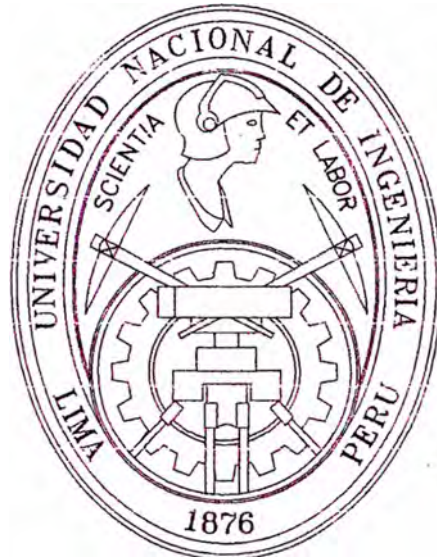


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EFFECTOS DEL FENÓMENO DE CORROSIÓN EN LAS
ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

RENE RAUL CHOQUE DIAZ

LIMA - PERU
2005

DEDICATORIA

A mis Padres por su apoyo constante en la elaboración de este informe.

Gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

A la Ing. Ing. Noemí Quintana y al Ing. Lorenzo Castro por su apoyo para realizar este trabajo.

INDICE

	Páginas
Introducción	5
Capítulo I. Conceptos Generales	6
1.1 Introducción.	“
1.2 Estudio de la corrosión.	7
1.3 La corrosión en las obras civiles.	8
1.4 Corrosión en los metales.	11
1.5 Corrosión en el acero de refuerzo.	13
1.5.1 Corrosión de estructuras expuestas al mar.	16
1.6 Carbonatación.	19
1.6.1 Inicio de la carbonatación.	20
1.6.2 Proceso de carbonatación.	“
1.7 Factores que originan la corrosión.	21
1.7.1 El Suelo	22
1.7.2 Agua	“
1.7.3 Clima	“
1.7.4 Atmósfera	“
Capítulo II. Clasificación de la corrosión.	23
2.1 Conceptos Básicos	“
2.2 Corrosión de acuerdo al medio donde se produce	24.
2.2.1 Corrosión química.	“
2.2.2 Corrosión electroquímica.	“
2.2.2.1 Ánodo	25
2.2.2.2 Cátodo	“
2.2.2.3 Electrolito	“
2.2.2.3.1 Manifestaciones de la corrosión.	26
2.3 Tipos de corrosión según la forma.	31
2.3.1 Introducción.	“

	Páginas
2.3.2 Corrosión uniforme	31
2.3.3 Corrosión por picado	32
2.3.4 Corrosión fisurante	33
2.3.5 Corrosión por erosión	“
2.3.6 Corrosión intergranular.	“
2.4 Velocidad de corrosión.	34
2.4.1 Evaluación de la velocidad de corrosión.	38
2.4.2 Importancia de la corrosión en el desarrollo económico.	39
Capitulo III. Durabilidad del concreto y métodos preventivos para evitar la corrosión.	41
3.1 Antecedentes	“
3.2 Métodos de control de corrosión.	42
3.2.1 Recubrimientos.	43
3.2.1.1 Recubrimientos no metálicos.	“
3.2.1.2 Recubrimientos metálicos.	“
3.2.1.2.1 Recubrimientos con modificación en la superficie.	44
3.2.1.2.1.1 Recubrimiento de fosfatos.	“
3.2.1.2.1.2 Recubrimiento de cromato.	“
3.2.1.2.1.3 Recubrimiento producido por anodisación	“
3.2.1.2.2 Procedimientos para el recubrimiento metálico	45
3.2.1.2.2.1 Inmersión de un metal en fusión	46
3.2.1.2.2.2 Etalísación por protección de pistola	“
3.2.1.2.2.3 Electrólisis.	“
3.2.2 Protección catódica.	47
3.2.3 Inhibidores de corrosión	48
3.3.0 Concreto	49
3.4.0 Aspectos básicos para la durabilidad del concreto.	50

3.4.1	Condiciones de exposición.	50
3.4.2	Características del lugar	51
3.4.3	Condiciones de servicio.	53
3.4.3.1	Ataque por sulfatos.	53
3.4.3.2	Exposición al agua de mar	53
3.4.3.3	Carbonatación	54
3.4.3.4	Ataque químico	"
3.4.3.5	Corrosión del acero de refuerzo.	"
3.5.0	Factores que causan el deterioro del concreto.	58
Capitulo IV.	Problemas de corrosión en diferentes obras	59
4.1	Generalidades	"
4.2	Problemática actual de las obras.	60
4.3	Datos de las Obras.	"
4.4	Caso I Muro de contención de concreto armado	"
4.4.1	Ubicación.	"
4.4.2	Características del lugar.	61
4.4.3	Origen de los daños.	"
4.4.4	Factores que causaron el deterioro	63
4.4.5	Alternativas de control.	64
4.5	Caso II Vivienda de dos niveles	65
4.5.1	Ubicación.	"
4.5.2	Características del lugar.	66
4.5.3	Origen de los daños.	"
4.5.4	Factores que causaron el deterioro	67
4.5.5	Alternativas de control.	69
4.6	Caso III Muelle de la ciudad de Chimbote	69
4.6.1	Ubicación.	"
4.6.2	Características del lugar.	70
4.6.3	Origen de los daños.	70
4.6.4	Factores que causaron el deterioro	71
4.6.5	Alternativas de control.	72

4.7 Caso IV Muelle de estructura de acero del Balneario de Ancón	72
4.7.1 Ubicación.	“
4.7.2 Características del lugar.	73
4.7.3 Origen de los daños.	“
4.7.4 Factores que causaron el deterioro	74
4.7.5 Alternativas de control.	“
Conclusiones y recomendaciones.	76
Conclusiones.	“
Recomendaciones.	78
Bibliografía.	
Anexos.	

INTRODUCCION

El presente trabajo desarrolla los problemas de la corrosión en las estructuras de concreto armado, incidiendo en puntos principales como los factores que originan la corrosión, la clasificación de éstos y en los métodos preventivos que deben realizarse.

La utilización del concreto en masa y con acero de refuerzo supera actualmente a todos los otros materiales considerados en conjunto, hecho que confiere una enorme importancia al conocimiento de la problemática que plantea la durabilidad de las estructuras de concreto armado actuales y futuras.

Las implicancias económicas derivadas del incremento de casos de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión han alcanzado cifras alarmantes. De allí que las consideraciones bajo el punto de vista de corrosión adquieren carácter obligatorio desde la etapa de diseño, en el mantenimiento y durante las intervenciones de estructuras dañadas.

El Capítulo I está dedicado a los conceptos generales acerca de la corrosión los factores que originan; en el Capítulo II se describe brevemente cómo clasificar el tipo de corrosión así como el proceso de corrosión; el Capítulo III trata sobre durabilidad del concreto y métodos preventivos para evitar la corrosión. En el Capítulo IV se exponen algunos problemas de corrosión observadas en diferentes obras.

Por último se anexan documentación acerca de inhibidores de corrosión, la corrosión marina y otras publicaciones.



I. CONCEPTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades, el consecuente cambio o actualización del uso de las edificaciones, las condiciones climáticas y las características de nuevos vehículos de transporte, hacen prioritario asegurar la vida y el mayor aprovechamiento de las construcciones en las ciudades de hoy. Estas condiciones han hecho indispensable la necesidad de profundizar en el estudio de las estructuras desde el concepto de durabilidad, así como de los mecanismos de deterioro, la capacidad portante, la estructura interna y la apariencia del concreto en las mismas.

Algunos podrían pensar que la cuestión del mantenimiento y la durabilidad de las estructuras de concreto es asunto tan bien conocido que no hay necesidad de escribir sobre ello. Desgraciadamente no es así. De hecho, este es un tema que tiene vital importancia a una escala verdaderamente internacional y gigantesca. Internacional, porque el concreto es, sin lugar a dudas, el material de construcción mas ampliamente usado en todo el mundo, y sin embargo, con demasiada frecuencia las estructuras de concreto dejan mucho que desear.

Se estima que entre el 3 y el 4% del PBI de un País se pierde como consecuencia de los procesos de corrosión y degradación de los materiales.

Una parte de la dificultad para establecer la importancia del tema se debe al hecho de que la comunidad internacional de ingeniería, estuvo durante muchos años, bastante equivocada en lo relativo a la durabilidad de las estructuras de concreto y en la necesidad de su mantenimiento. Generalmente el requisito principal de un buen concreto en su estado endurecido es una satisfactoria resistencia a la compresión. Esto no sólo para asegurar que el concreto pueda soportar un esfuerzo a compresión prescrito, sino también porque muchas otras propiedades deseables del concreto son incluyentes con la alta resistencia, con los problemas específicos de durabilidad debido a los ataques de sulfatos y el



deterioro por los ciclos de congelación y deshielo. Se ponía énfasis en la resistencia y existía la creencia de que un concreto resistente, era un concreto durable; lo cual es cierto pero no suficiente. Mientras mayor sea la severidad de la exposición, mayor será la calidad del concreto requerido. Es esencial que sea denso, impermeable, y de una clase adecuada para las condiciones de exposición involucradas.

Las estructuras construidas en los años sesenta y setenta tienen una pobre durabilidad y necesitan mucha reparación. La situación ha cambiado muy sustancialmente, y los reglamentos modernos ponen énfasis en la durabilidad, pero no necesariamente usando el procedimiento correcto. Se sabe ahora que, para muchas condiciones de exposición de las estructuras de concreto, tanto la resistencia como la durabilidad deben ser consideradas explícitamente en la etapa de diseño. El énfasis se centra en las palabras “tanto ... como”, porque sería un error reemplazar un excesivo énfasis en la resistencia por un excesivo énfasis en la durabilidad”.

1.2 ESTUDIO DE LA CORROSIÓN

Su fundamento

Se suele limitar el concepto “corrosión” a la destrucción química o electroquímica de los metales. En realidad es difícil dar una definición exacta de corrosión; por lo que se incluyen a continuación algunas de estas definiciones:

“La corrosión puede ser definida como la reacción de un material con su entorno”.

“La corrosión consiste en una oxidación del metal y, si el óxido no es adherente y es poroso, puede dar lugar a la destrucción de todo el metal”

“Corrosión: ataque de un material por el medio que le rodea con la consiguiente pérdida de masa y deterioro de sus propiedades”



“Corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica que se inicia en la superficie.” Esta última es la definición más generalmente aceptada, originaria del “Reichanschuss für Metallschutz”. En cualquier caso, la corrosión es un proceso destructivo en lo que a ingeniería se refiere, y representa una enorme pérdida económica.

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva. Muchos metales existen en la naturaleza en estado combinado, por ejemplo, como óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos. En estos estados, la energía de los metales son más bajas. En el estado metálico la energía de los metales son más altas, y por eso, hay una tendencia espontánea de los metales a reaccionar químicamente para formar compuestos.

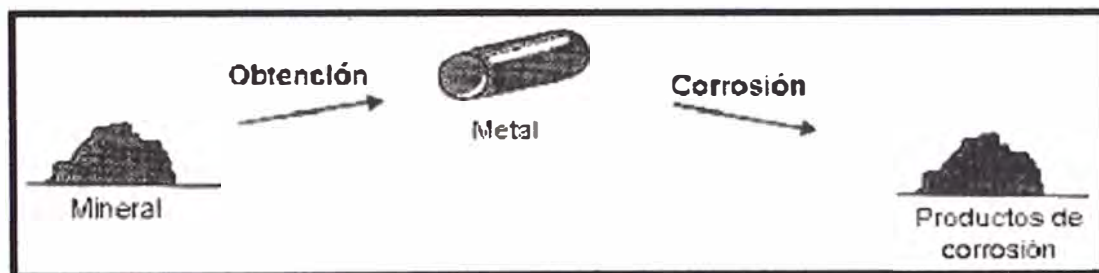


Figura 1. Semejanza entre obtención y corrosión de los metales.

1.3 LA CORROSION EN LAS OBRAS CIVILES

La corrosión del acero en las obras civiles es un caso de deterioro que experimentan las estructuras de concreto, la cual influye directamente a la durabilidad de éste.



El tema de la corrosión en el acero será profundizado en el siguiente capítulo, indicando diversos aspectos, por lo cual en esta parte nos limitaremos a mencionar conceptos generales de la corrosión del acero de refuerzo. En la vida diaria con frecuencia consideramos a la corrosión de los metales como algo molesto que debemos prevenir y evitar el tener que desechar nuestros utensilios o estar superditados a limpiarlos o pintarlos frecuentemente para que puedan darnos servicio durante un poco más de tiempo. Nos preocupamos sobre todo por los objetos expuestos al medio ambiente, principalmente cuando este medio ambiente corresponde a un clima húmedo y cálido.

Debemos aclarar que la corrosión no es un hecho trivial, sino que, a nivel mundial viene a ser uno de los fenómenos más trascendentales en la economía de toda sociedad humana. En términos generales de acuerdo con la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (Programa Regional Desarrollo Científico y Tecnológico) los perjuicios causados por la corrosión equivalen del 1.5 al 3.5% del Producto Nacional Bruto en numerosos países; y en el caso del Perú se estima su incidencia en el 6% del PBI.

Por lo que se refiere a los perjuicios que el fenómeno de la corrosión ocasiona a la industria de la construcción, cabe mencionar que hoy en día se tiene plena conciencia de que el factor más determinante para la reducción en la durabilidad del concreto estructural es la falta de control de la corrosión en los aceros de refuerzo.

Es interesante hacer la observación de que generalmente se dé preferencia, en el diseño, a la construcción de obras de concreto reforzado o presforzado sobre las de acero estructural, pensando en que estas últimas requieren de una conservación periódica y costosa, mientras que en los primeros basta con llevar durante la fase de construcción, un estricto control de calidad; para que la vigilancia y conservación de dichas obras durante su etapa de servicio no sea tan estricta como en el caso de las estructuras de acero.

La realidad es que el inicio de la corrosión en las estructuras metálicas es observable con toda claridad y permite tomar medidas oportunas mientras que



en las estructuras de concreto el fenómeno permanece encubierto y cuando se descubre el daño, muchas veces ya es irreparable. Por otro lado se sabe también, que la corrosión bajo tensión en aceros de refuerzo puede provocar el colapso súbito de las estructuras reforzadas. Cabe mencionar las fallas por corrosión bajo tensión en los aceros de presfuerzo de las obras que a continuación mencionamos, considerando que estos sucesos llamaron la atención de la ingeniería a nivel internacional.

- 1967 en EE.UU., colapso del puente Silver sobre el río Ohio, que costó la vida de 46 personas.
- 1980 en México, colapso de la techumbre del auditorio Benito Juárez en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, que pudo costar la vida a más de 10,000 personas.
- 1981 en Maracaibo, Venezuela, sustitución de más de 1,300 toneladas de acero de los cables del puente atirantado que se encuentra en este lugar, debido al deterioro por corrosión bajo tensión.
- 1985 en México, colapso del puente Papagayo, en la carretera costera del Pacífico, tramo Acapulco-Pinotepa Nacional, por corrosión del acero de refuerzo.



Fig. 2 Se aprecia el problema de corrosión en el interior de una vivienda

1.4 CORROSION EN LOS METALES

El proceso de corrosión de los metales, es un proceso electroquímico, donde se producen transiciones de oxidación y reducción, estableciéndose un intercambio de electrones y consecuentemente el paso de una corriente eléctrica de componente continua entre un ánodo y un cátodo, a través de un medio conductor, como el agua, suelo etc.

La destrucción o la pérdida de las características de estos materiales es la consecuencia inmediata de la misma, y la velocidad de corrosión o de la pérdida de material en un tiempo específico, es la medida empleada para determinar los riesgos que ésta conlleva.

En casi todos los medios la presencia del agua es un factor notable, por lo tanto los procesos de corrosión naturales deberán centrarse en la reacción de los medios acuosos.



Los diagramas de potencial de reducción (E) contra la acidez (PH) dan buena aproximación para el estudio de los distintos comportamientos de los materiales; en estos se observan distintas zonas de estabilidad, en los que cabe distinguir los de inmunidad, de corrosión activa y pasividad. Explicitando podemos decir:

a. Las zonas de inmunidad de las reacciones de reducción corresponde a la zona donde el material se encuentra en condiciones estables.

b. Las zonas de corrosión activa son zonas en donde el material se encuentra en condición no estable; estas zonas de corrosión activa se caracterizan por el predominio de las reacciones de oxidación, que causan la destrucción por combinación o disolución continua del material.

c. Las zonas de pasividad corresponde a la zona de corrosión, donde la fase formada constituye una película protectora, que evita el avance del proceso de corrosión. La Formación de imperfecciones en la misma (pasivación imperfecta) conlleva la aparición de corrosiones locales (picaduras) principalmente debido a la presencia de cloruros. Luego, el límite entre la zona de inmunidad y de corrosión activa es la zona de pasividad.



Fig. 3 Muestra la corrosión en el muelle de Ancón

1.5 CORROSIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO

El concreto junto con las varillas de acero forman el *concreto armado*, que presenta buenas propiedades mecánicas a la tensión y a la compresión debido a sus elementos. El PH del concreto es 12.5 , ofreciendo condiciones ideales para la pasivación del acero. Por lo tanto el concreto fabricado con cemento portland proporciona a los materiales embebidos en él una protección adecuada contra la corrosión. Se le atribuye a la alta alcalinidad del concreto y a su resistencia eléctrica específica en condiciones atmosféricas.

Para que se forme una celda de corrosión en el concreto es necesario la presencia de un electrolito, que es capaz de conducir la corriente eléctrica por medio de flujos de iones. Cualquier concreto húmedo, contiene suficientes electrolitos para conducir una corriente que pueda causar corrosión; mientras más seco esté un concreto, menor será su conductividad.

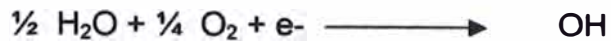


Reacciones involucradas en el proceso:

Reacción anódica en la cual el hierro se oxida a iones ferrosos:



La reacción catódica en la cual el oxígeno se reduce a iones OH^{-}



En una segunda etapa el ión Fe^{+2} disuelto, reacciona con otros aniones de agua y se transforma en óxidos de hierro por el número de reacciones complejas, formando la capa pasivante lo suficientemente compacta para evitar que continúe el ataque en la superficie. Las reacciones de hidratación que se llevan a cabo en el cemento durante el curado son de gran interés e importancia ya que uno de los productos de éstos, se encuentra directamente relacionado con la protección que el concreto proporciona a las estructuras de acero reforzado o los silicatos del cemento producen con el agua el principal cementante e hidróxido de calcio, cuya cantidad es generalmente suficiente para mantener un PH alrededor de 13 en la solución contenida en los poros del concreto, independientemente del contenido de humedad.

La corrosión del acero puede debilitar o arruinar una estructura. En general, la película del óxido protector formada por el acero y concreto será destruida si:

- La calidad del concreto es mala.
- El espesor del recubrimiento no es el adecuado, es decir si el concreto no embebe completamente al acero.
- Una cantidad excesiva de cloruros u otros iones agresivos estén presentes.
- No se siguen buenas prácticas constructivas.
- Si estas condiciones ocurren, la humedad y el aire entrará en contacto con el acero y producirá la oxidación.

