La rugosidad superficial puede ocasionar una resistencia total.

La resistencia al rozamiento depende tanto de la microrrugosidad derivada de una mala aplicación de la pintura como de la macrorrugosidad originada por la corrosión, las incrustaciones biológicas, la destrucción de la pintura, la colocación de ánodos salientes, etc. Algunos estudios sobre el - tema señalan que un aumento de rugosidad equivalente a 25 - micrones (1 milésima de pulgada) origina un aumento del - - 2.5% en el consumo de combustible para lograr una misma velocidad de marcha. La pérdida de velocidad y el exceso en el consumo, junto con la corrosión, son problemas que tienen una gran importancia para el armador.

En la búsqueda de la máxima economía de combustible, la - - atención mayor se centra en la obtención y mantenimiento -- del casco tan liso como sea posible. Su importancia económica queda puesta de manifiesto al considerar que, mediante

los modernos métodos que actualmente existen para la preparación de la superficie y aplicación de pintura, se pueden alcanzar rugosidades medias de 50 micrones (2 milésimas de pulgada), con un ahorro del 15% de combustible.

## 4.2 PROTECCION CATODICA

### 4.2.1 FUNDAMENTOS DE LA PROTECCION CATODICA

LOS POTENCIALES: La cantidad de metal consumido y la velocidad de disolución del mismo, dependen de la intensidad de la corriente, medida en amperios o miliamperios.

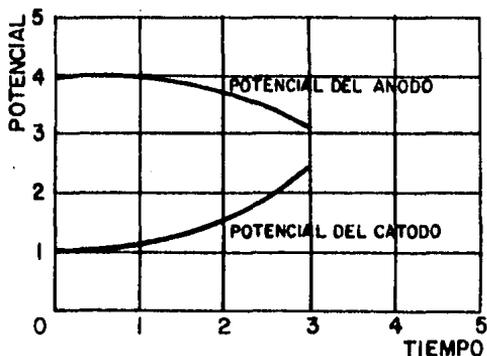
Sin embargo, en muchos casos es imposible medir la corriente local y confirmar mediante esta medida que se ha conseguido la protección catódica. En cambio, pueden establecerse normalmente ciertos valores de potencial metal-electrolito en los cuales, y bajo circunstancias específicas, la corrosión no se produce.

La energía principal que produce una determinada reacción de corrosión, es la diferencia de potencial (medida en voltios y milivoltios) entre el ánodo y el cátodo. Por ejemplo, el zinc, unido al aluminio, desarrolla en agua de mar una diferencia de potencial de unos 300 milivoltios, mientras que el zinc y el cobre generan 700 milivoltios.

Para conseguir la protección catódica en cualquier "pila de corrosión", la diferencia de potencial de corrosión debe ser contrarrestada por una diferencia de potencial de la --

misma magnitud, pero trabajando en dirección opuesta.

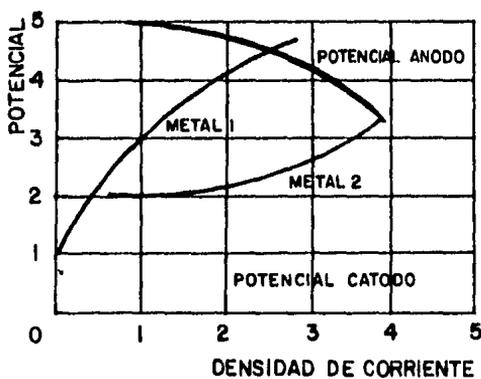
POLARIZACION (CAMBIOS EN EL POTENCIAL): A medida que cualquier reacción se va desarrollando, hay una cierta acumulación de productos de reacción sobre el ánodo y el cátodo, - lo cual produce una disminución en la energía inicial. El potencial del ánodo tiende a derivar hacia el del cátodo y viceversa (ver figura 5).