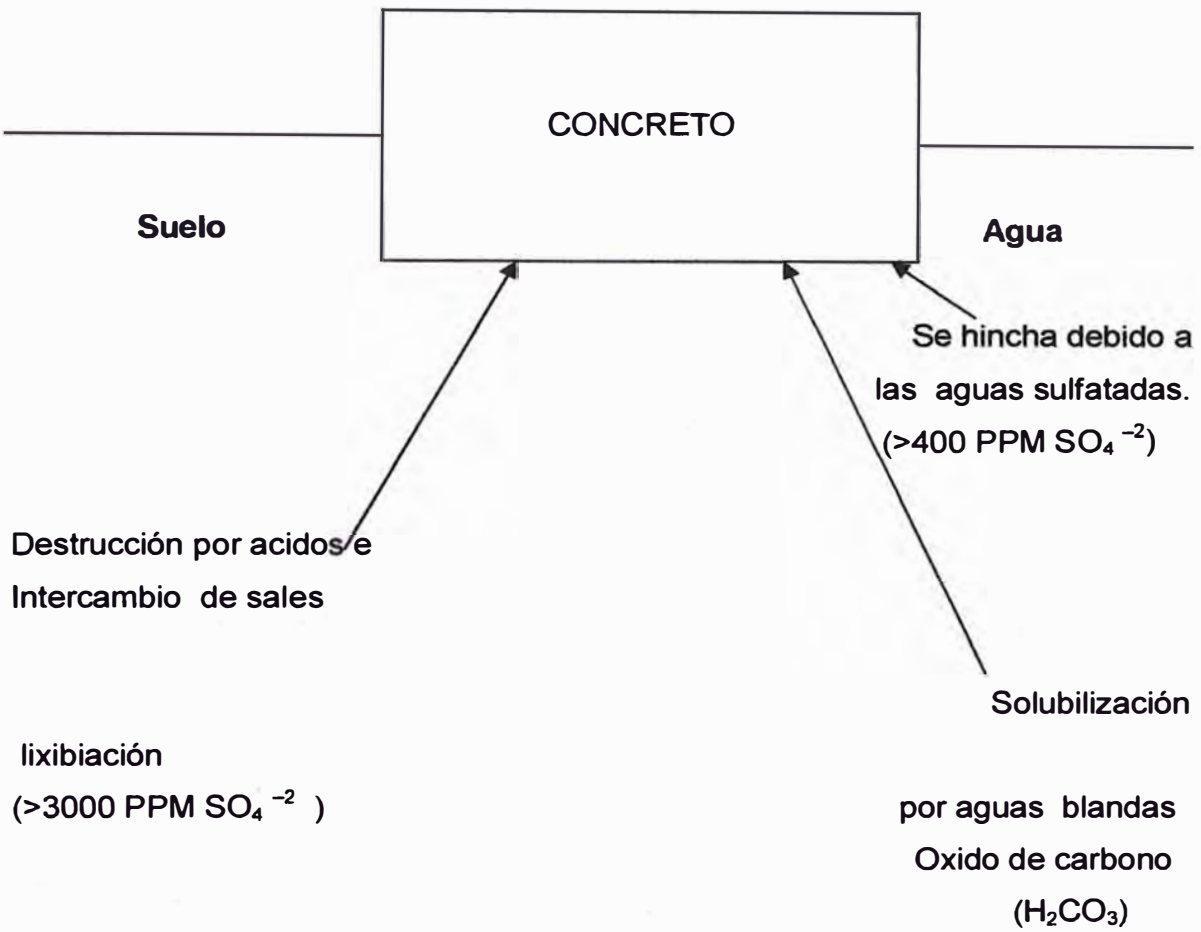


Fig. 4 Agentes actuantes que producen la corrosión

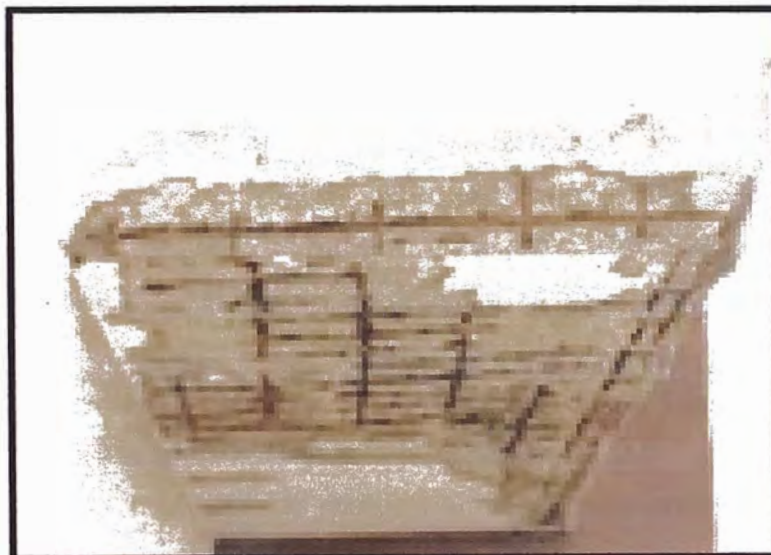


Fig.5 Muestra la corrosión de una losa



1.5.1 Corrosión de estructuras expuestas al mar

El agua de mar como se sabe contiene 3.5% de sal (predominantemente cloruro de sodio) así como algunos minerales y materiales orgánicos, si a éstos le agregamos humedad conteniendo oxígeno disuelto (agente corrosivo) creamos el ambiente ideal para el proceso de corrosión.

Los sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y alcalinos, que se encuentran en el agua de mar de forma inseparable pueden penetrar al concreto armado por porosidad capilaridad y difusión.

Los sulfatos atacan al concreto formando compuestos expansivos causantes de la fisuración. Los cloruros si llegan hasta la armadura causan la dispasivación de ésta y provocan su corrosión. La Fisuración ocasionada por los sulfatos facilita la penetración de los cloruros y corrosión de armaduras.

La Corrosión muestra tres zonas importantes :

a. Una zona completamente sumergida en la estructura, que puede presentar algún grado de corrosión no muy alto. En el caso del acero se corroe en muy baja proporción aún cuando el nivel de los cloruros en esta sección sumergida excede el límite requerido para iniciar la corrosión del acero refuerzo, la disponibilidad de oxígeno en la interface de concreto y acero se convierte en un factor de control. La difusión del oxígeno en el concreto totalmente saturado es muy baja y solo puede soportar bajas proporciones de corrosión.

b. Una zona intermedia, la más importante desde el punto de vista de la corrosión comprendida entre la alta y baja marea o zona de splash (salpicadura) o de oscilación de mareas. Un continuo humedecimiento seguido de un secamiento, produce al concreto tanto altas concentraciones de cloruros como de suficiente oxígeno.



c. La zona atmosférica generalmente presenta un menor grado de corrosión debido a dos causas, los cloruros son transportados por el viento en menor cantidad y segundo el contenido de humedad del concreto es bajo, por eso depende de la cantidad de cloruros que se depositen en esa zona; de la cual puede pasar de una zona no corrosiva a una zona intensamente corrosiva incluyendo una corrosión por carbonatación.

La mayoría de los daños ocasionados a las estructuras semi-sumergidas se presentan en la zona splash o zona de salpicadura, y es allí donde se han dirigido las investigaciones.

En las estructuras marítimas el concreto que se encuentra por debajo de las zonas de mareas permanentemente sumergidas, es capaz de proteger de la corrosión a las barras de acero de refuerzo, pues la falta de oxígeno impide la actividad corrosiva del ión cloruro que puede haberse introducido hasta las barras.

En algunos casos cuando el concreto es pobre en cemento, se produce el fenómeno denominado macroceldas, este fenómeno se debe al estado permanente de humedad del concreto que permite la corrosión electrolítica.



Fig. 6 Muestra la corrosión de una estructura de concreto

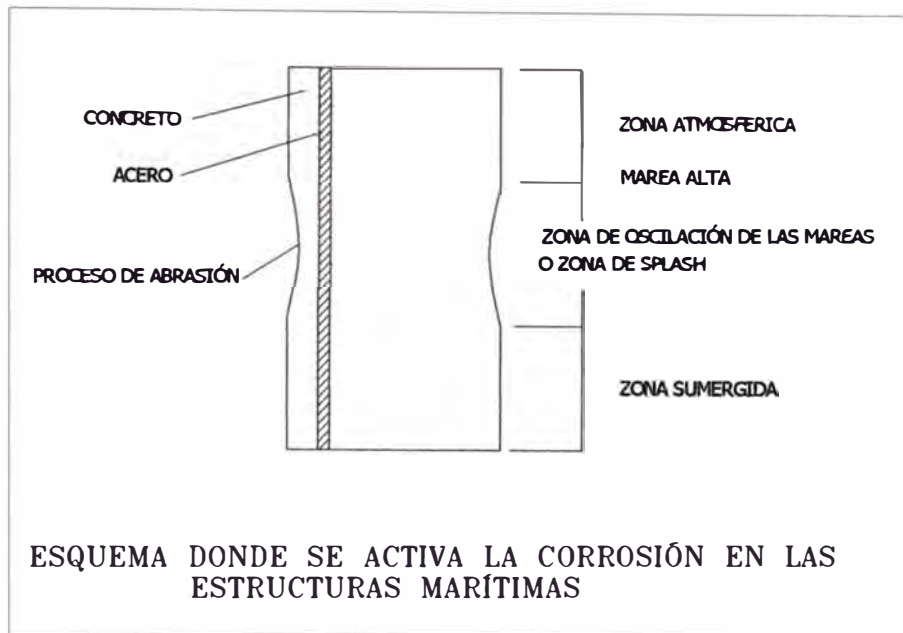


El mecanismo se inicia en un segmento débil del concreto en las zonas de marea; que bajo la acción del ión cloruro actúa como ánodo, y constituyéndose como cátodo la zona sumergida.

En las zonas sumergidas, la penetración del agua tiene lugar inicialmente por succión capilar y se acelera en razón de la presión hidráulica, el agua ingresa con sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos.

En el concreto comprendido entre mareas, se pueden producir ataques que ocasionan fisuras y adelantan la corrosión por golpes de impacto, la turbulencia producida por la hélice de los barcos o por la acción de las olas. En esta zona los poros se encuentran generalmente saturados, en efecto el tiempo de baja marea es reducido y no se produce la desecación, en consecuencia la construcción permanece húmedo y se reduce el peligro de corrosión, el agua en esta zona ingresa por succión capilar, transportando las sustancias disueltas como el cloruro y los sulfatos, sin difusión de gases.

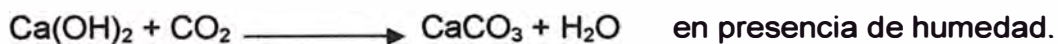
La zona más elevada por encima de la marea alta, llamada zona de splash o salpicadura, es la más afectada por las variaciones de la humedad que ocasionan el ingreso de ión cloro por difusión y en el secado se elimina el agua en exceso, reteniendo el cloro que se incrementa en ciclos sucesivos. En ésta zona de abundante oxígeno, la corrosión por cloro puede darse conjuntamente por la corrosión por carbonatación.



1.6 CARBONATACION

En el proceso de hidratación del cemento portland se produce silicatos de calcio hidratados, responsables a la resistencia y un compuesto alcalino, hidróxido de calcio portlandina que produce el PH básico del concreto.

En el contacto con el aire este hidróxido de calcio se combina con el dióxido de carbono para formar una sal, el carbonato de calcio; reduciendo el PH del concreto a valores cercanos a 9 ó sea menos alcalinos (PH= 7 solución neutra) Se representa mediante la formula:



El fenómeno de carbonatación es progresivo pero lento, que avanza hacia el interior del concreto. Siendo en el exterior el PH =9 y en el interior se mantiene alrededor de 12.5

Para PH<11, se pierde la condición de pasividad para las armaduras y si las condiciones del medio son favorables para la corrosión (humedad, oxígeno y



temperatura) el acero se oxida provocando un aumento localizado de volumen, fisuras y hasta descascaramiento del concreto que lo recubre. Paralelamente se va reduciendo la sección resistentes de armaduras, pudiendo llegar hasta situaciones de riesgo y colapso.

1.6.1 Inicio de la carbonatación

Los primeros signos aparecen cuando la penetración de corrosión ha alcanzado una profundidad de 100 μm . Esta es la condición para efectos de diseño y a la cual se va a proyectar la vida útil de la estructura.

1.6.2 Proceso de carbonatación

a. Incubación

Corresponde al proceso de penetración del frente de carbonatación caracterizado por un tiempo T_i hasta que alcance la posición de la armadura y ésta se despasive. Dependiendo de la calidad y del espesor de la estructura.

a. Propagación

Es el proceso propiamente dicho, la armadura una vez despasivada por la carbonatación. Llega hasta los 100 μm , que es la profundidad en que comienza a mostrarse fisuras, este tiempo depende de la humedad relativa y de la conductividad eléctrica.

La vida útil de servicio será igual a la suma del tiempo de incubación más el de propagación $T_i + T_p$.

El tiempo de propagación (T_p) se calcula en función de la humedad relativa y el de incubación restando la vida útil de proyecto menos el tiempo propagación.

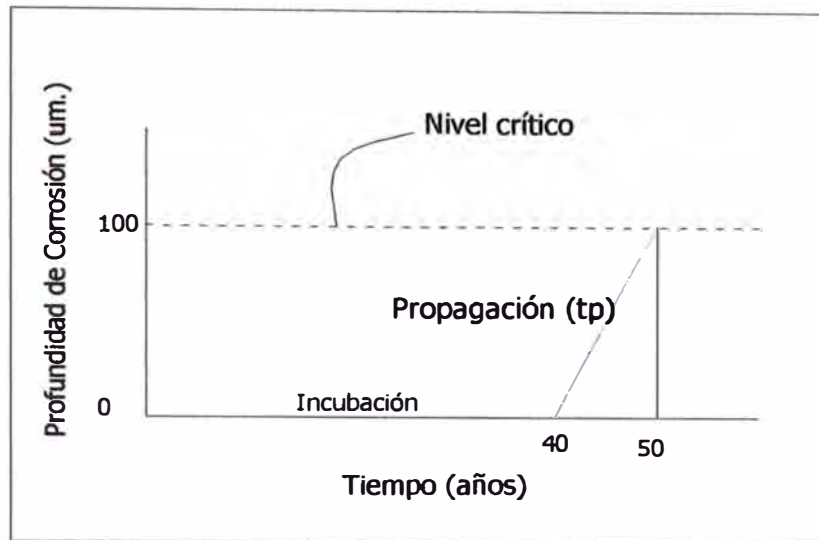


Fig. 8 Proceso de carbonatación

Una forma de determinar la posición del frente de carbonatación es aplicando la solución de fenoftaleína en alcohol, que muestra un color rosado o fucsia en la zona carbonatada; otra de las formas que permite determinar la ubicación del frente de carbonatación es observarla con una luz polarizada.

1.7 FACTORES QUE ORIGINAN LA CORROSIÓN

Para iniciar el diseño de una estructura de acero o concreto armado, lo primero que se debe tener en cuenta, es el estudio del sitio de emplazamiento y su medio ambiente, y así determinar si la corrosión será un problema potencial en un futuro. A continuación comentamos sobre estos aspectos.

1.7.1 El suelo

Se debe de saber si es de carácter ácido o alcalino, realizar los ensayos necesarios para determinar si es eléctricamente conductivo o resistivo.



El suelo generalmente es un medio heterogéneo en donde se dan muchas variaciones en la velocidad de corrosión de los metales. Un suelo natural contiene los siguientes elementos : arena , arcilla , cal , humus. Estos componentes pueden estar mezclados en el suelo en diferentes proporciones que darán lugar a distintos grados de agresividad.

1.7.2 Agua

Generalmente el agua marina es altamente corrosiva por la gran cantidad de sulfatos especialmente en la zona de splash.

1.7.3 Clima

En zonas donde los cambios de climas son constantes el grado de contaminación es mayor, así como en las zonas húmedas.

1.7.4 Atmósfera

La corrosión se produce por la contaminación de las industrias o por los residuos que echan a los ríos, desagües.



II. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La integridad de una estructura de concreto armado depende tanto de la calidad de sus componentes como de su dosificación, para lograr las mejores propiedades que garanticen un período de vida útil prolongado.

El hombre, en su afán de lograr mejores condiciones de vida, ha usado constantemente su ingenio durante su larga historia. Para lograr tal objetivo, mucho lo ha debido al uso de metales que ahora forman parte de nuestra vida cotidiana y, casi sin quererlo, hemos creado una dependencia tal que sería imposible hablar del desarrollo y avance de la civilización moderna sin el uso de metales y aleaciones.

Continuando con nuestro estudio de la corrosión de los metales, este fenómeno o proceso es posible clasificar recurriendo a criterios y consideraciones muy variados tales como:

- a) De acuerdo al medio en que se producen (la corrosión química, la corrosión electroquímica).
- b) Según la forma en que se producen (corrosión uniforme, por picado, fisurante, erosión, intergranular).

En éste capítulo se comentará brevemente los diferentes tipos de corrosión, resaltando las características más importantes en cada uno de los casos.



2.2 CORROSIÓN DE ACUERDO AL MEDIO DONDE SE PRODUCEN

2.2.1 Corrosión química

Ya habíamos mencionado que algunos metales son más activos que otros debido a la energía acumulada que poseen. En el presente capítulo haremos hincapié en la naturaleza de dichas energías, su cuantificación y los efectos que acarrearán durante un proceso de corrosión.

La experiencia nos ha enseñado que todos los metales hoy en día conocidos poseen diferentes tendencias a corroerse. Es decir, unos serán más resistentes que otros al reaccionar frente a un mismo medio. Ejemplo de esto son el oro y el hierro en agua dulce. El primer metal posee una alta inmunidad frente al agua, conservando inalteradas todas sus propiedades físicas y químicas. En cambio el hierro se degrada y poco a poco se transforma en otro compuesto. Cuestionarnos el porqué de tal diferencia entre uno y otro metal, es regresar a los orígenes de los elementos químicos, es decir, a la estructura y composición atómica de los metales en sí.

Se estudia bajo esta denominación todas aquellas sustancias con las cuales el metal reacciona con un medio no iónico, entre los que mencionaremos oxidación en el aire, reacción en una solución de yodo, ocurriendo en ambientes secos o húmedos.

Ejemplo de reacción del ácido sulfúrico con el acero.



2.2.2 Corrosión electroquímica

En presencia de un medio acuoso, la corrosión es de naturaleza electroquímica. La corrosión es un proceso espontáneo que denota la existencia de una zona anódica (que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, siendo imprescindible la presencia de estos tres elementos para que este tipo de



corrosión pueda existir; se requiere asimismo de contacto eléctrico entre la zona anódica y la catódica.

El término ánodo se emplea para describir aquella porción de una superficie metálica en la que tiene lugar la corrosión (disolución) y en la cual se liberan electrones como consecuencia del paso del metal en forma de iones, al electrolito.

Es usual designar corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito. A este grupo importante corresponde la corrosión en soluciones salinas, agua de mar, corrosión atmosférica, corrosión en suelos, etc.

2.2.2.1 Anodo

Es aquella porción de la superficie del metal que está corroyéndose. En otras palabras, es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a ser parte de la solución, por que los átomos metálicos pierden electrones y migran a ésta solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva dando como resultado un ión positivo.

2.2.2.2 Cátodo.

Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve, y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.

2.2.2.3 Electrolito.

Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto en el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertas por una solución conductora de electricidad; es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del

ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito.

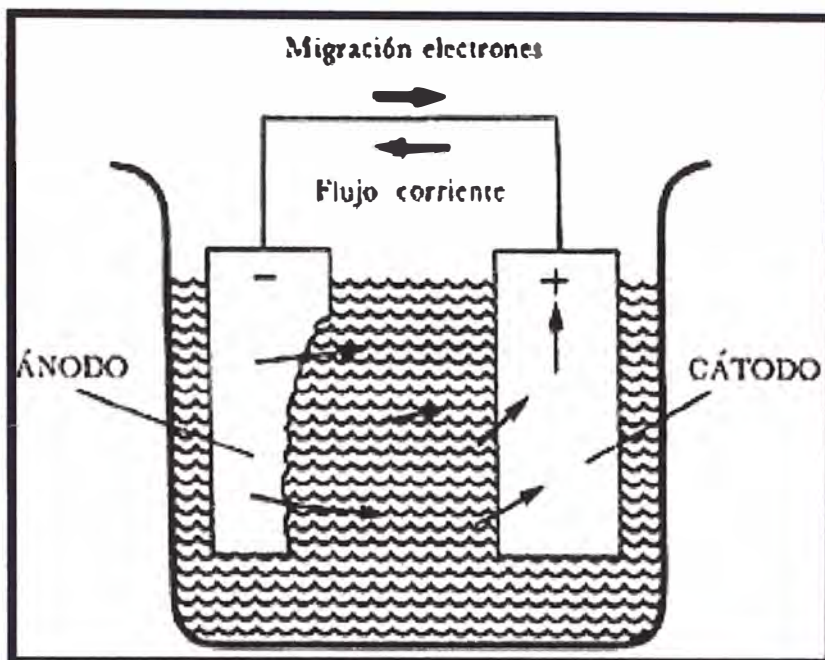


Fig. 9 Corrosión Electroquímica

2.2.2.3.1 Manifestaciones de la corrosión

La corrosión, especialmente la de naturaleza electroquímica, se puede manifestar de muy diversas maneras. Es así que tomando como referencia al metal más comúnmente empleado, el hierro, la presencia de la herrumbre constituye la manifestación de que se está desarrollando un proceso de corrosión.

El producto primario de la oxidación del hierro es el hidróxido ferroso blanco, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ que a su vez se oxida y resulta el hidróxido férrico de color rojizo, $\text{Fe}(\text{OH})_3$.



Ayudémonos de una experiencia muy sencilla para comprender lo anterior. Veamos el ataque producido por una gota de agua salada. Esta experiencia es debida a Evans, uno de los investigadores que más han contribuido al conocimiento de la corrosión. Evans demostró que en el caso de una gota de agua salada, las diferencias en la cantidad de oxígeno disuelto en el líquido en contacto con la superficie metálica, lo que se conoce como aireación diferencial, crean pilas de corrosión en las que el ataque del metal ocurre en las áreas menos oxigenadas, provocando una corrosión rápida e intensa. Si se deposita una gota de agua salada (agua y cloruro de sodio) sobre la superficie horizontal de una lámina de acero perfectamente limpia y desgrasada, como en la Figura 10, se puede observar, por ejemplo después de unos 30 minutos, un precipitado en el medio de la gota.

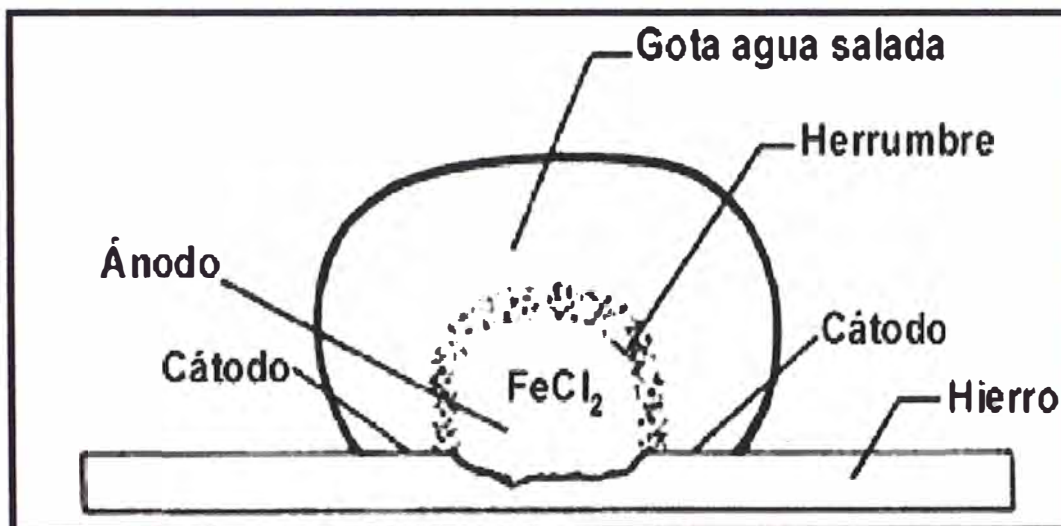


Fig. 10 Ataque producido por una gota de agua salada.

La parte periférica o más exterior de la gota, más aireada (con un más fácil acceso para el oxígeno) que el centro, juega el papel de lo que hemos llamado cátodo, con relación al centro, que a su vez se convierte en ánodo. Entre estas dos zonas se forma una membrana de hidróxido de hierro (herrumbre). Con ayuda de un tubo capilar, se puede atravesar la membrana y comprobar la formación en el centro de la gota de una sal ferrosa (FeCl_2 , cloruro ferroso).



La presencia de la herrumbre es una manifestación clara de la existencia de corrosión para el caso del hierro y sus aleaciones (aceros). Para la mayoría de los metales, las manifestaciones de la corrosión pueden estudiarse en función de la forma o tipo de corrosión. En soluciones acuosas o en atmósferas húmedas, como ya se ha indicado, el mecanismo de ataque envuelve algunos aspectos electroquímicos. Debe de existir un flujo de electricidad desde unas ciertas áreas a otras en la superficie metálica, a través de una solución (electrolito) capaz de conducir la electricidad, tal como el agua de mar o el agua dura (agua con un alto contenido de sales).

Una solución que conduce la electricidad es un electrolito. Su cualidad para conducir la electricidad es debida a la presencia de iones. Éstos, son átomos cargados positiva o negativamente o bien agrupaciones de átomos con una cierta carga eléctrica, en solución. El agua pura está ionizada en proporción muy pequeña. Sólo una mínima fracción de las moléculas de agua se disocia en iones hidrógeno, H^+ (protones), y iones hidroxilo, OH^- . El ión hidrógeno se une a una molécula de agua, H_2O , para formar un ión hidronio, H_3O^+ , aunque por facilidad lo representaremos por H^+ .

La disociación del agua, H_2O , puede representarse así:



A efectos prácticos, el agua es un aislador casi perfecto. Entonces, cabría preguntarse ¿por qué una sustancia iónica disuelta en agua produce iones? La respuesta está en las propiedades dieléctricas del agua, o en otras palabras, en las propiedades polares de las moléculas de agua. Cada molécula de agua es un pequeño dipolo, esto es, sus cargas positiva y negativa no coinciden. Podemos representar estos dipolos de un modo exagerado por estructuras de forma oval. Alrededor de un ión positivo habrán agrupadas un cierto número de moléculas de agua con sus extremos negativos próximos al catión. De modo análogo, los extremos positivos de algunas moléculas de agua se agruparán alrededor del ión negativo. De acuerdo con esta explicación, los iones de las sustancias disueltas deben estar libres en cualquier disolvente polar, como lo es el agua, como así ocurre en realidad.



Un electrolito capaz de formar un ambiente corrosivo puede ser, en principio, cualquier solución, lluvia o incluso la humedad condensada del aire. Puede abarcar desde el agua dura o salada hasta los ácidos y álcalis fuertes.

Los ánodos y cátodos involucrados en un proceso de corrosión se conocen como electrodos. Los electrodos pueden consistir en dos diferentes tipos de metal. En el electrodo negativo (ánodo) es donde tiene lugar la corrosión.

Podemos resumir lo anterior diciendo que para que exista corrosión deben cumplirse unas ciertas condiciones mínimas. Éstas son:

- Debe haber un ánodo y un cátodo.
- Debe existir un potencial eléctrico entre los dos electrodos (ánodo y cátodo).
- Debe haber un conductor metálico que conecte eléctricamente el ánodo y el cátodo.
- Tanto el ánodo como el cátodo deben estar sumergidos en un electrolito conductor de la electricidad, el cual está ionizado.

Una vez cumplidas estas condiciones, puede circular una corriente eléctrica dando lugar a un consumo de metal (corrosión) en el ánodo.

La diferencia de potencial creada entre el ánodo y el cátodo provoca una migración de electrones desde el ánodo al cátodo a lo largo del conductor metálico externo; un alambre de cobre por ejemplo, como se indica en la fig.11

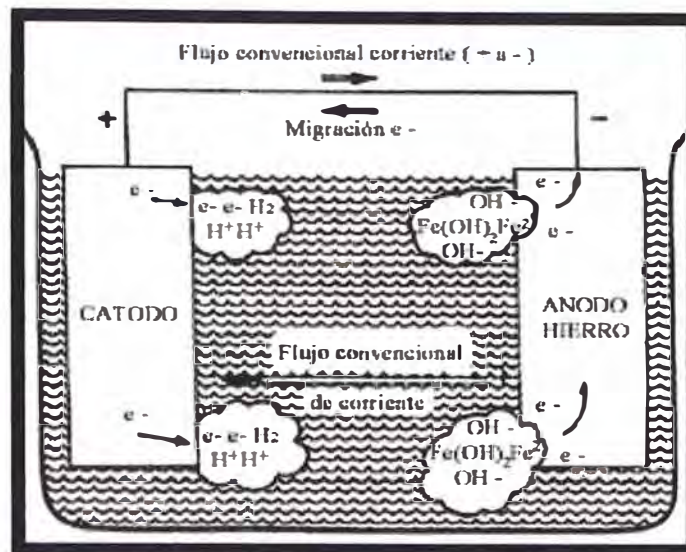


Fig. 11 Sentido del flujo de electrones y del flujo convencional de corriente eléctrica en una celda de corrosión

En el ánodo, al perder electrones, quedan iones hierro cargados positivamente, Fe^{2+} , los cuales pueden combinarse con iones cargados negativamente, OH^- , que se encuentran en las inmediaciones del ánodo, pudiéndose formar ocasionalmente hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, el cual puede reaccionar con posterioridad para formar hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, la familiar y conocida herrumbre.

En el cátodo y procedentes del ánodo van llegando, a través del conductor metálico externo, electrones. Estos electrones cargados negativamente, al llegar a la interfase cátodo-solución, se combinan con los iones hidrógeno cargados positivamente, H^+ , para formar hidrógeno gas, H_2 . Cuando los iones hidrógeno se convierten en hidrógeno gaseoso, al combinarse con los electrones procedentes del ánodo, se crea un exceso de iones OH^- en las inmediaciones del cátodo. Este exceso de iones OH^- hace que aumente la alcalinidad y, por tanto, el pH del electrolito adyacente al cátodo.

Desde un punto de vista conceptual, hay algunos puntos de importancia que conviene aclarar por lo que respecta al flujo de la corriente eléctrica. El concepto convencional de corriente supone un flujo desde un potencial positivo (+) a un



potencial negativo (—). Esto puede llevar a una cierta confusión, ya que la representación convencional del flujo de la corriente eléctrica es precisamente en la dirección opuesta al flujo de los electrones, como se indica en la fig. 11.

Conviene recordar los siguientes puntos, en los términos del flujo de corrientes convencionales:

La corriente eléctrica, de acuerdo con la convención, circula desde el polo positivo (+) al negativo (-) en un circuito eléctrico. Esto indica que en nuestro caso la corriente circulará del cátodo hacia el ánodo, a través del conductor metálico.

En el electrolito, el transporte de la corriente eléctrica tendrá lugar entonces del ánodo al cátodo.

Habrà un consumo y por tanto la consiguiente pérdida de metal, en aquellos lugares del ánodo en que la corriente abandone el electrodo para pasar al electrolito.

2.3 TIPO DE CORROSIÓN SEGÚN LA FORMA

2.3.1 Introducción

Este tipo de clasificación podemos utilizarlo principalmente para evaluar los daños producidos a las estructuras, y son las siguientes:

2.3.2 Corrosión uniforme

El ataque se extiende en forma uniforme en toda la superficie metálica, su penetración es igual en todos los puntos, se considera la forma más benigna de corrosión, esto permite calcular la vida útil de la estructura con bastante precisión y tomar las precauciones necesarias.



Fig. Muestra la corrosión uniforme toda la estructura esta afectada uniformemente

2.3.3 Corrosión por picado

Este tipo de corrosión es una de las más peligrosas que pueden presentarse, aquí la cantidad de material afectado no guarda relación con los inconvenientes que causan. Durante el picado, el ataque se localiza en los puntos aislados de las superficies metálicas pasivas, y se propaga hacia el interior del metal, en ocasiones formando túneles microscópicos.

La corrosión por picadura es un tipo de corrosión altamente localizada que frecuentemente se observa, en superficies con poca o ninguna corrosión general. Las picaduras ocurren como un proceso de disolución local anódica donde la pérdida de metal es aumentada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo grande. Las picaduras suelen ser de pequeño diámetro (décimas de milímetro).

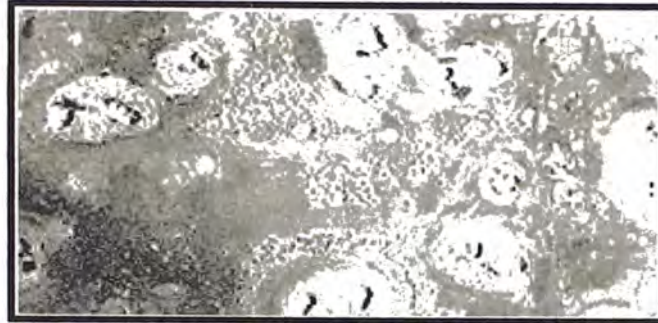


Fig. 12 *Se muestra la corrosión por picado*

2.3.4 Corrosión fisurante

Es la corrosión bajo tensión. Este se produce cuando un metal está sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y a las tensiones mecánicas de tracción, se forman fisuras intergranulares propagándose hacia el interior del metal, hasta que las tensiones se relajan o el metal se fractura.

2.3.5 Corrosión por erosión

La corrosión por erosión está causada o acelerada por el movimiento relativo de la superficie de metal y el medio. Se caracteriza por raspaduras en la superficie paralelas al movimiento.

La erosión suele prevalecer en aleaciones blandas (por ejemplo, aleaciones de cobre, aluminio y plomo). Las aleaciones que forman una capa pasivante muestran una velocidad límite por encima de la cual la erosión aumenta rápidamente. Otros factores como turbulencia, cavitación, o efectos galvánicos pueden aumentar la severidad del ataque.

2.3.5 Corrosión intergranular

La corrosión intergranular se refiere a la corrosión selectiva de los límites de grano en metales y aleaciones. Los límites de grano son zonas de alta energía debido a la gran proporción de dislocaciones en la estructura natural del material.



Este ataque es muy común en algunos aceros inoxidable y aleaciones de níquel.

2.4 VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Para introducirnos al mundo de la cinética de corrosión debemos olvidarnos por un momento de la corrosión y pensar en un metal que no se corroe cuando se le sumerge en cierto electrolito.

Pensemos que ese metal sea el cobre, y que esté sumergido en una solución conteniendo iones cobre. La solución no contiene oxígeno disuelto. Bajo estas condiciones nuestra pieza de cobre no se corroerá. Esto se debe fundamentalmente a que el cobre, es mucho más noble que la reacción de desprendimiento de hidrógeno según lo indica la Tabla de la Fuerza Electromotriz, $E_{Cu} > E_H$. Aparte del hidrógeno iónico no existe otro reactivo más catódico en ese medio, por lo tanto decimos que el cobre establece un equilibrio del tipo $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$ que ocurre precisamente al potencial relativo estándar $E^{\circ}Cu/Cu^{2+}$ establecido anteriormente.

Al decir que la pieza de cobre no se corroe cuando está en contacto con una disolución de sus propios iones, queremos expresar que no hay una transformación química neta. Sin embargo, debemos dejar muy claramente establecido que aún cuando el sistema se encuentre en equilibrio, éste no es estático sino dinámico.

Al potencial E° , existen reacciones de oxidación por las cuales se disuelve cobre, y también reacciones de reducción en donde cobre en solución se deposita como metal. Estas reacciones ocurren de continuo y simultáneamente, siendo iguales en la magnitud de la carga transferida, aunque en sentido contrario. La velocidad con que se disuelve el cobre de la pieza es igual a la velocidad con que el cobre en solución se deposita.

En resumen, en el equilibrio dinámico E° , no existe flujo de electrones ni transformación química netas. Figura 13

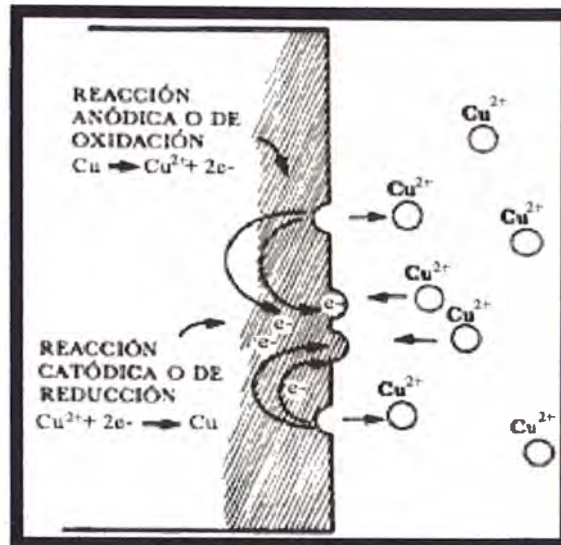


Fig. 13 Reacciones en el proceso de corrosión

Es como si pensáramos en una cantidad de personas que entran y salen por la puerta de un gran almacén. En una situación de equilibrio diríamos que el mismo número de personas que entra al almacén sale de él. Por lo tanto, no existe cambio alguno en el número de personas del lado de la calle ni dentro del almacén; parecería como si nunca hubiera habido un movimiento. En electroquímica, a este flujo de electrones generados en la reacción de disolución (oxidación), el cual es igual al flujo de electrones consumidos en la reacción de reducción, se le llama densidad de corriente de intercambio i_0 , siendo una característica de un metal en equilibrio. Cada interfase tendrá una i_0 característica y su magnitud refleja la facilidad que posee esa interfase metal/solución para soltar y aceptar electrones.

Volviendo al ejemplo del almacén, podemos pensar en magnitudes diferentes de flujos opuestos de personas que entran y salen, pero que siempre mantendrán el mismo número dentro y fuera del almacén. Así por ejemplo, si el almacén tiene en un momento dado 1 000 personas y en la calle hay otras 5000 para mantener esta relación bien pueden entrar al almacén 10 personas y salir simultáneamente otras 10. Pero bien podrían haber entrado 100 y haber salido también 100, manteniendo el mismo número de personas dentro y fuera. Tal vez un aumento



grande en el flujo de entrada y salida del almacén se deba a que las puertas sean más anchas, es decir, que la facilidad de traspaso sea mayor. Lo mismo sucede con interfases electroquímicas, a mayor i_0 , mayor facilidad de transferencia de carga, y viceversa.

Como lo mencionamos, cada interfase en equilibrio posee una i_0 específica, cuya magnitud proviene de consideraciones cinéticas con más fundamento, tales como arreglos atómicos, enlaces electrónicos, etc, que no son consideradas en este informe. Sin embargo, la importancia de i_0 en los procesos de corrosión será tratada más adelante.

Por supuesto, como las velocidades de oxidación y de reducción son iguales en magnitud pero de signo opuesto, no habrá un flujo de electrones neto y, por lo tanto, será imposible medir la i_0 en un instrumento.

Cualquier desviación que haya de la condición de equilibrio, desplazará el potencial del electrodo y entonces modificará las magnitudes de las velocidades anódicas y catódicas, produciéndose un flujo neto de electrones. Supongamos que nuestra pieza de cobre, inicialmente en equilibrio con sus propios iones, se conecta a una laminilla de platino sumergida en el mismo electrolito a través de una fuente de poder. Si asumimos que al manipular la fuente de poder podemos establecer una diferencia de potencial entre el cobre y el platino que haga fluir electrones entre estos metales, entonces se estarán modificando las condiciones de equilibrio reinantes en cada una de las interfases del cobre y del platino.

Imaginemos que la diferencia de potencial impuesta por la fuente propicie que el cobre se disuelva, actuando éste como ánodo, pasando a solución como iones cobre Cu^{2+} . Habrá entonces un flujo de electrones generados que viajarán hacia el platino (que actuará entonces como cátodo) a través de las conexiones eléctricas.

El flujo de electrones ha propiciado que los potenciales de equilibrio de cada una de las fases se desvíen de su valor inicial. Esto es lo que precisamente significa el término polarización, el desplazamiento de un potencial de equilibrio hacia otro



valor por medio de un flujo de corriente eléctrica. Un símil hidráulico muy útil en este caso es el ejemplo de los vasos comunicantes. Supongamos que se tienen dos vasos o recipientes llenos con agua a diferente nivel. Si dichos vasos están comunicados entre sí a través de una llave de paso, cuando ésta se abra y deje pasar el flujo, los niveles iniciales de los líquidos serán modificados. La magnitud del cambio de nivel dependerá, en el símil hidráulico, de la velocidad del agua que fluye; algo parecido sucede con un proceso de corrosión en donde hay una diferencia de potencial eléctrico entre dos fases diferentes.

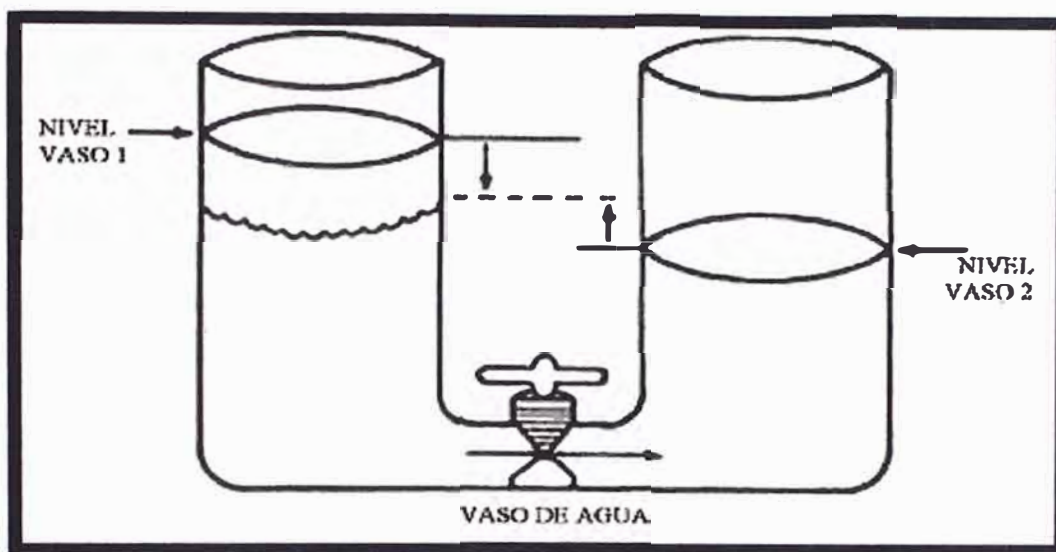


Fig. 14 Símil hidráulico de diferencia de potencial en el proceso de corrosión

En la interfase cobre/solución se dejará sentir pues, un incremento en la velocidad de oxidación del cobre. Las reacciones de reducción en esa interfase aún existirán, aunque ahora comparativamente más pequeñas que las de oxidación. Las viejas condiciones de equilibrio han desaparecido para dar cabida a nuevas situaciones al no equilibrio. En la lámina de cobre, la magnitud de la corriente indicará el grado en que la velocidad de oxidación, por decir algo, excederá a la reducción. Es decir, nos dará una indicación de la corriente neta del proceso.



2.4.1 Evaluación de la velocidad de corrosión

El método utilizado tradicionalmente y que se viene empleando hasta la fecha, es el de medida de la pérdida de peso. Como su nombre indica, este método consiste en determinar la pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo.

Las unidades más frecuentemente utilizadas para expresar esa pérdida de peso son: miligramos decímetro cuadrado día (mdd), milímetros por año (mm/año), pulgadas por año o mili pulgadas por año (mpy, abreviatura en inglés). Así por ejemplo, si para una determinada aplicación podemos evaluar, mediante una serie de ensayos previos, la pérdida de peso de dos aceros en el mismo medio agresivo, podemos tener una idea de qué material se podrá emplear con mayores garantías, desde un punto de vista de resistencia a la corrosión, sin tener en cuenta otros muchos requerimientos y propiedades que para nuestro ejemplo, vamos a suponer iguales.

Supongamos que el resultado de los ensayos efectuados sea el siguiente:

	Pérdida de peso
Acero 1.....	4.1 mm/año
Acero2	2.3 mm/año



Es evidente que, la selección en este caso favorecerá al acero con una menor velocidad de corrosión, el acero 2.