POLARIZACION CON RESPECTO AL TIEMPO

FIGURA 5

En el campo de la corrosión marina, la polarización que tiene lugar en el cátodo ejerce una mayor influencia de control que el pequeño grado de polarización del ánodo. Algunos metales se polarizan más rápidamente que otros, y la polarización está en función de la densidad de corriente (ver figura 6).



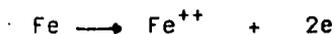
POLARIZACION CON RESPECTO A  
LA DENSIDAD DE CORRIENTE

FIGURA 6

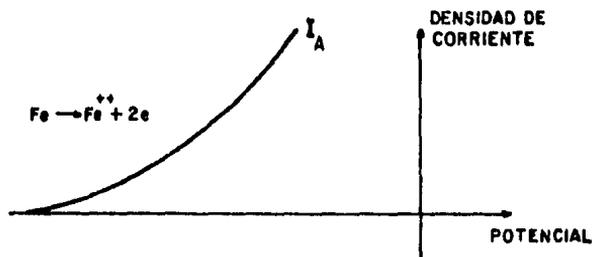
El factor despolarizante de mayor efectividad en la corrosión marina y el que mejor puede rebajar el potencial catódico hasta su valor inicial, es un abundante suministro de oxígeno. Ello se demuestra claramente en la corrosión más intensa que se produce alrededor de la hélice y justo por debajo de la línea de flotación. Estas variaciones en los potenciales se han mencionado aquí brevemente como ejemplo de algunas de las dificultades que existen para medir el potencial, que aparentemente no tiene un valor constante.

POTENCIAL Y CORRIENTE: Vamos a considerar a continuación - las correspondencias que existen entre la corriente y el potencial. Para analizar como varía el potencial con la corriente, o mejor todavía con la densidad de corriente, debemos considerar por separado las circunstancias que se producen en el ánodo y el cátodo. La determinación de las correlaciones existentes entre los valores de la densidad de corriente y los correspondientes potenciales que se producen en las "medias pilas" anódicas y catódicas, sólo son posibles mediante ciertas instalaciones en el laboratorio. La figura 7 muestra la reacción en el ánodo.

La reacción química:



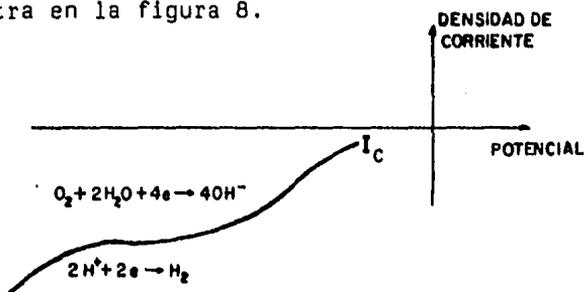
está íntimamente ligada a un proceso eléctrico en el cual - la densidad de corriente y el potencial están mutuamente relacionados de tal manera que cuando la primera aumenta, el otro aumenta también y viceversa.



DENSIDAD DE CORRIENTE CON RESPECTO AL POTENCIAL ANODICO

FIGURA 7

En el cátodo, las circunstancias son más complejas, tal como se muestra en la figura 8.



DENSIDAD DE CORRIENTE CON RESPECTO AL POTENCIAL CATODICO

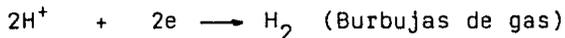
FIGURA 8

La corriente catódica es negativa por definición, mientras que la corriente anódica es considerada como positiva.