Las unidades anteriormente citadas constituyen las de mayor utilización en Ingeniería de la corrosión.

2.4.2 Importancia de la corrosión en el desarrollo económico

Los problemas que causan la corrosión se deja sentir en tres principales variantes

- Económica (pérdidas directas e indirectas)
- Conservación de recursos (agotamiento de las reservas naturales)
- Seguridad humana (fallas fatales en medios de transporte, corrosión de bidones que contienen residuos radioactivos, escapes en tuberías de refrigeración de plantas nucleares, etc.)

Tomando como referencia los estudios realizados en un país latinoamericano tenemos que; una encuesta realizada muy recientemente sobre los problemas que plantea la corrosión a la Industria Química Mexicana, ha señalado la incidencia del fenómeno en más de un 90% de las empresas que contestaron la encuesta.

Lo que se acaba de mencionar habla por sí mismo de la gravedad del problema. No obstante, no son tanto los indicadores económicos lo preocupante, sino la incidencia que la corrosión tiene en la seguridad humana. El costo social de la corrosión puede llegar a ser tan elevado que debería prestársele una mayor atención por el lado de las autoridades, empezando por la propia toma de conciencia personal. Lo "normal" desgraciadamente entre los utilizadores de metales en su mayor o menor grado de ignorancia acerca del cómo y cuándo puede ocurrir la corrosión y el modo de prevenirla o evitarla.

A la corrosión, en los apretados programas de las carreras técnicas, si acaso, se le reserva el papel de una materia optativa, muchas veces para cubrir unos créditos sobrantes al finalizar los estudios de ingeniería. La preparación de los



profesionales que tienen que ver con la utilización de materiales metálicos, redundaría en una acertada utilización de los recursos anticorrosivos de que se dispone a la fecha y con ello se conseguiría un considerable ahorro en la monstruosa cifra que anualmente representan las pérdidas originadas por la corrosión.

En estos días de recortes presupuestales, de ahorro de energía y de conservación de los recursos naturales, parece increíble que no se haga aún nada al respecto.



III. DURABILIDAD DEL CONCRETO Y METODOS PREVENTIVOS PARA EVITAR LA CORROSION

3.1 ANTECEDENTES

Aquellos que laboran en una industria, observarán de que casi toda la instalación productiva está constituida de diversos metales: grandes reactores donde ocurren las transformaciones químicas operando a presiones y temperaturas elevadas, tuberías que transportan las materias primas así como los productos, tanques de almacenamiento, bombas, etc.

Por todo esto podemos decir, sin temor a equivocarnos, que aún y cuando se nos escape de la conciencia, vivimos en una civilización basada en el metal y que por lo tanto requerimos que los materiales metálicos en los cuales está basada dicha civilización industrial sean estables en nuestra atmósfera terrestre y que al menos duren en uso varios años.

Sin embargo, los metales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejan de ser funcionales, perdiendo sus propiedades decorativas o mecánicas. Algunos simplemente se disuelven en su totalidad en el medio que los envuelve.

De lo que muy poco que notamos, es que el hombre desarrolla un esfuerzo grandioso para evitar que los metales de uso industrial básico para la sociedad se deterioren y vuelvan a su estado original (es decir, de metal combinado con algunos otros elementos activos tales como el oxígeno, azufre y cloro). Veremos más adelante que salvo contados metales, la mayoría de ellos son inestables en muchos de los ambientes encontrados en la Tierra. La misma atmósfera, el agua del mar, salmueras, las soluciones ácidas, neutras o alcalinas y cientos de otros ambientes causan el retorno del metal hacia una forma más estable, similar a la de los minerales.

La producción de acero y la mejora de sus propiedades mecánicas han hecho posible su empleo en los dominios más variados. Desgraciadamente, el desarrollo en la utilización de los productos siderúrgicos va acompañado, paralelamente, de un aumento en el tributo que cada año se paga a la corrosión.



Para tener una pequeña idea de lo que esto pueda suponer, sépase que aproximadamente un 25% de la producción anual de acero es destruido por la corrosión.

La corrosión de los metales constituye por lo tanto, y con un alto grado de probabilidad, el despilfarro más grande en que incurre la civilización moderna. Las roturas en los tubos de escape y silenciadores de los automóviles, la sustitución de los calentadores de agua domésticos (cerca de 2.5 millones de unidades en los EUA en 1967), explosiones por fugas de gas en los tanques de almacenamiento o tuberías de conducción, roturas en las conducciones de agua, incluso el derrumbe de un puente, son algunos de los problemas con los cuales se encuentra el hombre. Nada metálico parece ser inmune a este tipo de acontecimientos.

A veces los daños causados por un problema de corrosión pueden ser muy amplios. Pensemos en la reparación de la falla de un oleoducto de crudo, resultante de problemas de corrosión interna o externa. Aparte del costo inherente a la sustitución del tramo de tubería dañado, hay que tener en cuenta el daño causado por el aceite derramado al terreno, muchas veces irreversible, así como el posible paro de la refinería y los consiguientes problemas de desabastecimiento que ello puede llegar a acarrear.

3.2 METODOS DE CONTROL DE CORROSIÓN

La tendencia de los metales a corroerse es un hecho natural y permanente. El problema radica en controlar este efecto destructivo con la mayor economía posible, en la forma técnicamente adecuada, optimizando los recursos existentes.

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas, y cierta área de uso en la cual es el más económico.



La tendencia de los metales a corroerse son un fenómeno que debe reconocerse como inevitable. La tarea del Ingeniero en Corrosión es controlar sus efectos destructores con un mínimo de costo.

Entre los métodos más comunes para el control de la corrosión citamos: el uso de materiales resistentes a la corrosión, la protección por recubrimientos anticorrosivos y aislamientos térmicos, el sobre diseño, y el uso de inhibidores.

3.2.1 Recubrimientos

Estos recubrimientos se utilizan para aislar el metal del medio agresivo. Veamos en primer lugar aquellos recubrimientos no-metálicos y metálicos que se pueden aplicar al metal por proteger, sin una modificación notable de la superficie metálica.

3.2.1.1 Recubrimientos no metálicos

Podemos incluir dentro de éstos las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas. Grasas, ceras, aceites, empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal.

Recubrimientos orgánicos de materiales plásticos: esmaltes vitrificados resistentes a la intemperie, al calor y a los ácidos.

3.2.1.2 Recubrimientos metálicos

Pueden lograrse recubrimientos metálicos mediante la electro deposición de metales como el níquel, cinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etcétera.

Inmersión en metales fundidos: Cinc (galvanización en caliente), aluminio (aluminizado), etc.

Proyección del metal fundido mediante una pistola atomizadora. Metalizaciones al cinc, aluminio, estaño, plomo, etc.



Reducción química (sin paso de corriente): electrones. Por ese procedimiento se pueden lograr depósitos de níquel, cobre, paladio, etc. Recubrimientos formados por modificación química de la superficie del metal. Los llamados recubrimientos de conversión consisten en el tratamiento de la superficie del metal con la consiguiente modificación de la misma. Entre las modificaciones químicas de la superficie del metal podemos distinguir tres tipos principales:

3.2.1.2.1 Recubrimientos con modificación en la superficie

Son recubrimientos formados por modificación química de la superficie del metal. Los llamados recubrimientos de conversión consisten en el tratamiento de la superficie del metal con la consiguiente modificación de la misma. Entre las modificaciones químicas de la superficie del metal podemos distinguir tres tipos principales:

3.2.1.2.1.1 Recubrimientos con fosfatos

El fosfatado se aplica principalmente al acero, pero también puede realizarse sobre cinc y cadmio. Consiste en tratar al acero en una solución diluida de fosfato de hierro, cinc o manganeso en ácido fosfórico diluido. Los recubrimientos de fosfato proporcionan una protección limitada, pero en cambio resultan ser una base excelente para la pintura posterior.

3.2.1.2.1.2 Recubrimientos con cromatos

Se pueden efectuar sobre el aluminio y sus aleaciones, magnesio y sus aleaciones, cadmio y cinc. Por lo general, confieren un alto grado de resistencia a la corrosión y son una buena preparación para la aplicación posterior de pintura.

3.2.1.2.1.3 Recubrimientos producido por anodización

El anodizado es un proceso electrolítico en el cual el metal a tratar se hace anódico en un electrolito conveniente, con el objeto de producir una capa de óxido en su superficie. Este proceso se aplica a varios metales no-ferrosos, pero



principalmente al aluminio y a sus aleaciones. Proporciona una buena protección y también resulta un buen tratamiento previo para la pintura posterior.

Podemos incluir también entre los recubrimientos con modificación de la superficie del metal, los procesos de cementación. En este proceso, se convierte la superficie externa de la porción metálica que se quiere proteger, en una aleación de alta resistencia a la corrosión. El proceso consiste en calentar la superficie metálica en contacto con polvo de cinc polvo de aluminio o un compuesto gaseoso de cromo . Se obtienen capas de un considerable espesor.

3.2.1.2.2 Procedimientos para el recubrimiento metálico.

Los procedimientos más comúnmente empleados en la práctica para obtener recubrimientos metálicos sobre el acero son:

- Inmersión en un metal
- metalización por proyección con pistola
- electrólisis

Los procedimientos de aplicación son de suma importancia en cuanto a la eficacia de la protección contra la corrosión, pues tanto el espesor, porosidad, como la naturaleza misma de las capas obtenidas son función del procedimiento de aplicación. Así, por ejemplo, los recubrimientos electrolíticos que tienen espesores de algunos micrones, se reservan generalmente para su utilización en medio poco agresivo. En cambio, los recubrimientos obtenidos por inmersión en un metal fundido tienen espesores mayores.

Los recubrimientos obtenidos mediante proyección permiten obtener espesores más grandes y perfectamente controlables. Se utilizan especialmente en condiciones severas de corrosión.

El placado del acero permite asociar a la calidad mecánica del soporte, la resistencia a la corrosión del recubrimiento.



La selección entre los diferentes procedimientos de aplicación de los recubrimientos metálicos se realiza, siguiendo criterios tales como: el espesor de protección, dimensión de las piezas, agresividad del medio, duración prevista, etc. Muy brevemente vamos a describir cada uno de los procedimientos citados.

3.2.1.2.2.1 Inmersión de un metal en fusión

Después de una adecuada preparación superficial (un decapado ácido por ejemplo), las piezas de acero se sumergen momentáneamente en un baño de un metal en fusión. Esta operación puede realizarse para una sola pieza o para un conjunto, o también en continuo para productos siderúrgicos como tuberías láminas, trefilados, etc. Tal técnica se utiliza habitualmente para los recubrimientos de cinc (galvanización en caliente), aluminio (aluminizado), estaño y plomo.

Después del enfriamiento, las piezas ya recubiertas pueden someterse a un tratamiento complementario de pasivación en ciertos casos.

3.2.1.2.2.2 Etalización por protección de pistola

Esta técnica consiste en proyectar sobre la superficie del acero, ya preparada en unas condiciones especiales (por chorreado con arena o granallado), un metal en estado de fusión por medio de una pistola.

El espesor del recubrimiento se puede controlar fácilmente por el operador y puede variar según la naturaleza del metal proyectado y el resultado que se espera obtener. La mayoría de los metales o aleaciones pueden aplicarse de esta manera: cinc, aluminio, acero inoxidable, estaño, plomo, níquel, cobre, etc.

3.2.1.2.2.3 Electrólisis

Después de una cuidadosa preparación superficial que incluye un decapado ácido, seguido de neutralización y lavado, las piezas por tratar se sumergen en soluciones que contienen sales de los metales a depositar. Las piezas se colocan en posición catódica, conectadas al polo negativo de un generador. Bajo la acción de la corriente eléctrica proporcionada por el generador, el acero se



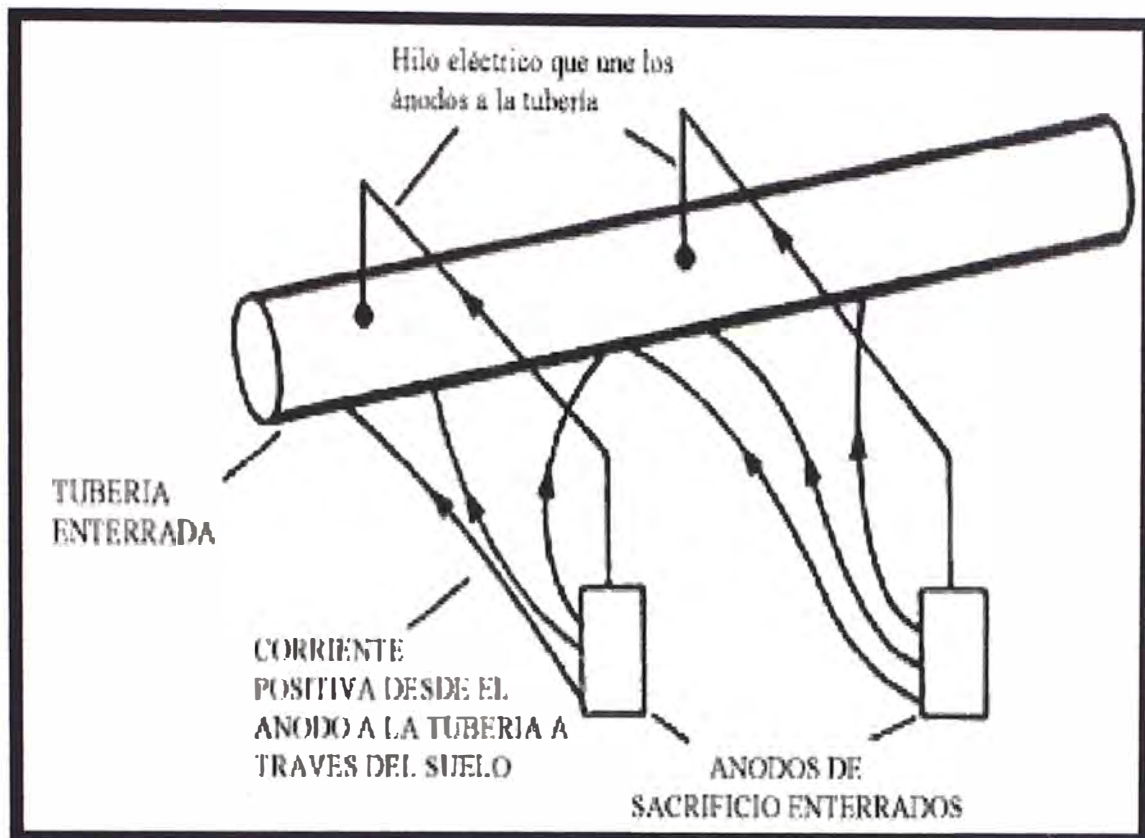
recubre del metal contenido en el baño o bien puede ser suministrado por un ánodo soluble del metal en cuestión.

Los metales corrientemente depositados por vía electroquímica son: cromo, cobre, níquel, cinc, cadmio y estaño. Los depósitos obtenidos son por lo general de espesor pequeño (2 a 30 micrones).

3.2.2 PROTECCION CATÓDICA

Con la protección catódica se trata de evitar los procesos anódicos en el acero eliminando de esta forma la corrosión. Esta se ha empleado desde hace muchos años en la protección de tuberías de oleoductos, plataformas petroleras, buques. Con esta forma se pretende situar al acero en la zona de inmunidad haciendo de esta forma imposible la reacción de oxidación del acero. Para esto lo que se hace es someter a la pila galvánica a un potencial de signo contrario con lo cual al anular la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo no habrá flujo de corriente y por lo tanto la corrosión se interrumpirá. Las armaduras de acero actúan como cátodo y como ánodo se emplean hilos platinados, de fibra de carbono protegidos con polímeros.

Sin embargo la protección catódica es costosa y difícil de realizar requiriendo el empleo de personal muy capacitado que cuide la interconexión eléctrica entre las distintas barras y que realice un mantenimiento periódico de la instalación.



Protección catódica mediante ánodos de sacrificio

3.2.3 INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Aparte de los sistemas de protección que actúan directamente sobre el acero, existen otros que lo hacen indirectamente a través del concreto son los llamados inhibidores de corrosión que actúan rompiendo la continuidad del circuito eléctrico al ejercer su acción sobre la superficie metálica del acero dificultando así la reacción anódica. Los inhibidores anódicos mas usados para el acero en medio alcalino son los nitritos sódicos y cálcicos.

Cualquier inhibidor tiene que ser compatible con el concreto no produciendo modificaciones en las características fisico-químicas.

Como se ha indicado los iones cloro son los mas frecuentes en el concreto debido al empleo de aditivos acelerantes o como consecuencia de encontrarse



en estructuras expuestas al ambiente marino. Frente a la acción corrosiva de estos se puede emplear nitritos con inhibidores.

Para que un inhibidor sea eficaz debe de emplearse en la proporción adecuada, de acuerdo con la agresividad del medio, existiendo el riesgo de que se inicie la corrosión de una forma intensa si se emplea una dosis menor de un valor crítico.

3.3 CONCRETO

Debido a las experiencias reiteradas de deterioro acelerado de las estructuras de concreto en todo el mundo, el concepto de durabilidad ha sufrido un cambio que está relacionado íntimamente con el costo final del producto y la vida útil de la estructura. Se discutirá los tres parámetros que se manejan en la concepción del concreto durable: condiciones de exposición, condiciones de servicio y prácticas constructivas adecuadas. Éstos son, en definitiva, los tres aspectos básicos que hay que considerar en la elaboración de un concreto de larga vida.

El ACI 201 define la durabilidad del concreto hecho con cemento hidráulico como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Y determina que el concreto durable debe mantener su forma original, calidad y características de servicio cuando es expuesto a este ambiente.

Tomando como base estas condiciones, la expectativa de mejorar la durabilidad y por tanto la vida útil de cualquier estructura, está dada por la definición de sus condiciones de exposición, condiciones de servicio y las prácticas recomendadas en la construcción del elemento.

En la determinación de cada uno de esos parámetros, las condiciones de exposición deben ser integradas a la posición geográfica, el carácter del lugar y el medio de contacto. Las condiciones de servicio que generan los daños más comunes que afectan al concreto en su durabilidad están expresadas por ataque de sulfatos, exposición al agua de mar, ataque ácido, carbonatación, abrasión, corrosión del acero de refuerzo y reacciones químicas; y por último, se deben



tomar en cuenta las prácticas constructivas recomendadas; previas, durante y posteriores a la colocación del concreto.

Puesto que el deterioro prematuro de un elemento de concreto tiene causas muy variadas y que pueden ocurrir en un elemento a un mismo tiempo, es necesario identificarlas todas y reconocer su posible procedencia, más aún, es necesario saber sus mecanismos de ocurrencia y la magnitud de los daños que pueden provocar, ya que el establecimiento de todas estas condiciones es vital para poder prolongar la vida útil de cualquier estructura.

3.4 ASPECTOS BASICOS PARA LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Una forma sencilla de abordar esta problemática actual de las estructuras de concreto es citar algunos ejemplos donde el desconocimiento o la poca importancia dada a la durabilidad durante su diseño y la falta de evaluación de las condiciones de exposición y servicio de los elementos se tradujo en el deterioro acelerado de las estructuras, con sus subsiguientes problemas operativos., mantenimiento, costos de reparación y disminución de su vida útil.

3.4.1 Condiciones de exposición

La determinación de las condiciones de exposición de cualquier elemento se deben evaluar con atención al medio ambiente y dependen de la posición geográfica y del carácter urbano, rural o industrial del lugar; y las características del medio de contacto corresponden al suelo, el agua o cualquier otra sustancia sólida, líquida o gaseosa que eventualmente pueda tener contacto con la estructura. En el caso de las condiciones que prevalecen en el interior del concreto, la condición más inestable que afecta la durabilidad del mismo es la que se produce por las reacciones deletéreas entre el cemento y los agregados.

Cuando se considera la elaboración de concreto, las condiciones climatológicas se tienen como un grupo de variables importantes, las cuales pueden ser identificadas y agrupadas en tres diferentes categorías:



- Intervalo de baja temperatura, en que deben aplicarse medidas para proteger el concreto fresco y endurecido contra el frío excesivo.
- Intervalo de temperatura moderada, en que no se requieren medidas especiales en este aspecto para el uso del concreto en la construcción de estructuras ordinarias.
- Intervalo de altas temperaturas, durante cuya manifestación se recomiendan precauciones con el objeto de prevenir los efectos perjudiciales del calor excesivo principalmente sobre el concreto fresco y recién colocado.

3.4.2 Características del lugar

Al definir el carácter del lugar, se pueden definir tres ambientes básicos de referencia: urbano, rural o industrial. En cada uno de estos sitios se pueden definir varias condiciones relativas al carácter del lugar que permiten establecer diversos subambientes; en la creación de esta subdivisión se toman como base la humedad y la exposición a sustancias químicas agresivas.

En orden de menor a mayor condición de riesgo se puede obtener la siguiente clasificación de carácter del lugar:

- Ambiente seco
Interior de habitación u oficina con humedad relativa $< 70\%$.
- Ambiente húmedo
Habitación interior con humedad relativa > 70
Exterior, en contacto con agua o terreno no agresivo.
- Ambiente marino
Parcial o totalmente inmerso en el mar o zona periférica.
Área rica en sales o zona costera.
- Ambiente con ataque químico débil
Contacto con sustancias débilmente agresivas.
Área industrial o urbana con débil contaminación.