Esta definición convencional determina su posición debajo - del eje de potenciales en la figura 8. Puede verse en ella que la densidad de corriente no cambia dentro de un amplio margen de potenciales, en el cual el proceso catódico es la reducción de oxígeno, según la reacción:



Cuando la densidad de corriente aumenta apreciablemente, se inicia la producción de hidrógeno gaseoso:

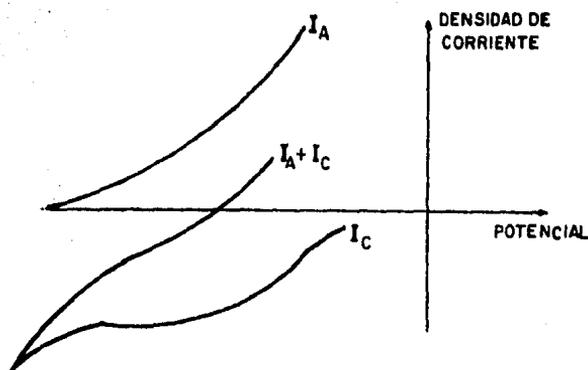


de acuerdo como se explicó, acompañada por una disminución del potencial.

Para tener una imagen general de lo que sucede en una pila de corrosión, debemos reflejar la suma de las corrientes -- anódica y catódica que se producen a cada potencial:

$$I_A + I_C = \text{Densidad de corriente total}$$

Dado que la densidad de corriente catódica es considerada - como negativa, el valor de  $I_C$  debe ser restado de los correspondientes valores de  $I_A$ . La figura 9 nos da una idea general de la "pila electroquímica".



DENSIDADES DE CORRIENTE CON  
RESPECTO AL POTENCIAL

### FIGURA 9

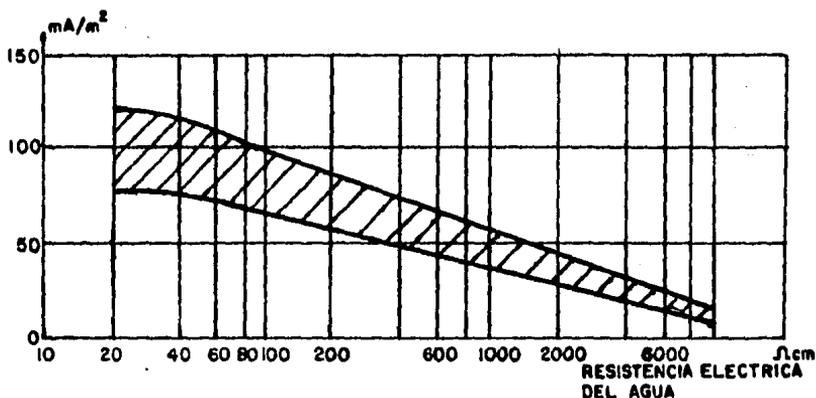
Cuando la curva que represente  $I_A + I_C$  corta al eje de potenciales, no se producirá corrosión, y es precisamente mediante la superposición de una contracorriente igual a la suma de las corrientes parciales anódicas y catódicas - - - ( $I_A + I_C$ ), como se consigue detener la corrosión.

EL MEDIO: El electrólito ejerce, en varios aspectos su influencia particular. Aquí limitaremos nuestra atención a la resistencia eléctrica específica del electrólito, que es la que determina la densidad de corriente protectora neces

ria para controlar la corrosión. La relación entre la densidad de corriente y la resistividad del agua de mar, se muestra en la figura 10.

Pueden observarse amplias diferencias. En el océano abierto, el acero desnudo requiere de una densidad de corriente de 80 a 120 miliamperios/m<sup>2</sup>, mientras que en los puertos -- fluviales de Europa Oriental, son suficientes de 40 a 70 miliamperios/m<sup>2</sup>.

En aguas quietas o con movimientos lentos, es suficiente, - en la mayoría de los casos, una densidad de corriente de -- unos 100 miliamperios/m<sup>2</sup> como máximo para proteger el acero desnudo.



DENSIDAD DE CORRIENTE PARA PROTEGER ACERO DESNUDO

FIGURA 10

Esta cifra descenderá rápidamente hasta unos 30 miliamperios/m<sup>2</sup>, debido a la formación en el cátodo de depósitos -- calcáreos, producidos por la presencia de iones calcio y -- magnesio en el agua que precipitan por efecto de la alcalinidad creada alrededor de las superficies catódicas.

En cambio, si el acero se mueve a través del agua de mar, -- la densidad de corriente que se precisa es superior, debido a varios factores, el más importante de los cuales es que -- los depósitos protectores formados durante el proceso de corrusión son eliminados rápidamente por la acción de "barrido". Debido al movimiento y a la turbulencia, se producirá un abundante suministro de oxígeno, que provocará la despolarización del cátodo, tal como se ha mencionado anteriormente.

La influencia de la acción despolarizante del movimiento -- del agua sobre la superficie del acero se ilustra en la figura 11.

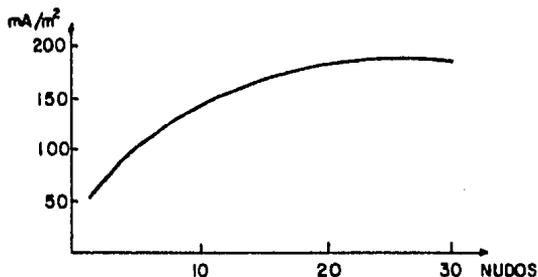


FIGURA II

La presencia de un recubrimiento modifica la densidad de corriente necesaria para la protección. La capa de pintura reduce la superficie a proteger debido al hecho de que solamente precisa protección el acero que queda al descubierto. Por tanto, únicamente se requiere corriente eléctrica protectora en aquellos lugares donde la pintura ha sido eliminada por roces, o donde el recubrimiento presenta imperfecciones, tales como porosidades y agujeros, debido a una aplicación defectuosa.

Cuando el acero se protege mediante un sistema de pintura de elevada calidad debidamente aplicada, la densidad de corriente requerida puede llegar a alcanzar valores muy bajos de hasta 1 miliamperio/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 METODOS DE PROTECCION CATODICA.

Como vimos anteriormente en la formación de pilas galvánicas, al introducir una estructura metálica en un electrólito, la destrucción de la estructura proviene de la disolución de las zonas anódicas frente a las catódicas, por aportación de electrones desde aquéllas a éstas y disolución del ión metálico.

Pues bien, este mismo proceso nos da idea del método a seguir en la protección catódica, convirtiendo la estructura metálica a proteger en el cátodo de una pila galvánica o circuito eléctrico. Esto lo podemos realizar recurriendo a la serie galvánica de los metales y escogiendo para actuar como ánodo un metal más electronegativo que el que tratamos

de proteger, o bien conectando la estructura al polo negativo de un generador de corriente continua, cuyo polo positivo introducimos en el electrólito en cuestión, mediante un ánodo que generalmente no se disuelve o sufre una disolución muy lenta. Con este método podemos comunicar a la estructura a proteger una tensión controlable en cualquier momento de la vida de la instalación.

El primer método reseñado se conoce con el nombre de Protección por Anodos de Sacrificio, y el segundo por el de Corriente Impresa.

En la Protección Catódica por Anodos de Sacrificio, la corriente polarizante la suministran los ánodos que se desgastan en beneficio de la estructura (cátodo) que permanece inalterable.

Son diversos los materiales que se utilizan como ánodos de sacrificio, las aleaciones de Magnesio, Zinc y Aluminio, son las más comunes.

Las diferencias entre los distintos tipos son las siguientes:

**Magnesio:** Sin control adecuado existente peligro de sobreprotección, además de requerir pinturas especiales en las proximidades del ánodo.

**Zinc:** Las impurezas son de la mayor importancia en el zinc, por lo que el contenido de hierro debe estar por debajo del 0.0014%. Existe poco peligro

de sobreprotección y no se requieren pinturas especiales alrededor de los ánodos.

Aluminio: (Aleaciones especiales) Escaso peligro de sobreprotección, pero se precisa mayor número de ánodos que si se usan de zinc.

Para obtener una buena protección anticorrosiva en los buques es recomendable proteger las siguientes partes del casco:

- a) Popa y Timón.
- b) Obra viva.
- c) Cajas y Tomas de mar.
- d) Hélices de Proa.