- Ambiente con ataque químico medio

Contacto directo con sustancias moderadamente agresivas.

Área industrial o urbana con alta contaminación.

- Ambiente con ataque químico fuerte

Contacto con sustancias fuertemente agresivas.

Una vez colocadas, las estructuras de acero tienen contacto directo con el concreto, suelo o agua. Los últimos dos medios son los únicos que pueden tener un carácter agresivo que afecte la durabilidad de la estructura que se encuentre en contacto con ellos, y esto se debe a que de manera natural estos medios pueden contener, en concentraciones variables, sustancias agresivas que pueden causar daños al cemento portland.

Aunque la lista de sustancias agresivas para el concreto puede resultar muy larga, las que se consideran más comunes son los sulfatos, los cloruros, los álcalis, el calcio y el magnesio.

El ataque por estas sustancias agresivas será tratado más adelante con detalle para el caso de las más importantes y comunes, pero como existen situaciones en que las condiciones de diseño no permiten la protección total del elemento, se deben tomar precauciones para aislar la estructura de concreto de su medio de contacto, para lo cual se ha recomendado la aplicación de una serie de medidas en forma individual y complementaria, que son las siguientes:

- Abatir el nivel freático por medio de drenes o por cualquier otro procedimiento adecuado.
- Aplicar sobre la superficie del terreno o la cimentación un producto impermeabilizador u otro material que actúe como tal, antes de desplantar la estructura de concreto.
- Aplicar un recubrimiento de protección sobre las superficies terminadas de concreto que deban permanecer enterradas.
- Sustituir el material producto de excavación por otro exento de sustancias agresivas para efectuar los rellenos de las cimentaciones.



3.4.3 CONDICIONES DE SERVICIO

3.4.3.1 Ataque por sulfatos

Los medios de contacto agresivos para el concreto están caracterizados por suelos y aguas superficiales o freáticas que contienen sustancias que atacan químicamente al concreto.

De manera común, las sales inorgánicas presentes en estos medios son los sulfatos, los cuales se encuentran en diferentes niveles de concentración en la naturaleza. Cuando se estiman en concentraciones pequeñas, se consideran prácticamente inofensivos, pero a medida que incrementan su nivel de concentración, su presencia se vuelve una condición de riesgo para las estructuras de concreto ya que puede producir cambios volumétricos en los elementos, de tal forma que ocurra un deterioro prematuro del concreto. Cabe mencionar que la condición más desfavorable cuando existen sulfatos es cuando éstos se encuentran solubles en agua.

En nuestro país, especialmente en la costa existen numerosos sitios donde el suelo o el agua, o ambos, contienen elevadas concentraciones de sulfatos, lo cual reviste importancia cuando en estos sitios se pretende cimentar estructuras de concreto. De manera general, no limitativa, puede decirse que es conveniente evaluar esta condición previamente a la construcción, analizando el suelo y el agua, en las zonas áridas y semidesérticas, en la vecindad de las costas de nuestro litoral, particularmente en las zonas bajas y regiones pantanosas colindantes a los lechos de los ríos.

3.4.3.2 Exposición al agua de mar.

El agua de mar contiene de manera natural elevadas concentraciones de sulfatos (1,500 ppm) y de cloruros (> 20,000 ppm), por lo que representa un medio de contacto francamente agresivo para el concreto, ya que se debe cuidar la combinación de efectos por la concentración elevada de este tipo de sales en el medio.



3.4.3.3 Carbonatación

Los principales efectos de la carbonatación son una clara disminución del PH de la pasta de concreto, que como consecuencia genera una disminución de la protección que da la pasta a la corrosión del acero de refuerzo. El principal promotor de la corrosión es el CO_2 que se encuentra presente en el ambiente de manera regular cuando se combina, con la temperatura, la humedad relativa y la permeabilidad del concreto.

Altas tasas de carbonatación ocurren cuando la humedad relativa se ubica entre 50 y 70 por ciento, y cuando ésta tiene valores < 25 por ciento, la carbonatación se considera insignificante. Se ha identificado que el agua contiene más de 20 ppm de CO_2 agresivo, lo cual puede favorecer la rápida carbonatación de la pasta de cemento portland; por otra parte, se ha concluido que en aguas con libertad de movimiento con 10 ppm o menos de CO_2 agresivo, el riesgo de carbonatación resulta insignificante.

3.4.3.4 Ataque químico

El ataque químico al concreto está representado por muy diversos componentes, los cuales pueden tener muy diversos orígenes y fuentes de aporte, de tal manera que es necesario conocerlos para reconocer cuáles son sus posibles efectos nocivos en contacto con el concreto.

3.4.3.5 Corrosión del acero de refuerzo

Se ha identificado que la principal causa de corrosión del acero del refuerzo embebido en el concreto tiene origen en una diferencia potencial electroquímica en la que es común, la presencia de una corriente eléctrica que inicia el fenómeno de corrosión electrolítica; aunque también se reconoce que este tipo de proceso se puede manifestar por un ataque químico directo.

Como consecuencia de los procesos de corrosión del acero, resulta dos efectos claramente diferenciados en las estructuras de concreto. Por una parte, debido a



la corrosión del acero de refuerzo disminuye la sección del acero, con lo que pierde su adherencia a la pasta, se afectan en forma negativa sus propiedades mecánicas y, por tanto, merma su capacidad de trabajo estructural.

Por otra parte, ocurren cambios volumétricos que se derivan de la formación de los productos de la corrosión, donde dichos cambios generan presiones lo suficientemente poderosas para agrietar la pasta de concreto y, en casos extremos, provocar desprendimientos de concreto.

Luego, para mitigar la ocurrencia de los procesos corrosivos, se deben identificar las principales causas que lo favorecen, y éstas son:

- Excesiva porosidad del concreto (concreto permeable al agua y al aire).
- Reducido espesor del recubrimiento de concreto sobre el refuerzo.
- Existencia de grietas en la estructura.
- Alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto.
- Manifestación de corrientes eléctricas en el concreto (corrientes parásitas o generadas internamente por diferencia de potencial).

Abrasión

Por definición, el ACI 1167 considera como abrasión las acciones de desgaste derivadas de la fricción y el frotamiento, mientras que la erosión corresponde a la acción abrasiva de cavitación en el concreto derivado de la acción de cualquier fluido en movimiento.

Se identifica que la resistencia a este proceso depende de tres aspectos básicos:

a) la resistencia intrínseca de los agregados a las acciones abrasivas y su composición granulométrica; b) la resistencia mecánica del concreto, específicamente a la compresión, y c) los diferentes aspectos prácticos involucrados en el uso del concreto y la ejecución de la obra.

Las condiciones anteriores, el ACI 3028 las ha resumido y agrupado en una serie de deficiencias que afecta en forma directa la resistencia al desgaste de las



superficies de concreto expuestas a la abrasión, por lo que para mejorar la resistencia de las estructuras a este proceso se debe evitar lo siguiente:

- Emplear excesiva agua de mezclado.
- Utilizar la cantidad de cemento adecuada, evitando la insuficiencia.
- Revenimiento alto que provoque el movimiento de las partículas ligeras hacia la superficie y el sangrado.
- Manipulación excesiva del concreto.
- Contenido de aire que no considere las condiciones de exposición.
- Prácticas inadecuadas de acabado que favorecen el proceso de sangrado.
- Realización del acabado superficial con adición de agua.
- Formas y prácticas de curado no adecuadas.
- Carbonatación.
- Disminución de la resistencia potencial del concreto.
- Apertura de la estructura al tránsito en forma prematura.

Reacciones de los agregados

Todos los agregados son reactivos en menor o mayor grado cuando se incorporan en concreto elaborado con cemento portland. Esto sólo se convierte en un problema cuando los productos de reacción son de una composición determinada y abundante, y su toma de humedad produce fuerzas de expansión destructivas dentro del concreto. Este proceso de reacción involucra la presencia de álcalis en el concreto (usualmente aportados por el cemento), agua y ciertos agregados silíceos. El deterioro debido a esta reacción se manifiesta usualmente en la superficie de la estructura afectada por un sistema regular de fracturas llamado mapeo o patrón de fisuramiento. Este patrón puede ser influido por el tamaño y la forma de la estructura afectada.

La reacción álcali-agregado se define como el proceso físico-químico en el que intervienen algunos minerales de los agregados y los hidróxidos alcalinos del concreto que son aportados principalmente por el cemento, los agregados o por



algún agente externo. Este proceso genera presiones de poro lo suficientemente fuertes para producir fisuramiento del concreto y su consecuente deterioro.

Las condiciones que permiten su desarrollo son:

- a) Desarrollo de altas concentraciones de hidróxidos alcalinos en la solución de poro y migración de los reactantes a los sitios de la reacción.
- b) Reacción con las fases reactivas dentro de las partículas de agregado y formación de un producto de reacción (gel).
- c) Flujo o absorción de un fluido en o por el producto de reacción, causando fuerzas expansivas.
- d) El estrés o fuerza expansiva actúa en el cemento, el agregado y en la zona de adherencia pasta/agregado, causando fracturamiento y el subsiguiente deterioro del concreto.

Comúnmente se admite que existen tres condiciones cuya ocurrencia en el concreto es necesaria para que se produzca y manifieste una reacción álcali-agregado en grado deletéreo:

Primera, presencia de rocas y minerales reactivos en los agregados, en las proporciones que en cada caso resulten críticas, conforme a su origen y naturaleza.

Segunda, elevado contenido de álcalis en la mezcla de concreto para mantener una solución fuertemente alcalina en contacto con los agregados.

Tercera, presencia de humedad capaz de permitir la formación de las soluciones de poro.



3.5 FACTORES QUE CAUSAN EL DETERIORO DEL CONCRETO.

Entre los principales factores podemos mencionar:

- a) **Los agregados.** Aquellos agregados que poseen una estructura débil son materiales vulnerables a los efectos del intemperismo y la humedad.
- b) **Congelamiento y deshielo.** En zonas frías cuando el concreto se congela, en sus poros se ha absorbido agua creando una presión expansiva. Esta presión produce resquebrajamiento.
- c) **Desgaste por abrasión.** Este se produce debido al constante tráfico formándose grietas y daños en las juntas de dilatación.
- d) **Filtraciones.** La filtración del agua a través de las grietas o fisuras en el interior del concreto, provoca el escurrimiento de hidróxido de calcio disuelto y otros componentes.
- e) **Temperatura.** El cambio de temperatura provoca una deformación diferencial entre la superficie y el interior del concreto, provocando altos esfuerzos de tensión con el consiguiente deterioro.
- f) **Acero corroído.** El aumento de volumen en el acero corroído ocasiona un aumento de presión interna en el concreto lo cual provoca desprendimientos.
- g) **Fisuras.** Normalmente aparecen en la etapa de construcción a consecuencia de tensiones superiores, por lo que se debe de evitar el tráfico y las operaciones sobre la superficie recién acabada en algunos casos se debe de proteger el concreto fresco con una manta para evitar la aparición de estas.



IV. PROBLEMAS DE CORROSIÓN EN DIFERENTES OBRAS

4.1 GENERALIDADES

En las obras de concreto armado, particularmente aquellas situadas en las proximidades del mar, en atmósferas industriales, salinas, contactando con terrenos ricos en cloruros; es frecuente que aparezcan fisuras de desarrollo en las que siguen desprendimientos del hormigón.

Como es de conocimiento general el problema de corrosión de las armaduras no es nuevo, ya que apareció con el propio hormigón armado; sin embargo a partir de 1960 surge gran inquietud por el conocimiento de estos fenómenos de corrosión del acero dentro del concreto. Y también inquietud por saber la influencia que sobre la misma tienen la presencia de iones cloro, y la propia carbonatación del concreto.

Quizás esta preocupación sea consecuencia por las grandes pérdidas económicas que origina la corrosión del acero en el concreto armado, en todo el mundo. Los expertos han determinado que las pérdidas anuales causadas por la corrosión, viene a ser alrededor del 3.5% del PBI.

Por otra parte, es muy conveniente tener en cuenta que el hormigón debido a su alcalinidad, es un medio muy adecuado de protección para las barras de acero. Pero esta cualidad protectora puede perderse muy fácilmente, aún en un ambiente no muy agresivo, cuando el concreto no posee la calidad suficiente y los recubrimientos de barra no son los adecuados.

Aplicándose correctamente los conocimientos que se poseen en la actualidad podemos reducir las pérdidas por corrosión notablemente, y que según cálculos alcanzaría hasta un 22%.



4.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LAS OBRAS.

En nuestra época vigente, los problemas que ocurren en las obras de concreto son por la poca importancia que se dá al diseño, al concepto de durabilidad; y a la falta de evaluación de las condiciones de exposición y servicio de los elementos. Todo esto se traduce en un deterioro acelerado de las estructuras, en problemas operativos, mantenimiento, y costos de reparación.

4.3 DATOS DE LAS OBRAS

A continuación vamos a presentar algunos casos de obras con problemas típicos de corrosión, que fueron ubicados en la ciudad de Lima. Y creo oportuno comentar en este acápite, que en los llamados "conos" de ésta nuestra ciudad capital, abundan los problemas estructurales y de corrosión por los materiales deficientes y mano de obra no calificada, que se emplean especialmente en la construcción de viviendas. Y principalmente por la falta de dirección profesional.

4.4 CASO I MURO DE CONTENCION DE CONCRETO ARMADO

4.4.1 Ubicación

Se encuentra en el distrito de los Olivos ciudad de Lima. Sus características son:

La longitud de este muro es de 12 mts de largo por 8 mts. de alto. Fué construido el año 1988, por lo que a la fecha su edad es de 17 años.

La estructura está formada por elementos de concreto reforzado de $f'c = 210$ kg/cm².



Fig. 15 Muro de contención con fallas de corrosión

4.4.2 Características del lugar

La zona debido a la cercanía con el mar es un lugar húmedo(humedad relativa que varía entre 50%-60%), con una temperatura promedio de 20 grados centígrados y una velocidad del viento, suave.

4.4.3 Origen de los daños

El concreto estaba expuesto a las acciones de sales inorgánicas presentes en el terreno, y como éste se encuentra continuamente húmedo, las sales y sulfatos atacan constantemente al concreto, penetrando en él y originando la corrosión por carbonatación.

Los daños están situados principalmente en la base de la estructura la que permanece en contacto con el suelo.



Fig. 16 *La base de la estructura presente fallas por corrosión debido a la constante humedad*



Fig. 17 Columna descubierta debido al proceso de carbonatación y al pobre tipo de mezcla

4.4.4 Factores que causaron el deterioro

Entre los principales factores son el tipo de suelo, que tiene alto contenido de sales, esto se nota por la base de la estructura que se encuentra parcialmente corroída. Otro de los factores es la constante humedad debido al riego del jardín que se encuentra a su lado; también la mala preparación del concreto puesto que en la vecindad existen estructuras de similar edad, y aún no han sufrido deterioro alguno. De esto se deduce, que no se realizó una dosificación adecuada.



Fig. 18 Humedad , microorganismos y la mala calidad del concreto causantes del fenómeno de corrosión (muestra el desprendimiento del concreto).

4.4.5 Alternativas de control

En primer lugar podemos decir que no existe concreto, que pueda resistir indefinidamente el ataque de elementos corrosivos, por este motivo es necesario usar recubrimientos especiales, inhibidores y otros métodos de protección. Para nuestro caso una correcta dosificación en la elaboración del concreto, con el objeto de buscar una baja permeabilidad $a/c < 0.45$ y principalmente empleando cementos tipo II, V, é IP. Como sabemos la característica principal de los cementos resistentes a los sulfatos consiste en su bajo contenido de aluminato tricálcico; luego utilizar éste tipo de cemento hubiera sido la solución.



Otro aspecto a tomar en cuenta es la humedad presente en el suelo debido al jardín adyacente, lo cual se debe suprimir. Se indica las pinturas especiales para el acero e inhibidores añadidos a la mezcla de concreto.

Resumiendo la solución implicará un mejoramiento del suelo, evitar la humedad, y una reparación parcial de toda la estructura dañada.

4.5 CASO II VIVENDA DE 2 NIVELES

4.5.1 Ubicación

Se encuentra en el distrito San Martín de Porres, ciudad de Lima. Esta vivienda fue construida el año 1984, por lo que a la fecha su edad es de 21 años. La estructura está formada por elementos de concreto armado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y con paredes de mampostería de arcilla cocida. El entrepiso está construido a base de losa aligerada.



**Vivienda afectada por problemas de corrosión
Vista frontal**



4.5.2 Características del lugar

El sitio de la edificación se encuentra en las cercanías del Río Chillón, motivo por el cual se tiene un ambiente húmedo durante todo el año, con una temperatura promedio de 20 grados centígrados, y el suelo con abundante cantidad de sulfatos.

4.5.3 Origen de los daños

El concreto perdió parte de su recubrimiento, por lo que hubo exposición de barras de refuerzo en las columnas. En otras partes de la estructura se vé agrietamientos en dirección del refuerzo, ciertos sectores con desmoronamiento del concreto y humedad debido a las filtraciones.



Fig. 19 Pérdida de recubrimiento del concreto



Fig. 20 Corrosión del concreto debido a la humedad

4.5.4 Factores que causaron el deterioro

En este caso, causas del deterioro y proceso de corrosión son las filtraciones de agua que se observan en las instalaciones sanitarias. Pues los daños se ubican principalmente en los servicios higiénicos, como en la cocina. Otro factor importante es la calidad de los agregados, éstos se encuentran contaminados con sales y sulfatos, razón por el cual provocaron el desmoronamiento del concreto en algunos sectores de la vivienda.



Fig. 21 *Humedad debido a las filtraciones, causaron el problema de la corrosión.*

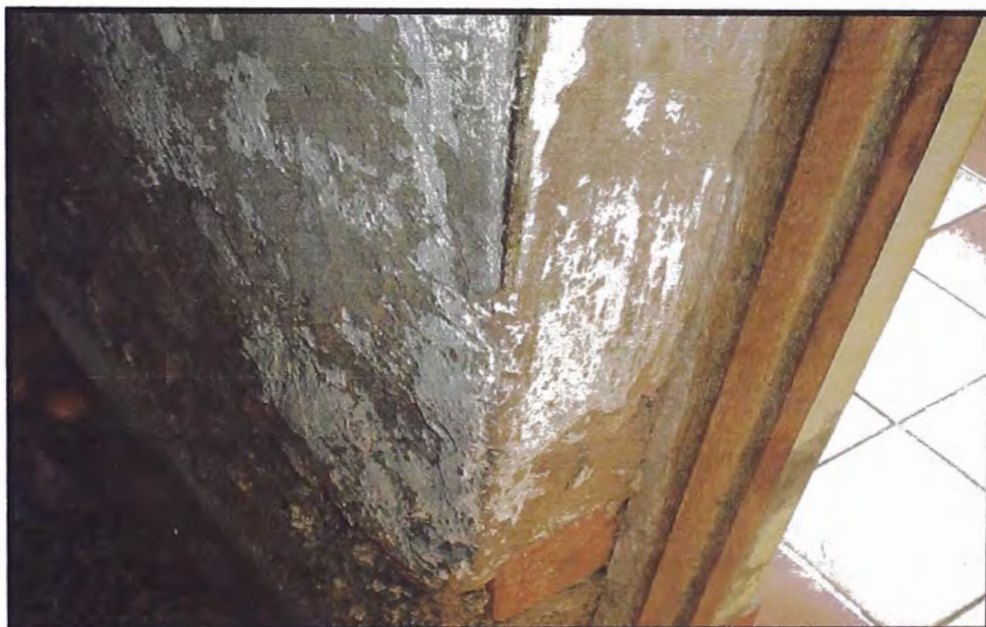


Fig. 22 *Otro sector de la vivienda atacado por efectos de la humedad.*



4.5.5 Alternativas de control

Realizando la inspección del caso tenemos que, la vivienda presenta un daño estructural leve, las manchas de humedad reportadas en distintos puntos de la vivienda, se deben a fugas de los sistemas hidráulicos o a los desgastes que hay en las uniones; por esto se debe revisar las uniones principales para así eliminar los focos que propagan la humedad, y consecuentemente la corrosión.

Se recomienda efectuar las pruebas de sonido con el fin de ubicar las zonas donde el concreto se ha desprendido del acero; el cambio de sonido se debe a que el acero en la parte interior se encuentra corroído, esto nos sugiere que debemos refaccionar la zona afectada.

Las zonas donde se ha producido desmoronamiento de concreto, hay que reconstruirlas con un concreto de buena calidad y agregados libres de sulfatos, o con la cantidad de sulfatos permisibles.

Para este caso la reparación propuesta, es solamente una refacción de las zonas afectadas, ya que el problema no es tan complejo y considerando que presenta daños leves.

4.6 CASO III MUELLE EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE

4.6.1 Ubicación

Ubicado en la ciudad de Chimbote. Sus características constructivas son: longitud del muelle es de 180 metros, apoyado sobre pilotes de concreto armado. La sección transversal de las vigas tienen como dimensiones 0.55 mts. X 0.85 mts. de peralte.

La losa de concreto armado es de 20 cm de espesor vaceada monolíticamente



Fig. 23 Desprendimiento del recubrimiento del concreto

4.6.2 Características del lugar

Como es ciudad de nuestra costa norte tiene una temperatura promedio de 20° C, igualmente el ambiente marino contiene gran cantidad de sulfatos, ideal para el proceso de corrosión.