Los ánodos deben distribuirse convenientemente alrededor de la superficie mojada del casco, en proximidad o encima de las quillas de balance, aumentando su número en la zona de Popa debido al par galvánico que se origina con la hélice.

La fijación de los ánodos al casco es por medio de soldadura, para ello éstos cuentan con injertos; se recomienda limpiar los injertos con chorro de arena o cepillo para eliminar óxidos e impurezas en su superficie.

En la figura 12 se muestra un ejemplo de la disposición de ánodos en un buque.

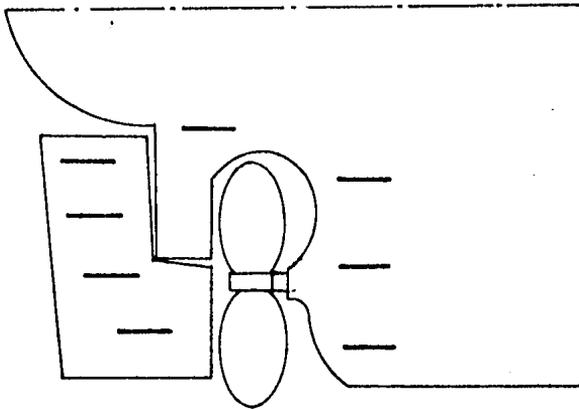
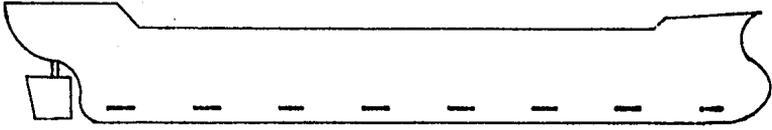


FIGURA 12

La Protección Catódica por Corriente Impresa consiste en conectar al polo negativo de una fuente de corriente continua la estructura que se desea proteger, con lo que se logra polarizar los cátodos locales de las pilas galvánicas de corrosión presentes en el metal hasta el potencial en los ánodos locales.

Son cinco los componentes básicos de este sistema de protección, como se muestra en la figura 13. El electrodo de referencia (1) es instalado a nivel del casco del buque (2) y esta expuesto al agua. El ánodo (3) es también instalado a nivel del casco pero aislado eléctricamente de este último. El controlador (4) de las fuentes de poder es conectado al electrodo de referencia. Este controlador transmite una señal a las fuentes de poder (5) para que generen un potencial constante entre el ánodo y el casco.

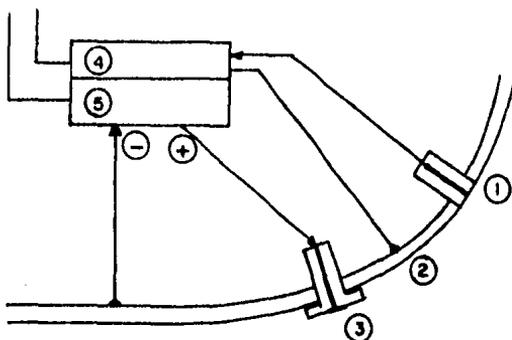


FIGURA 13

El número de ánodos es regularmente tres o cuatro. Los materiales comunmente usados para estos ánodos son:

GRAFITO  
FIERRO-SILICIO  
FIERRO-SILICIO-CROMO  
PLOMO-PLATA  
PLATINO  
TITANIO  
NIOBIO

Dos desventajas presenta este sistema. Su alto costo de -- instalación y la necesidad de que las pinturas aplicadas -- sean de mejor calidad que en el caso de los ánodos de sacrificio.

#### 4.3 COMPATIBILIDAD DEL RECUBRIMIENTO CON PINTURA Y LA PROTECCION CATODICA.

Como se ha mencionado anteriormente, la protección catódica de la carena de los buques complementa la protección sumi--nistrada por la capa de pintura. La corriente protectora - se dirige tan sólo a los poros e imperfecciones del recubrimiento, con lo que el gasto de energía es pequeño.

El problema surge al encontrarse con que no todas las pinturas operan de un modo igualmente satisfactorio frente a la protección catódica; algunas experimentan síntomas de - - - "rechazo", conducentes a un rápido deterioro. En el año -- 1948 se empezó a plantear el problema y, desde 1950, son nu

merosas las investigaciones que se han realizado en dicho campo, coincidentes todas ellas en señalar que la protección catódica puede causar graves daños al sistema de pintura si éste no ha sido elegido convenientemente. Bajo la acción de la protección catódica ciertas pinturas se modifican; unas se vuelven más plásticas y desarrollan ampollas voluminosas, otras se contraen y endurecen, agrietándose; otras alteran su color, etc.

Las causas que originan estas incompatibilidades son varias, pero vamos a destacar y analizar las tres más importantes.

- a) Alcalinidad
- b) Sobreprotección
- c) Electroósmosis

**ALCALINIDAD:** Como consecuencia de la aplicación de protección catódica a una estructura sumergida en agua de mar se produce cierta alcalinización superficial.

Cualquier sistema de protección catódica produce álcali en la inmediata vecindad del metal proporcionalmente a la corriente que fluye; ésta es tanto mayor cuando más elevado es el potencial catódico (más negativo).

La alcalinización puede tener efectos desastrosos junto con otros beneficios. Beneficios si se tiene en cuenta la posibilidad de que los organismos marinos que se fijan en la superficie del metal no sobrevivan en el medio alcalino, por lo que entonces la protección catódica actuaría como antiin crustante.

La alcalinidad repercute en el sistema de pintura aplicado, y a la hora de elegir a éste habrá que tener en cuenta, además del sistema de protección catódica empleado, la zona -- del casco de que se trate. En las regiones vecinas a los -- ánodos (círculo de aproximadamente dos metros alrededor del ánodo), las densidades de corriente son mucho más elevadas que en el resto del casco, por lo que la excesiva velocidad de formación de iones  $\text{OH}^-$  causa la saponificación y deterioro de las pinturas de baja resistencia a los álcalis allí -- aplicados.

No así en las zonas alejadas de los ánodos, donde, además -- de ser baja la velocidad de formación de álcali, el simple movimiento del agua arrastra a dicho producto, que no llega a tener en ningún momento una concentración alta en la su-- perficie de la pintura.

También habrá que tener en cuenta el sistema empleado de -- protección catódica, ya que mientras algunas pinturas, sólo moderadamente resistentes a los álcalis, toleran las condiciones que existen cuando se aplica Protección Catódica por Anodos de Sacrificio (sistemas de baja salida), no toleran, en cambio, las condiciones de operación de la Protección Ca-- tódica por Corriente Impresa (sistemas de alta salida), en cuyo caso las pinturas deberán poseer una mayor resistencia a los álcalis.

Se puede resumir diciendo que, en el caso de utilizar Pro-- tección Catódica por Corriente Impresa, las pinturas a uti-- lizar en todo el casco deben resistir valores de pH del or-- den de 11.5 (poseer una elevada resistencia a los álcalis),

mientras que si es por Anodos de Sacrificio, las pinturas - deben ser insaponificables hasta un valor de pH de 10.9, -- con excepción de las zonas vecinas a los ánodos.

b) SOBREPOTECCION: Al aplicar protección catódica, si - no se regula bien el sistema, el potencial de las distintas zonas del casco puede ser bastante diferente.

Sabemos que, cuando la densidad de corriente no es demasiado alta, el proceso catódico es la reducción de moléculas - de oxígeno con producción de iones oxhidrilo. En cambio, - si la densidad de corriente es superior a la corriente de - difusión del oxígeno, tiene lugar el desprendimiento de hidrógeno en la interfase acero-pintura. Este desprendimiento de burbujas de hidrógeno aparece cuando el potencial de la superficie catódica del acero sumergido se desplaza haccia valores suficientemente negativos. De hacerse importante este proceso, es fácil que conduzca a la destrucción completa del recubrimiento protector.