4.6.3 Origen de los daños

Se observa la pérdida significativa del concreto en una de las vigas, dejando totalmente descubierto el acero de refuerzo tanto en el tablero como en la viga.



Fig. 24 Pilote con problemas de corrosión

4.6.4 Factores que causaron el deterioro

Principalmente es el ambiente marino, que contiene gran cantidad de cloruros y sales los causantes de este fenómeno de la corrosión; puntualmente la zona de splash o zona de salpicadura. Otro factor a considerar es el de origen mecánico (impacto debido a las embarcaciones), desgaste por el acoderamiento continuo de las naves.

Para estas estructuras marinas debe buscarse formas que expongan la menor superficie posible, evitar ángulos y entrantes donde se puedan retener la humedad, lo ideal es que las aristas sean redondeadas.



4.6.5 Alternativas de control

Observando los diferentes síntomas que presenta la estructura a ésta necesariamente se tiene que reparar. El cemento utilizado debe poseer un alto contenido de aluminato tricálcico (debido a su acción neutralizadora de cloruros).

El concreto debe tener una resistencia de 350 kg/cm² con una relación de a/c < 0.40 y de baja permeabilidad.

En el proceso de refaccionamiento de la estructura, las barras de acero tienen que descubrirse totalmente para poder limpiarlas, y hacer que el nuevo concreto las envuelva íntegramente. En este ambiente el concreto debe ser protegido de la brisa marina así como del sol; éstos producen fisuración.

4.7 CASO IV MUELLE DE ESTRUCTURA DE ACERO DEL BALNEARIO DE ANCON.

4.7.1 Ubicación

Este muelle se encuentra ubicado en el distrito de Ancón, a cuarenta kilómetros de Lima en la bahía del mismo nombre, este es un puerto natural por su mar tranquilo sin olas. Las características son: longitud del muelle es de unos 80 metros, sus pilotes son metálicos, parcialmente sumergidos al mar; diremos que es de la clásica estructura metálica.



Fig. 25 Vista panorámica del muelle de Ancón

4.7.2 Características del lugar

Construida en la bahía de Ancón, como todo ambiente costero es húmedo con una temperatura promedio de 20 grados centígrados durante la mayor parte del año, peculiaridad de las latitudes medias. El balneario es zona de veraneo, y el muelle lo usa el Yatch Club del Perú, también pescadores artesanales.

4.7.3 Origen de los daños

Este se produce como en el caso anterior, por el alto contenido de las sales y cloruros presentes en las aguas del mar. Se observa la corrosión de los pilares metálicos en mayor grado, en la zona de "splash" o de salpicaduras.



Fig.26 Pilar corroído por los agentes agresivos (sulfatos).

4.7.4 Factores que originan los daños

Principalmente se debe al ambiente marino, y a las salpicaduras de agua con sales, las cuales en contacto con el oxígeno producen la oxidación del acero y como resultado su deterioro por corrosión.

4.7.5 Alternativas de control

Generalmente para este tipo de estructuras, es usual su protección con pinturas sintéticas los que crean una superficie impermeable. Otro método de protección puede ser la catódica, con esto se evita los procesos anódicos en el acero. Asimismo otro sistema de protección a emplear, son los inhibidores de corrosión que actúan directamente sobre el acero.

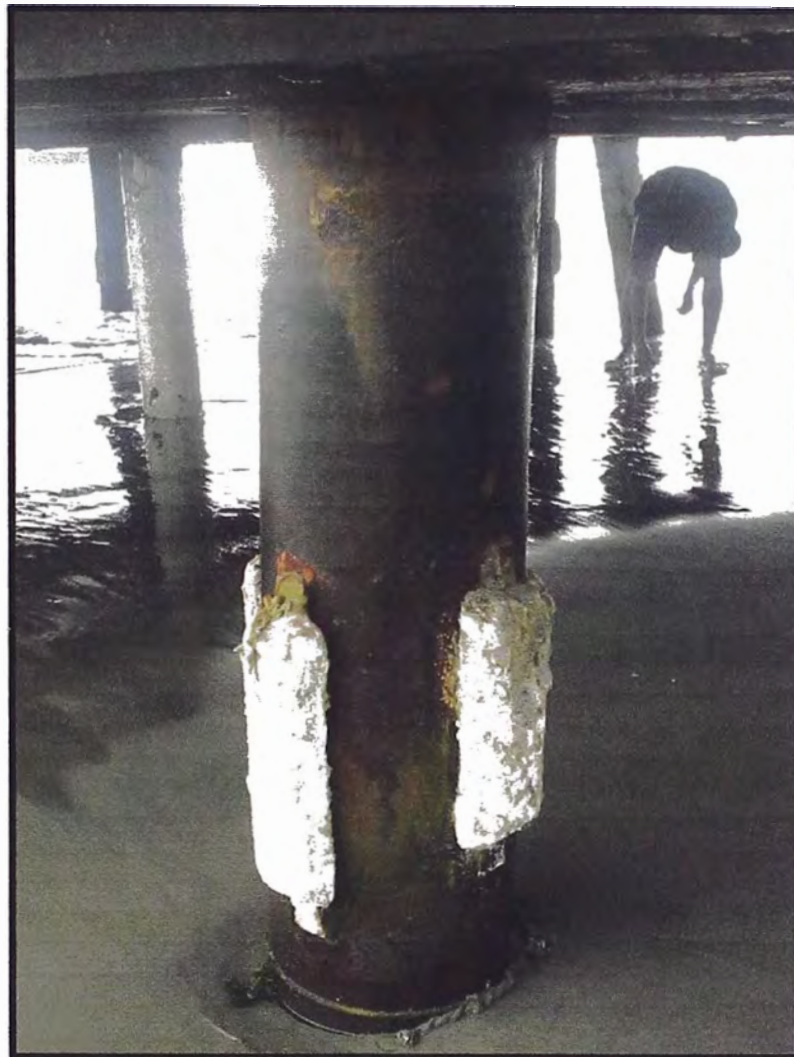


Fig. 27 *Colocación de ánodos de sacrificio para reducir la corrosión del acero*



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Como resultado de lo que exponemos en este breve informe podemos afirmar, que para proteger de la corrosión las estructuras de concreto armado; es de necesidad imperiosa el observar rigurosamente los siguientes conceptos:

- La primera forma elemental para evitar la corrosión esta dada por un buen diseño y prácticas de construcción adecuadas.
- Las principales causas que favorecen al fenómeno de la corrosión en el concreto armado son :
La excesiva porosidad del concreto
Alta concentración de agentes corrosivos en el concreto.
El poco espesor de recubrimiento sobre el refuerzo.
Corrientes eléctricas del concreto que son generados por diferencia de potencial.
- En las estructuras metálicas la corrosión es observable a simple vista lo cual permite hacer las reparaciones necesarias, mientras que en el concreto armado permanece cubierto y cuando se detecta, en algunos casos ya es irreparable.
- La influencia del medio ambiente en el concreto es fundamental para su deterioro. Es por eso que el concreto debe ser diseñado con los requerimientos de servicio digamos ya sea para un medio urbano o un medio marino.
- El deterioro de las obras de concreto se consideran de gran magnitud debido a su impacto económico, en algunos casos irreparable; siendo ineludible conocer su origen y desarrollo, a fin de poder controlar y prolongar la vida útil de la estructura.



- En nuestro país se da preferencia a las estructuras de concreto armado que a las de acero, motivado a que éstas últimas deben controlarse periódicamente; en cambio las de concreto requieren un estricto control solamente en la etapa constructiva.
- El curado deficiente afecta al acero de refuerzo, ya que a consecuencia de esto aparecen fisuras por donde ingresarán los elementos que producen o generan corrosión.
- Para que se genere la corrosión en el acero de refuerzo se necesita un PH menor que 12, pues si se tiene este valor aparece el fenómeno de *despasivación*.
- En las estructuras marinas la durabilidad de éstas depende de la calidad de los materiales usados en el concreto, así como de los procedimientos de mezcla y volúmenes.
- En una inspección visual para detectar problemas de corrosión se debe de observar: grietas, pandeos, contracciones , herrumbres.
- Si las estructuras con problemas de corrosión no son reparadas al comienzo de la anormalidad, el aumento de los daños la convierte en una estructura irreparable.
- En el ambiente marino se presenta un elevado contenido de sulfatos y cloruros lo que representa un medio de contacto agresivo.
- Según la norma ACI 318 se debe de considerar la utilización del cemento tipo II para exposiciones moderadas, y tipo V para exposiciones severas de sulfatos. Además se puede emplear inhibidores de corrosión para mejorar la protección.



- Los inhibidores de corrosión tienen que ser compatibles con el concreto para que no produzcan modificaciones en sus características físico-químicas.

RECOMENDACIONES

En las obras de concreto armado así como se plantea la supervisión adecuada durante la etapa de construcción, igualmente se recomienda el monitoreo y control de la corrosión mediante técnicas e implementos de evaluación apropiados.

- Se debe tener un control adecuado en la etapa de construcción, para las fisuras, las cuales dan paso a los agentes corrosivos.
- Se debe de tener una calificada mano de obra , técnicos , ingenieros preparados para que puedan afrontar los problemas y realizar los proyectos con conocimiento y eficiencia.
- En la etapa de proyecto se debe de planificar inspecciones periódicas a la estructura para ver el comportamiento de la misma .
- En zonas donde el ambiente es altamente corrosivo se debe de adoptar medidas de protección tanto en el concreto como en la armadura tales como inhibidores de corrosión, pinturas, recubrimientos adicionales.
- No es recomendable usar el agua de mar para el mezclado del concreto y agregados contaminados con sales.
- Asegurar que el espesor del recubrimiento sea el homogéneo y adecuado según las especificaciones.
- Trabajar con relación de a/c mas baja para obtener concreto de poca permeabilidad.



BIBLIOGRAFIA

OTERO HUERTAS ENRIQUE , Corrosión y degradación de los materiales, primera edición 2001.

MANUEL FERNANDEZ CANOVA , Patología y terapéutica del hormigón armado, tercera edición 1994.

ENRIQUE PASQUEL , tópicos de tecnología del concreto, primera edición 1993.

CAPÍTULO PERUANO ACI 2002, Diagnostico y reparación de estructuras de concreto armado.

MANUEL GONZALES COTERA , Corrosión en el ambiente marino, ASOCEM.

<http://www.pucp.edu.pe/~icp/intresp.html> Instituto Peruano de la Corrosión.

<http://www.sika.es/> Aditivos contra la corrosión.

<http://www.lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm>

<http://www.lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm>

<http://www.lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm>



ANEXOS

Concretos expuestos a soluciones con sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua presente en el suelo % peso	Sulfato en agua ppm	Tipo de concreto	Relación a/c
Despreciable	0.0 – 0.10	00-150	**	**
Moderado	0.10 – 0.20	150-1500	II	0.50
Severo	0.20 – 2.00	1500-10000	V	0.45
Muy severo	Sobre 2.00	Sobre 10000	V + puzolana	0.45

La puzolana es adecuada para mejorar la resistencia del concreto a la acción de los sulfatos, cuando se emplea el cemento portland tipo V.

** Para este tipo no hay ningún tipo de limitaciones.

INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Los inhibidores son sustancias químicas que protegen al metal contra el ataque electroquímico de soluciones agresivas. Son usados ampliamente por la industria para modificar el comportamiento de las aguas, a efectos de un mejor control de la corrosión.

El principio del funcionamiento de los inhibidores es formar en la superficie misma de los electrodos de la pila causante de la corrosión, sea un compuesto insoluble, sea la fijación de una determinada materia orgánica, con el objeto de polarizar la pila de corrosión.



El comportamiento de los inhibidores puede ser muchas veces peligroso, ya que en función de la concentración o de las circunstancias, pueden jugar tanto el papel de inhibidores como de estimuladores de la corrosión.

Los hay de dos tipos, aunque a veces se utiliza una combinación de ambos: —inhibidores anódicos— hidróxido sódico, carbonato, silicato y borato de sodio, ciertos fosfatos, cromato sódico, nitrito y benzoato de sodio, etc; —inhibidores catódicos— sulfato de cinc, sulfato de magnesio, bicarbonato de calcio, etc.

La disolución del acero en aguas de pH neutro tiene lugar en ánodos asociados con defectos en la capa superficial del óxido formado sobre el acero. En cambio, la reacción catódica puede ocurrir en cualquier lugar de la superficie. La combinación de ánodos muy pequeños y una gran superficie catódica, conduce a la llamada corrosión localizada (picaduras). Los inhibidores anódicos actúan formando un compuesto insoluble (óxido férrico), el cual precipita en los lugares anódicos, evitando la reacción anódica y por tanto, inhibiendo todavía más la corrosión.

Los inhibidores catódicos, en cambio, actúan sobre toda la superficie y son menos eficaces. Reducen la corrosión mediante la formación de una capa o película de alta resistencia eléctrica sobre la superficie, la cual funciona como una barrera para la corriente de corrosión.

Uno de los principales problemas de los inhibidores anódicos es que tienen que estar presentes en una concentración suficiente, con el objeto de asegurar que cualquier posible defecto en la película de óxido será cubierto, ya que, de lo contrario puede ocurrir una corrosión por picaduras (localizada) muy intensa. Este riesgo se puede minimizar utilizando los llamados sistemas de inhibidores de efecto sinérgico, los cuales, básicamente, son mezclas de inhibidores anódicos y catódicos. El constituyente catódico disminuye la velocidad de corrosión y así permite al constituyente anódico "sellar" la capa de óxido con una concentración mucho menor que si estuviera actuando solo. Actualmente, los sistemas de inhibidores que se están empleando para el control de la corrosión de aguas son de este tipo, por ejemplo, el sistema cromato/polifosfato de cinc. En los medios ácidos, los cuales disuelven la película superficial protectora de



óxido formada sobre el acero, los inhibidores anteriores, obviamente, no tienen efecto. En este caso se emplean los llamados inhibidores de adsorción específica —moléculas orgánicas— que aislan el metal del medio ácido, protegiendo la superficie por adsorción. Algunos inhibidores de adsorción actúan predominantemente sobre la reacción anódica, mientras otros lo hacen sobre la catódica.

El empleo de los inhibidores de la corrosión, entra dentro del control de ésta por modificación del medio ambiente. Los ambientes más comunes asociados con la corrosión son de tres tipos: aguas, la atmósfera y los suelos.

En el caso del agua hay que tener en cuenta todos los aspectos de la composición de ésta. Todas las aguas que están en contacto con metales, tanto en los procesos industriales como de otra naturaleza, provienen sea del agua de mar, sea del agua de lluvia. Por tanto, puede haber una gran variación en su composición química.

El principal método de tratamiento de aguas para control de la corrosión es la eliminación del oxígeno disuelto, junto con la adición de inhibidores. La presencia de oxígeno disuelto en el agua acelera la reacción catódica y, consecuentemente, la velocidad de corrosión aumenta en proporción a la cantidad de oxígeno disponible en el cátodo.

La eliminación tanto del oxígeno disuelto como del anhídrido carbónico (CO_2) de las aguas, antes de su uso, constituye un camino importante para el control de la corrosión no sólo del hierro y acero, sino también del cobre, bronce, cinc y plomo. El oxígeno puede ser eliminado por medios físicos de-aireación o químicos-de activación.

La de-aireación se puede llevar a cabo subiendo la temperatura, bajando la presión o purgando el agua por paso de un gas inerte.

La de-activación química se realiza por tratamiento del agua con hidrazina o sulfito sódico.



Por lo que se refiere a la atmósfera hay que tener en cuenta que la corrosión depende fundamentalmente de dos factores: la presencia de contaminantes (partículas sólidas en suspensión, impurezas gaseosas como el anhídrido sulfuroso, SO_2) y el contenido de humedad del aire.

La humedad relativa es muy importante al considerar los problemas relacionados con la corrosión atmosférica. El hierro libre de óxido no desarrolla la herrumbre en aquellas atmósferas cuya humedad relativa es del 70% o menor. En general, para cualquier metal que se pueda corroer en la atmósfera, hay un valor crítico de la humedad relativa, por debajo del cual no se corroe. Este valor crítico de la humedad está determinado grandemente por la naturaleza higroscópica de algún contaminante sólido que pueda estar presente y por la del producto o productos de corrosión formados. De aquí la gran influencia ejercida por los contaminantes atmosféricos.

Los métodos de control más efectivos para minimizar la corrosión atmosférica tendrían que ver con la modificación de la atmósfera, eliminando los contaminantes, particularmente el SO_2 . Esto no puede realizarse en el exterior y debe recurrirse a la protección de las estructuras y equipos sometidos a la intemperie, por alguno de los métodos citados anteriormente (pinturas, recubrimientos metálicos, etc.).

La corrosión en los suelos se parece en muchos aspectos a la corrosión por las aguas. En ambos casos, el electrolito contiene sustancias disueltas que alteran su comportamiento. La corrosión de un suelo puede cambiar de un área a otra por simple cambio de composición. Los principales factores que determinan cuándo un suelo es susceptible de ser agresivo con respecto a una estructura metálica enterrada son: la humedad, el acceso de oxígeno (aireación), conductividad eléctrica (la cual está influenciada por la presencia de sales disueltas) y el pH del suelo. No hay que olvidar que muchos problemas de corrosión de metales enterrados provienen de las llamadas corrientes eléctricas parásitas o vagabundas, producidas por ejemplo por los trenes eléctricos.



Como ya se ha indicado, el método más utilizado para prevenir la corrosión de metales o estructuras enterradas es la protección catódica, junto con un adecuado revestimiento.

PRICIPALES INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Sika Ferrogard que es un inhibidor interactua con el acero formando una capa protectora en este y protegiendo ambos lados de la celda de corrosión.

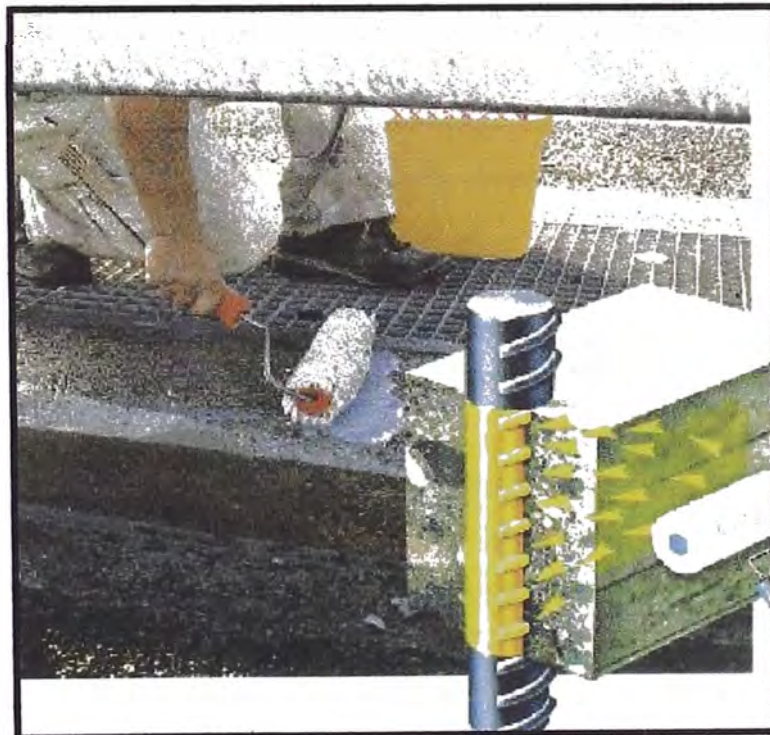
Aditivo para Concreto:

Sika Ferrogard 901

Inhibidor diseñado para extender la vida de las estructuras de concreto, se le agrega al concreto fresco siendo absorbido por el acero de refuerzo en un corto periodo de tiempo, disminuye la corrosión sin afectar las propiedades físicas del concreto.

Sika Ferrogard 903

Es un líquido acuoso para la impregnación del concreto el cual es aplicado a la superficie del concreto, rapidamente forma una capa protectora en el acero.





Inhibidor de corrosión DCI-S

es un líquido que se añade al concreto durante el proceso de mezclado. Inhibe químicamente la acción corrosiva de los cloruros sobre el acero de refuerzo en el concreto. Aunque posee propiedades como inhibidor de corrosión iguales al DCi (Aditivo ASTM C494 tipo C), el DCI-S no tiene las mismas características de aceleración de fraguado. Un litro de DCI pesa aproximadamente de 1,28 Kg, El DCI-S contiene 30% de nitrito de calcio como mínimo.

Uso

Se recomienda el uso del DCI-S en concreto armado, pre y post-tensado que vaya a estar en contacto con cloruros provenientes de sales descongelantes y ambientes marinos.

El inhibidor de corrosión DCI-S, es un sistema patentado que contiene nitrito de calcio que interactúa con el acero de refuerzo en el concreto y previene el ataque de las sales. Al interactuar químicamente con el refuerzo, se forma una barrera que previene la penetración de los cloruros. Se retarda el inicio de la corrosión y las tasas de corrosión se mantienen bajo control. Una vez que la corrosión se a inhibida, no ocurrirá la disrupción física del concreto a lo largo de la vida útil de la estructura.

Las cantidades recomendadas para añadir oscilan entre los 10-30 lt/m³ de concreto, aumentando el nivel de protección en proporción con la dosis

El inhibidor de corrosión DCI-S es completamente compatible con todos los tipos de cemento y con los concretos que posean puzolanas.

Se debe reducir el agua de mezcla para compensar la incorporación del inhibidor de corrosión. El factor de ajuste es 0,85 Kgs, de agua por cada litro de DCI-S. Se recomienda el uso de Reductores de agua de alto rango tales como WRDA a fin de mantener la trabajabilidad en concreto con bajas relaciones de agua/cemento.



El WRDA es un aditivo químico que contiene un catalizador que produce una hidratación rápida y completa del cemento, hace que la mezcla sea mas trabajable, produciendo un concreto mas resistente, menos permeable y de mayor durabilidad.

DOSIFICACION

WRDA reúne los requerimientos de las Normas COVENIN C-356 y ASTM C494 produciendo reducción de agua sin retardo.

- La hidratación del cemento continúa rápida y completamente después de su adición.
- La cantidad de WRDA a ser usada es de 4 a 8 onzas por saco de cemento. WRDA puede ser adicionado a la mezcla o en el agua.

COMPATIBILIDAD CON OTROS ADITIVOS

Se puede utilizar el inhibidor de corrosión DCI-S en el concreto con otros aditivos incluyendo incorporadores de aire, reductores de agua, superplastificantes, retardadores de fraguado y microslicas sin alterar su rendimiento. Se debe incorporar cada aditivo separadamente. Al añadirles individualmente, cada uno aportará los resultados esperados.

FISURAS

Estas aparecen en el concreto como consecuencia de las tensiones superiores a lla capacidad resistente debido a la retracción del concreto o por acción de carga.

FISURAS POR RETRACCIÓN

- Aparecen de manera aleatoria como consecuencia de la evaporación del agua.
- Tiene una profundidad de 10-40 mm, en algunos casos atraviezan los delgadas.



- Aparecen generalmente en zonas calurosas pero también se ha observado en ambientes fríos.

Se originan por cambios de volumen en el concreto debido a la evaporación del agua. Aparecen donde la contracción está impedida con orientación perpendicular a la dirección en que la dirección es restringido.

FISURAS POR CARGA

Estos tienen mayor profundidad que los de retracción de fragua y presentan una forma típica la cual es necesario comprobar las dimensiones si son originadas por cargas y constituyen un problema estructural .

También se producen fisuras por:

- Oxidación de la armadura.
- Mala distribución de esfuerzos.
- Poco recubrimiento en el acero de refuerzo y tuberías con poco recubrimiento.
- Asentamientos diferenciales de las estructuras.
- Segregación.
- Inadecuado vibrado.

PREVENCIÓN DE FISURAS.

- Curar la estructura hasta que la resistencia sea el 70% es decir unos 7 días.
- Proteger la superficie de concreto de las elevadas temperaturas y rayos de sol con mantas húmedas.
- No alterar el concreto para facilitar las operaciones de acabado, ya que esto hace que el concreto sea más propenso a presentar fisuras debido a la retracción hidráulica.
- Se debe evitar los esfuerzos del concreto cuando este no ha alcanzado la resistencia requerida.



RESANE O RELLENO DE FISURAS EN OBRAS DE CONCRETO ARMADO

Pueden ser sellados con resanes de cemento fino o en otros casos resinas sintéticas, si no se rellena esta puede dañar los elementos de la estructura.

LA CORROSIÓN DEL CONCRETO EN AMBIENTE MARINO

En el medio marino se aceleran los procesos de corrosión en las estructuras de concreto armado, por la acción directa del mar o la actividad de la brisa y niebla marina.

Este fenómeno es de interés, por la gran extensión de nuestro litoral, de aproximadamente 3 000 km, donde se asientan los más importantes puertos y centros urbanos. En consecuencia, se requiere estudiar e investigar los problemas de corrosión en nuestra costa, para optimizar la inversión en obras de concreto y minimizar las pérdidas económicas que produce.

A partir de la década del 30', nuestras estructuras portuarias son prioritariamente de concreto. Los muelles de Salaverry, Chimbote, Callao, Ilo y Matarani y la mayoría de los desembarcaderos pesqueros están construidos con pilotes y plataformas de concreto

En el Perú el concreto armado es el material hegemónico en la edificación urbana. En la ciudad de Lima, el concreto fue preponderante en los procesos de urbanización ocurridos entre 1950 y 1970. En provincias la inversión en construcción ha sido diminuta en las últimas décadas, pero la casi totalidad de las edificaciones son de concreto armado. Sin embargo, en la mayoría de las ciudades del litoral este tipo de edificación es minoritario, por el volumen de viviendas anteriores a 1960. La tabla N° 1, expresa los porcentajes de vivienda de concreto armado en los distritos del litoral de algunas provincias representativas.



Tabla N° 1
Construcciones en Concreto Armado

Provincia	Viviendas de concreto armado (%)	Total de viviendas
Paita	9,0	14 660
Santa	0,1	6 558
Lima	52,3	1 105 975
Pisco	15,6	19 859
Islay	35,5	11 388

Nota: Censos Nacionales 1993.

En la tabla N° 2 se puede observar de manera específica la importancia que tiene la edificación en concreto en la región de la costa del país, que representa el 80% del total nacional. En lo que respecta a los distritos vecinos al litoral el consumo sobrepasa el 40% del total nacional, siendo significativo en Lima, La Libertad, Lambayeque y Tumbes. Estos valores justifican el estudio de los fenómenos de corrosión en nuestro país



Tabla N° 2

Consumo de Concreto en Distritos y Departamentos del Litoral

Departamentos de la Costa	% Consumo distritos del litoral (*)	% Consumo departamentos	% PBI Construcción
Tumbes	0,66	0,69	0,24
Piura	0,40	2,83	4,69
Lambayeque	1,79	6,62	2,69
La Libertad	2,89	6,83	5,53
Ancash	0,72	2,84	1,54
Lima	33,25	48,63	47,06
Ica	0,28	1,59	1,83
Arequipa	0,55	6,74	6,46
Moquegua	0,07	0,66	0,78
Tacna	0,02	2,39	0,8
Total	40,63	79,83	71,62

Fuente: INEI Y ASOCEM

En los gráficos 1 y 2 se aprecia que los distritos del litoral asumen el 41% del consumo total de concreto en el Perú. Un análisis por departamentos determina el predominio en Lima y en general en las zonas centro y norte del país.



Gráfico N° 1

Litoral Peruano: Puertos y Ciudades



Gráfico N° 2



Aspectos parcial: Costa Verde

Lima: Edificaciones anteriores a 1980

EL AMBIENTE MARINO EN PERÚ

Composición Química del Agua de Mar

El agua de mar contiene sales disueltas, agresivas para el concreto. Están presentes las siguientes: cloruro sódico (NaCl), cloruro magnésico (MgCl_2), sulfato magnésico (MgSO_4), sulfato cálcico (CaSO_4), cloruro potásico (KCl) y sulfato potásico (K_2SO_4).

La composición química del agua de nuestro mar, es similar a la que se da en otros mares, como se observa en las tablas 3 y 4. Caso singular es el contenido de sulfatos 25% superior al registrado en el Atlántico. La participación de este parámetro en los procesos de corrosión es menos significativa que la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo, los mayores desarreglos observados en las últimas décadas en las construcciones del Medio Oriente coinciden - además de las particulares condiciones climáticas- con un mayor contenido de sales en el mar del Golfo. .



Tabla N° 3

Composición química del agua de mar

Ion	Concentración (g por 100 cm ³)				
	Mar del Norte	Océano Atlántico	Litoral Peruano*	Mar Báltico	Golfo Pérsico
Sodio	1,220	1,110	1,090	0,219	1,310
Potasio	0,055	0,040	0,039	0,007	0,067
Calcio	0,043	0,048	0,041	0,005	0,050
Magnesia	0,111	0,121	0,130	0,026	0,148
Cloro	1,655	2,000	1,933	0,396	2,300
Sulfato	0,222	0,218	0,268	0,058	0,400
total	3,306	3,537	3,500	0,711	4,275

Tabla N° 4

Contenido del ion cloruro y salinidad total en el agua de mar

Mar	Contenido de ion cloruro (ppm)	Salinidad Total (ppm)
Mar del Norte	16550	33060
Océano Atlántico	20000	35537
Litoral Peruano	19330	35000
Mediterráneo	21380	--
Golfo Pérsico	23000	42750
Mar Báltico	3960	7110

La corrosión en el concreto, se vincula con la temperatura y humedad. Como se sabe, el incremento de temperatura potencia todas las reacciones químicas. Se estima que un aumento de la temperatura en 10°C duplica la velocidad de la reacción. La corrosión por carbonatación se activa en el rango de 60 a 90 % de humedad relativa. En el caso de la corrosión por cloruros el efecto de la humedad es importante en especial en los niveles de 70 a 90 % de humedad relativa. Experiencias en regiones cálidas muestran que la elevada humedad relativa favorece el fenómeno de la corrosión.



En la costa norte, según el cuadro N°5, se advierte la regularidad de las temperaturas altas en Tumbes, Piura y Chiclayo, siendo decrecientes y menos críticas al sur de Lima.

Tabla N°5

Temperatura y humedad en centros urbanos del litoral

	Temperatura Máximas		Humedad Relativa			
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Media	Promedio
		27,0	19,5	-	75	-
Tumbes		32,0	29,5	23,0	21,2	79
			18,0	-	88	-
Paita	27,5 - 31,5		30,5	24,7	22,1	92
			15,5	-	72	-
Chiclayo	23,5 - 31,0		27,2	21,0	18,2	78
			14,5	-	82	-
Trujillo	20,5 - 26,0		23,2	18,5	16,5	84
			17,9	-	74	-
Chimbote	25,8 - 27,9		26,7	20,3	19,5	81
			15,0	-	64	-
Lima	18,5 - 26,5		22,5	20,5	17,7	95
			13,7	-	73	-
Pisco	20,3 - 28,1		23,6	19,9	16,5	83
			22,9	-	77	-
Mollendo	16,9 - 24,9		20,9	15,2	18,0	84
						83

Fuente: SENAMHI – Oficina General de Estadística e Informática. Año 1994-98

Otro factor a considerar son los vientos predominantes, que van de sur a norte, envolviendo las edificaciones urbanas con la brisa marina, por la orientación de la costa, ver Tabla N°6.



Tabla N°6

Dirección Predominante y velocidad media del viento

Ciudad	Orientación	Velocidad m/s rango
Chiclayo	S	2-4
Trujillo	SE	4-5
Chimbote	S	6-9
Lima	S	3-4
Pisco	S	2-4

Fuente: SENAMHI – Año 1990, 1992, 1994.

La experiencia internacional sobre desarreglos por corrosión en estructuras de concreto armado y pretensado, demuestra que la corrosión se incrementa en las zonas marítimas de climas semitropicales y subtropicales, con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en climas fríos o templados. De esta manera, en las regiones tropicales se hace más difícil la prevención, sea por el conveniente diseño estructural o la adopción de apropiados sistemas de construcción. Por añadidura, los reglamentos de construcción de los países en desarrollo, como es el caso del Perú generalmente se basan en códigos de construcción del hemisferio Norte, que recogen experiencias de climas más benignas.

LA CORROSIÓN EN AMBIENTE MARINO

Criterios básicos

La agresión de las sales marinas sobre el concreto no es significativa, generalmente no llegan a causar desarreglos que inhabiliten la estructura, como si ocurre con la corrosión de las barras de refuerzo en el concreto armado. En este caso, el concreto se dilata y se fractura, la sección del acero se reduce, pierde resistencia a la tracción y a la fatiga, generalizándose progresivamente el proceso corrosivo.

En el concreto armado en contacto - permanente o intermitente- con agua de mar, los sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y alcalinos, que se encuentran de forma inseparable, pueden penetrar por porosidad, capilaridad, ósmosis y



difusión. Los sulfatos atacan al concreto formando compuestos expansivos causantes de fisuración. Los cloruros, si llegan hasta la armadura, causan la despasivación de ésta y provocan su corrosión.

La fisuración ocasionada por los sulfatos facilita la penetración de los cloruros y la corrosión de la armadura. Los productos expansivos de la corrosión dan lugar a pérdida de adherencia y la fisuración interna que se suma a la externa producida por los sulfatos, incrementando y acelerando ambas acciones. Estos fenómenos, en principio pueden presentarse sucesivamente, iniciándose con la difusión del ion cloruro cuyo radio iónico es menor que el del sulfato, por lo que se difunde más rápidamente, terminando por ocurrir de forma simultánea, con superposición de causa y efecto.

El ion sulfato, penetra más lentamente que el cloruro en el concreto, entra en contacto con el aluminato tricálcico anhidro si lo hay y con aluminatos de calcio hidratados. Con los aluminatos anhidro e hidratado libres de sulfato se puede formar etringita expansiva. También con el cloroaluminato de calcio hidratado por razones de solubilidad. Esta transformación, libera aluminato tricálcico, que quedan pueden formar con el sulfato que lo ha liberado y con el que sigue penetrando, etringita secundaria y diferida, expansiva y más dañina aún que la primera, para un concreto consolidado. Además, se liberan aniones cloruro, los cuales quedan aptos para seguir penetrando, a las armaduras y provocan corrosión.

Tipología Estructural

Las estructuras en ambiente marino pueden clasificarse según su ubicación y las condiciones agresivas del medio, en las siguientes zonas, cuyas fronteras en la realidad no son definidas:

1) Zona de inmersión:

El concreto que se encuentra permanentemente sumergido por debajo de las zonas de mareas, es capaz de proteger las barras de acero de refuerzo pues debido a la débil concentración de oxígeno en el agua que impide la actividad corrosiva del ión cloruro, en el caso de haberse introducido hasta las barras.



En algunos elementos sumergidos, que sobresalen por encima de las zonas de mareas altas – como ocurre en los pilotes - se produce la corrosión en las zonas emergentes por efecto del fenómeno denominado de “macro celdas”. Esto se debe al estado de humedad permanente del concreto que facilita la corrosión electrolítica. El mecanismo se inicia en las zonas de mareas, en una sección de concreto pobre en cemento (generalmente por segregación), que bajo la acción del ion cloruro actúa como ánodo y en la zona sumergida, se constituye el cátodo, con eventual despasivación del acero, sin corroerse por la falta de oxígeno.

En las zonas sumergidas, la penetración del agua tiene lugar inicialmente por succión capilar y se acelera en razón de la presión hidráulica, el agua ingresa con sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos.

En estos casos el comportamiento del concreto a la corrosión se diferencia según la profundidad en que se encuentra. En las zonas más profundas, la permeabilidad del concreto disminuye, pues se cierran los poros superficiales.

2) Zona de marea:

Comprende los elementos entre los niveles de marea alta y baja, donde el concreto está permanentemente húmedo, debido a que la inmersión es cíclica en el lapso de un día.

Los poros se encuentran saturados, pues, el tiempo de baja marea es reducido y no se produce la desecación, lo que disminuye el peligro de corrosión, pues el concreto absorbe agua más rápidamente que la pierde. En esta zona el agua ingresa por succión capilar, transportando las sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos, sin difusión de gases.

En el concreto comprendido entre mareas, se pueden producir fisuras que adelanten la corrosión, sea por golpes de impacto o por la acción de las olas.

Fenómeno de la macro celda

3) Zona de salpicaduras:



Se ubica por encima del nivel de la marea alta, propensa a la salpicadura de las olas y el baño de la espuma, presenta el riesgo de ciclos alternados de humidificación y secado, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad del medio, que pueden afectar severamente el concreto.

En el período húmedo se produce el ingreso del ión cloruro por difusión, en el secado se elimina el agua en exceso, pero el concreto retiene el cloro, al repetirse el ciclo sucesivamente el porcentaje ion cloruro resulta muy elevado.

En esta zona de abundante oxígeno, la corrosión por cloro puede darse conjuntamente con la corrosión por carbonatación.

4) Zona de ambiente marino:

El concreto no está en contacto con el agua de mar, pero recibe las sales procedentes de la brisa marina y la niebla salina. Puede comprender muchos kilómetros al interior de la costa dependiendo de las características de los vientos dominantes.

Las construcciones de concreto ubicadas en el litoral o alrededores, son propensas a la corrosión por cloro en suspensión en la atmósfera, en forma de microscópicas gotas de agua de mar. En la niebla o aerosol la concentración salina de cloruros y sulfatos eventualmente puede ser mayor que en el agua de mar, debido a la gran dispersión de las gotas y la evaporación parcial de agua, en especial cuando la temperatura es alta y la humedad relativa es baja.

En esta zona la corrosión produce fallas características en el concreto, como fisuras, grietas y desprendimientos del revestimiento, pero además, causa un peligroso daño invisible, que afecta las estructuras en casos de sismos. En efecto, los cloruros de la brisa marina atacan la estructura reduciendo la sección del acero de refuerzo, de manera que cuando recibe solicitaciones por efecto del sismo, únicamente puede soportar una pequeña parte de la carga de diseño.

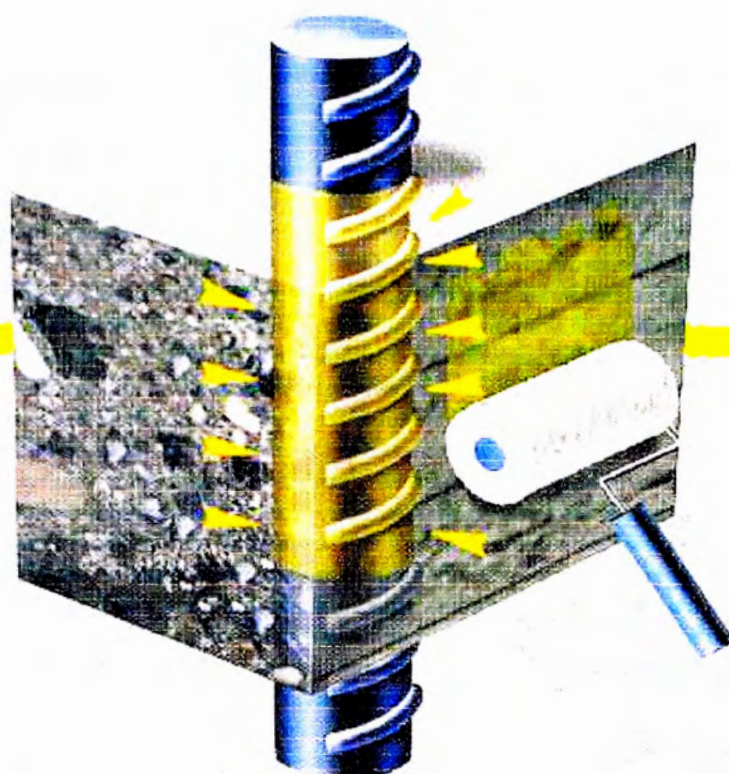
En las estructuras aéreas los poros mayores del concreto generalmente se llenan de aire pero cuando la humedad ambiente es mayor, la superficie de los poros se cubre con una capa de agua adsorbida. Los cloruros disueltos se difunden a través de esta capa de agua que recubre las paredes de los poros o a



través de los poros llenos de agua; si la cantidad de agua es menor, entonces la cantidad de difusión se reduce. El transporte de las sustancias disueltas en el agua es un proceso de difusión por la humedad del aire, inducido por la gradiente de tensiones.

Sika® FerroGard®-903

Nuevo inhibidor de Corrosión aplicable sobre la superficie del Concreto Reforzado



- ▲ Retrasa el inicio de la corrosión en estructuras sanas y reduce su velocidad en estructuras deterioradas
- ▲ Aumenta el tiempo de servicio de las estructuras de concreto reforzado
- ▲ Mantiene el acabado natural del concreto a la vista



Corrosión en Estructuras de Concreto

Influencias agresivas sobre el concreto reforzado

En el concreto reforzado, el acero de refuerzo está protegido contra la corrosión gracias a la elevada alcalinidad del cemento. Como consecuencia de la acción agresiva del medio ambiente, el acero puede corroerse.

Para que exista corrosión del acero de refuerzo deben existir tres condiciones:

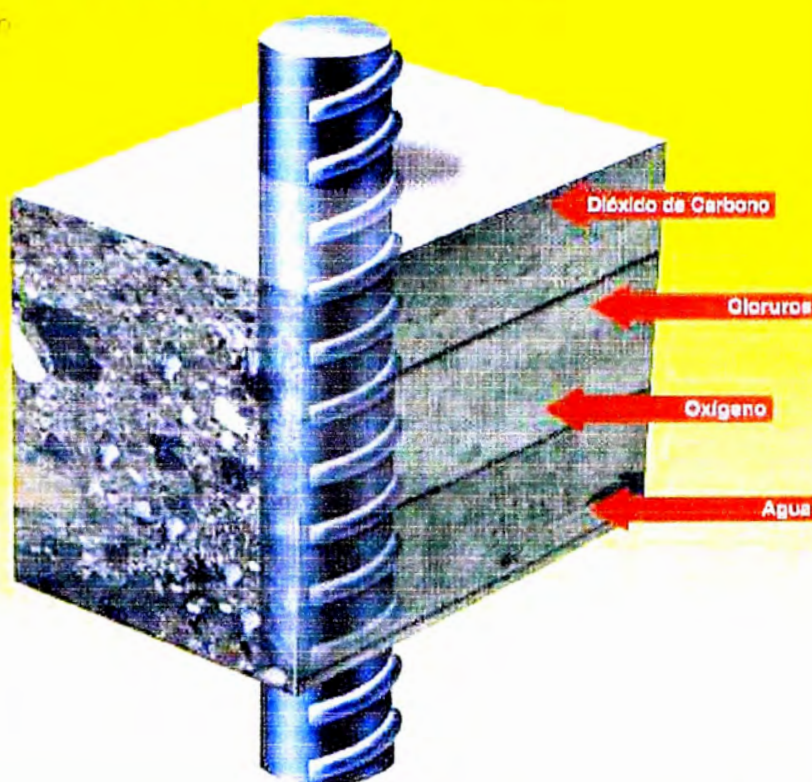
- ▲ Presencia de humedad
- ▲ La destrucción de la capa pasivadora sobre el acero de refuerzo por la acción de algún agente agresor como los cloruros o el dióxido de carbono
- ▲ Presencia de oxígeno que pueda penetrar a través del concreto hasta el acero de refuerzo.