Este fenómeno, conocido como "sobrepotección", es inevitable en las zonas vecinas a los ánodos, donde las densidades locales de corriente protectora pueden alcanzar valores muy altos. El hidrógeno producido, que puede fragilizar el acero base, en el caso de aceros de alta resistencia mecánica, puede, asimismo, provocar reacciones de reducción en ciertas resinas presentes en las capas de pintura, con una pérdida de adherencia del recubrimiento protector.

c) ELECTROOSMOSIS: La electroósmosis es otro fenómeno posible en la superficie catódica recubierta por pintura, en

virtud del cual el agua se ve forzada a pasar a través del recubrimiento en la dirección del flujo de corriente, dando lugar a ampollas de humedad y a una pérdida sensible de la adherencia, con el consiguiente levantamiento del recubrimiento.

Esta penetración de moléculas de agua es igualmente posible con recubrimientos de alta resistencia química, si bien los recubrimientos delgados, relativamente permeables, son los más vulnerables. La electroósmosis aparece cuando se aplica protección catódica a una superficie sumergida y se acentúa con el voltaje aplicado.

La penetración de moléculas de agua (ósmosis) no se puede evitar en su totalidad en las pinturas, ya que todas ellas son más o menos permeables.

El grado de penetración del agua depende de muchos factores, como son; la estructura molecular del vehículo de la pintura, el carácter polimérico de la capa, las características físicas de ella (que pueden variar, a su vez, con las propiedades del solvente y la relación porcentual del pigmento), la naturaleza del pigmento y proceso de molienda, el espesor de la película, la temperatura del agua y presión hidráulica.

Por tanto, siempre existe cierta transferencia de moléculas de agua, aunque en menor grado cuando ellas no son forzadas eléctricamente a atravesar el recubrimiento.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado el concepto de corrosión tomando como ejemplo el casco de acero de los buques. La necesidad de mantener a los buques en servicio el mayor tiempo posible, obliga a que la protección y el mantenimiento de su casco sea cada vez mejor.

Para esto se deben combinar diferentes aspectos. Es necesario que la persona responsable de la reparación del buque, en este caso el ingeniero (inspector), tenga conocimiento y plena conciencia de lo que es el fenómeno de corrosión a fin de que asegure la eficiencia de los trabajos realizados en el casco.

La compatibilidad del recubrimiento con la protección catódica es importante, pues de ello depende que el mantenimiento del casco sea menos frecuente. Este último aspecto tiene su limitante: el factor económico, el cual siempre determina la calidad de los materiales y trabajos, como son la aplicación de la pintura y la protección catódica ya sea por el método de Anodos de Sacrificio o por el de Corriente Impresa.

A continuación mencionamos algunas medidas que contribuyen a mejorar los trabajos en dique y la protección del casco:

1. Prestar especial atención a la preparación de la superficie, de modo que con los métodos ya existentes se logre una mejor limpieza en los cascos, a fin de obtener un mayor rendimiento del material y una mejor adherencia de la pintura.
2. Aplicar recubrimientos por pintura mediante mejores procedimientos de pintado (pistolas de alta presión para pulverizar pinturas con alto contenido en sólidos), a fin de evitar grumos y obtener una mejor superficie.

3. Utilizar sistemas de pintura de alta calidad a fin de garantizar la duración en conjunto con la protección - catódica.
4. Desarrollar nuevas y mejores pinturas antiincrustantes, a fin de evitar que los vegetales y moluscos se adhieran al casco de los buques.
5. Diseñar mejores sistemas de protección por corriente - impresa dependiendo de la variación de corriente necesaria, cuando el barco esté navegando o esté anclado.
6. Obtener un acabado final del casco lo más liso posible a fin de que el rendimiento del combustible sea mayor.

Es cierto que detrás de todo lo anterior existe una amplia teoría que estudiar y desarrollar. Por lo que consideramos necesario que en México se fomente la investigación y experimentación como las elaboradas por algunas instituciones mencionadas en la introducción de este trabajo, no sólo en el área naval, sino en toda la industria.

El desarrollar investigaciones sobre el conocimiento y experiencias en México sobre este tema representará un gran beneficio en la economía de recursos de todo tipo.

## 6. GLOSARIO

- BABOR:** lado izquierdo de un barco viendo hacia proa.
- CALADO:** profundidad del barco desde la quilla hasta la línea de flotación.
- CARENA:** reparación hecha en el casco del barco.
- CASCO:** cuerpo de la nave.
- CODASTE:** pieza de madera o hierro puesta verticalmente sobre el extremo de la quilla inmediato a la popa; - sirve de fundamento a todo el armazón de esa parte del barco.
- DIQUE:** cavidad revestida en la orilla de una dársena, río etc., con compuertas para llenarla o vaciarla, donde se hace entrar a los buques para limpiarlos y carenarlos.
- ESCORA:** es la inclinación que sufre el barco en relación con un eje perpendicular a su eje longitudinal.
- ESTRIBOR:** lado derecho de un barco, viendo hacia proa.
- LINEA DE FLOTACION:** línea que indica qué tanto está sumergido el casco del barco.
- NUDO :** unidad de medida de velocidad, equivalente a una milla náutica por hora (1.852 km/hr).
- PICADERO DE APOYO:** madero corto, perpendicular al eje longitudinal de un dique, sobre los cuales descansa la quilla del barco en construcción o en carena.
- POPA:** parte posterior del barco.
- PROA:** parte delantera del barco.
- QUILLA:** pieza de madera o hierro, que va de proa a popa -- por la parte inferior del barco y en la cual se asienta todo su armazón.
- QUILLA DE BALANCE:** platina soldada en la intersección del fondo y el costado del casco a lo largo de babor y estribor, que disminuye el ángulo de escora.
- TIMON:** pieza de madera o de hierro articulada verticalmente en el codaste del buque para gobernarlo.

**BIBLIOGRAFIA**

- AVNER SIDNEY H, "INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA, ED. MC. GRAW HILL, MEXICO, 1977.
- "CAPAC CATHODIC PROTECTION INSTRUCTION MANUAL", HITACHI SHIPBUILDING & ENGINEERING CO. LTD., JAPON, S/F.
- "CONTROL DE LA CORROSION MEDIANTE PROTECCION CATODICA", HEMPEL MARINE PAINTS, S/F.
- FLINN RICHARD. , "MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES", ED. MC. GRAW HILL, MEXICO, 1980.
- FRANCIS L. LAQUE, "MARINE CORROSION, CAUSES AND PREVENTION", JOHN WILEY & SONS PUBLICATION, LONDRES, 1975.
- "LA CORROSION Y LA PROTECCION CATODICA", ESPAÑA, S/F.
- MORCILLO MANUEL, FELIU SEBASTIAN, "LA PROTECCION DEL CASCO DE LOS BUQUES", TECNICAS MARITIMAS, S.A., ESPAÑA, S/F.
- POURBAIX, MARCEL, "BASES FUNDAMENTALES DE LA PROTECCION CATODICA", CENTRO BELGA DE ESTUDIO DE LA CORROSION, BRUSELAS, S/F.
- "PRINCIPIOS DE LA CORROSION", HEMPEL MARINE PAINTS, S/F.
- "PROTECCION CONTRA LA CORROSION", ZINETI, S.A., ESPAÑA, S/F.
- "RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF SHIPS, LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, LONDRES, S/F.
- "TECNOLOGIA DE LA PINTURA MARINA", APUNTE DE UN SEMINARIO, MEXICO, S/F.
- ULICK R. EVANS, "DIAGRAMS OF POURBAIX", THE CORROSION AND OXIDATION OF METALS, PUBLISHERS LONDON, S/F.