Carbonatación

El dióxido de carbono que penetra, causa carbonatación de la matriz cementosa reduciendo la protección alcalina pasivante del acero de refuerzo a un nivel donde la corrosión puede ocurrir.

Ataque de cloruros

Los iones de cloruro en ambientes marinos penetran el concreto, disueltos en el agua. Sobre la superficie del acero, aun en el concreto alcalino, el cloruro ataca y va destruyendo la capa pasivadora acelerando el proceso de corrosión del acero.



Manejo de la corrosión con Sika® Fe

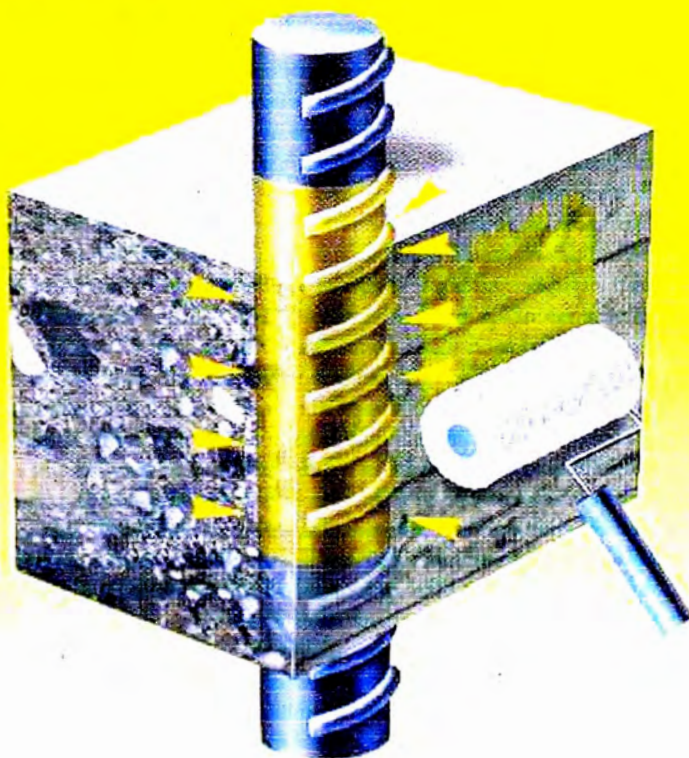
Aplicación de Sika® FerroGard® -903

Sika FerroGard® -903 se aplica como impregnación en la superficie del concreto. Los inhibidores de corrosión penetran en el concreto y protegen el acero de refuerzo al formar una capa protectora sobre éste. Como consecuencia, se retrasa el inicio de la corrosión en estructuras sanas y se disminuye la velocidad de corrosión en estructuras donde éste proceso ya se ha iniciado.

Sika FerroGard® -903 es un líquido transparente e incoloro que no altera el aspecto del concreto a la vista. La velocidad de penetración es de 2,5 a 2,0 mm por día.

Sika FerroGard® -903 alcanza la superficie del acero de refuerzo por medio de diferentes mecanismos de transporte.

- ▲ **Sika® FerroGard® -903** es transportado principalmente por absorción capilar -como el agua.
- ▲ **Sika® FerroGard® -903** penetra disuelto en el agua -como los cloruros.
- ▲ **Sika® FerroGard® -903** también penetra en fase gaseosa -como el dióxido de carbono.



Efecto de las influencias agresivas

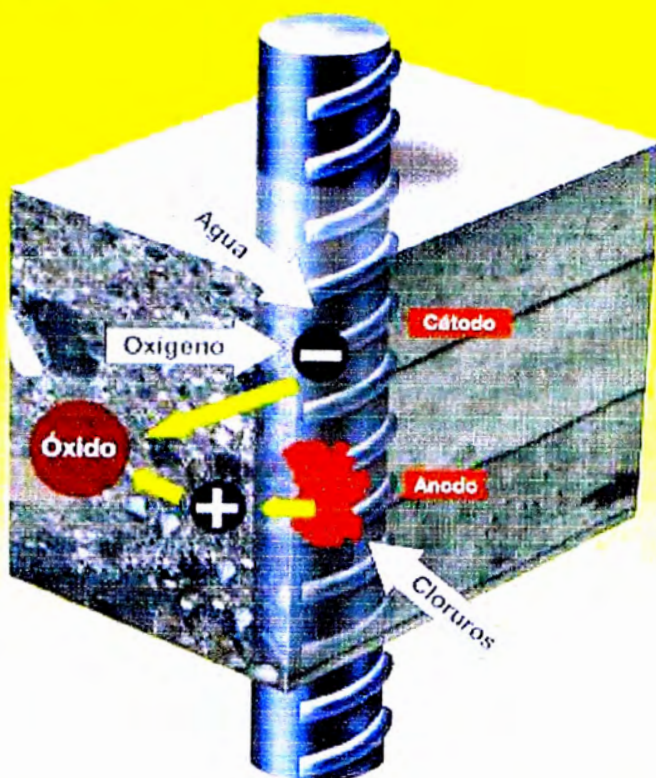
Cloruros / Carbonatación

Cuando existen los suficientes iones cloruro (provenientes del ambiente marino o incluidos en los componentes del concreto), o el frente de carbonatación ha alcanzado la superficie del acero, la capa pasivante es destruida y la corrosión inicia su proceso.

El hierro originalmente neutro se disuelve en sus iones. La solución acuosa alrededor del metal se torna positiva.

El oxígeno se reduce y los iones hidróxido se combinan con los iones de hierro disueltos. El resultado es el hidróxido de hierro, el primer compuesto de corrosión.

Condiciones para que la corrosión exista



ro Gard®

El desempeño de Sika® FerroGard® -903

Capa de protección

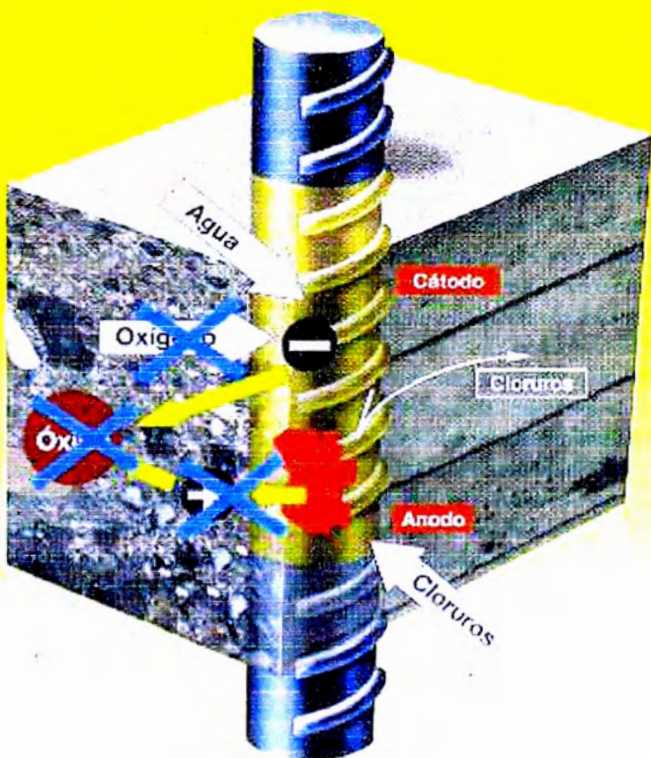
Sika® FerroGard® -903 forma una capa protectora sobre el acero de refuerzo.

El proceso de formación de la capa protectora tiene lugar a pesar de que haya carbonatación o presencia de cloruros en el concreto.

Retraso del proceso de corrosión

- ▲ Gracias a esta capa protectora la disolución del hierro en contacto con el agua se reducirá.
- ▲ La entrada de oxígeno se verá bloqueada de tal manera que no ocurrirá la corrosión.

Conclusión: Debido a esta doble acción del Sika® FerroGard®-903 las condiciones para que haya corrosión se reducen ostensiblemente.



Sika® FerroGard®-903 (Obras de Refe

Reparación de Fachadas en Concreto a la Vista

Estado de la estructura

- ▲ Fachada de concreto a la vista con daño localizado
- ▲ Acero de refuerzo en zona carbonatada

Requerimientos

- ▲ Reparación y protección de la fachada de concreto manteniendo la textura del concreto



Solución Sika

- ▲ Remoción del concreto deteriorado dejando libre el acero de refuerzo
- ▲ Aplicación de **SikaTop®-Armotec 110 EpoCem®** sobre el acero de refuerzo como protector contra la corrosión y puente de adherencia
- ▲ Reparación de la sección con morteros **SikaTop®**
- ▲ Aplicación de **Sika® FerroGard®-903**
- ▲ Aplicación de **Sika® Transparente** como impregnación hidrofóbica

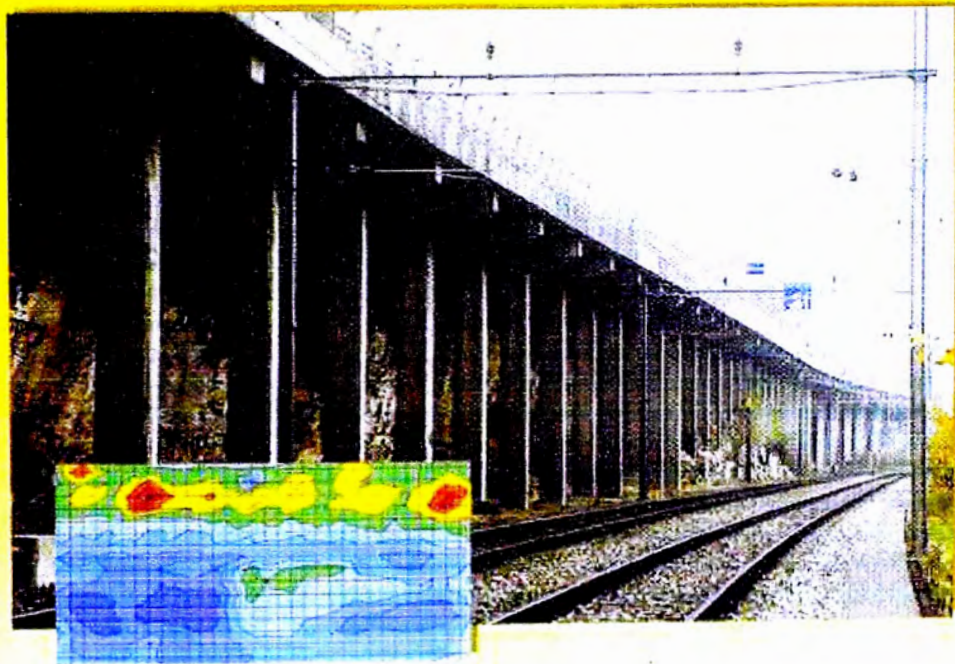
Reparación de Concreto - Obra de Infraestructura

Estado de la estructura

- Columnas de un puente
- ▲ Fisuras y daños visibles por corrosión
- ▲ Concreto sin recubrimiento protector
- ▲ Acero de refuerzo parcialmente en zona carbonatada

Requerimientos

- ▲ Reparación de la superficie de concreto deteriorada
- ▲ Protección contra influencias agresivas futuras
- ▲ Protección contra daños latentes



Solución Sika

- ▲ Evaluación de la estructura (C/D/C)
- ▲ Remoción del concreto deteriorado
- ▲ Aplicación de **SikaTop®-Armotec 110 EpoCem®**
- ▲ Recuperación de las secciones con morteros **SikaTop®**
- ▲ Aplicación de **Sika® FerroGard®-903** retrasa el inicio de la corrosión y desplaza los cloruros existentes
- ▲ Aplicación del recubrimiento protector **SikaColor® C**

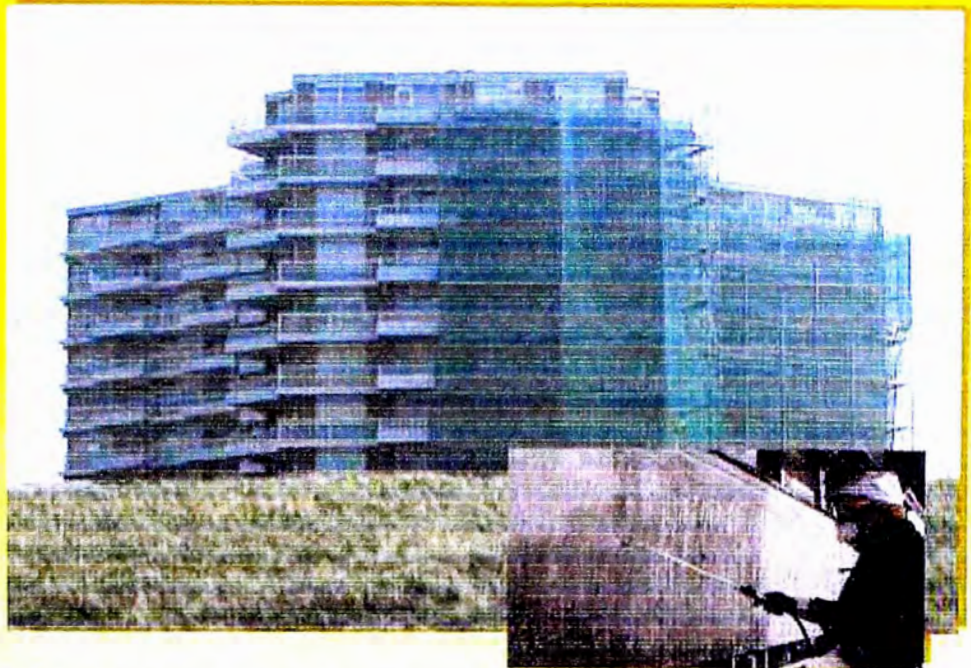
Reparación de Concreto - Fachada General de Edificios

Estado de la estructura

- Fugación de agua y pérdida de material
- Corrosión del acero de refuerzo
- Desmoronamiento del concreto
- Grietas y fisuras

Requerimientos

- Alta adherencia al sustrato
- Resistencia mecánica
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia a la intemperie



Solución Sika

- ▲ Remoción del concreto deteriorado y retiro de la corrosión del acero de refuerzo
- ▲ Aplicación de morteros de reparación **SikaTop** A.-matec 110 EpoCem
- ▲ Aplicación de un recubrimiento de protección **SikaColor** I **Sikaguard** / **SikaUretano**

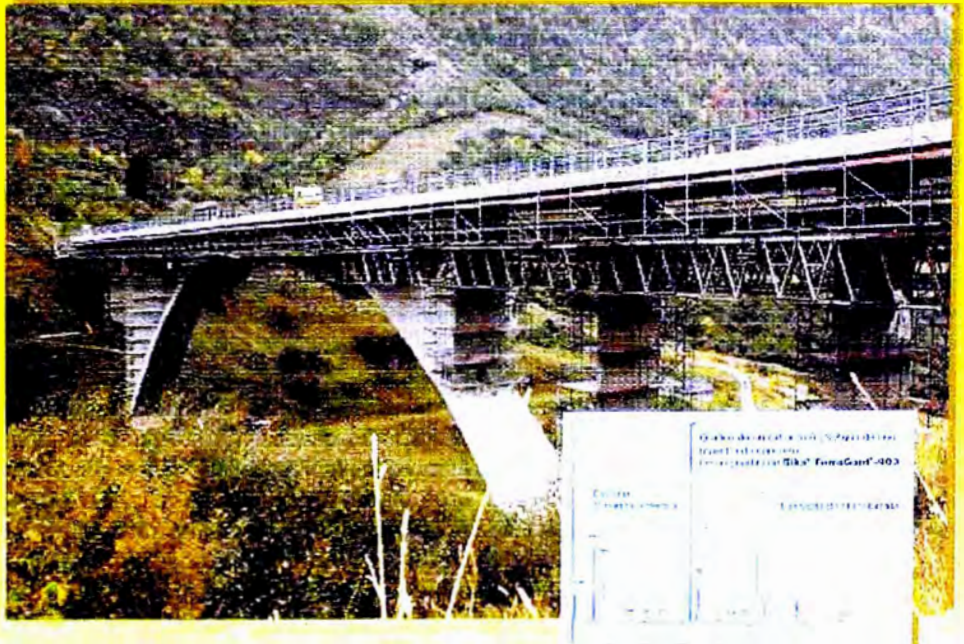
Protección preventiva del concreto - daños no visibles

Estado actual

- Pérdida de material
- Corrosión del acero de refuerzo
- Grietas y fisuras
- No hay evidencia de daños

Requerimientos

- Protección permanente
- Protección adicional de una impregnación hidrofóbica
- Control de calidad usando sistema de gas cromatográfico



Solución Sika

- ▲ La aplicación de **Sika FerroGard-903**, extiende la vida útil de la estructura y retrasa trabajos de reparación
- ▲ Aplicación adicional de una impregnación hidrofóbica que reduce la penetración de agentes agresivos
- ▲ Control de calidad usando sistema de gas cromatográfico

Sika® FerrOgard®-903

Inhibidor de corrosión tipo impregnación

Descripción

Sika® FerroGard®-903 es una mezcla de inhibidores de corrosión orgánicos e inorgánicos no tóxicos, diseñado para usarse como impregnación sobre el concreto reforzado en estado endurecido.

Sika® FerroGard®-903 es un inhibidor multifuncional, el cual reduce la disolución del hierro en el ánodo y actúa como una barrera al oxígeno en el cátodo. Este efecto de doble acción, retarda significativamente tanto el inicio de la corrosión como la velocidad cuando ésta ha comenzado.

Desempeño

Sika® FerroGard®-903 penetra al concreto entre 2-20 mm por día y forma una película de 100-1000 Å (armstrong) de espesor, que es adsorbida en la superficie del acero de refuerzo. No tiene ningún efecto negativo en la adherencia entre el acero y el concreto.

Esta demostrado que la capa de **Sika® FerroGard®-903**, desplaza los hidróxidos (provenientes de la carbonatación) y los cloruros (hasta el 1% del peso del cemento) de la superficie del acero, requisito en la inmensa mayoría de estructuras reparables.

Síntoma de aplicación

Sika® FerroGard®-903 es aplicado normalmente como parte de una estrategia general contra la corrosión, es compatible y componente de los sistemas de rehabilitación de estructuras **Sika**

Sika® FerroGard®-903 es aplicado en el momento de la colocación del concreto, antes de la colocación del acero de refuerzo. El concreto debe ser colocado y compactado inmediatamente después de la colocación del acero de refuerzo. **Sika® FerroGard®-903** es aplicado en el momento de la colocación del concreto, antes de la colocación del acero de refuerzo. El concreto debe ser colocado y compactado inmediatamente después de la colocación del acero de refuerzo.

Cuando se aplica **Sika® FerroGard®-903** se debe aplicar un sello de protección en la superficie del concreto. Después de la aplicación de **Sika® FerroGard®-903**, se debe aplicar un sello de protección en la superficie del concreto. Después de la aplicación de **Sika® FerroGard®-903**, se debe aplicar un sello de protección en la superficie del concreto.

Nota:

Después de realizar la limpieza del concreto, se debe aplicar **Sika® FerroGard®-903** en 2 aplicaciones, usando una impregnación por espray. Después de la aplicación de **Sika® FerroGard®-903**, se debe aplicar un sello de protección en la superficie del concreto. Después de la aplicación de **Sika® FerroGard®-903**, se debe aplicar un sello de protección en la superficie del concreto.

Después de la limpieza con chorro abrasivo debe ser usado un mortero de nivelación, sellador de poros, impregnación protectora o recubrimiento **Sikaguard®** o **SikaColor®**.

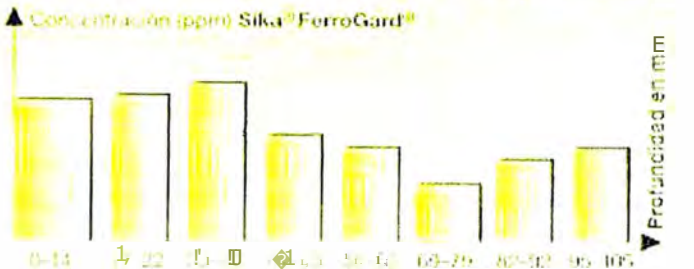
Consumo

Sika® FerroGard®-903 se aplica sobre la superficie de concreto limpia, seca y sana en 3 a 5 capas para alcanzar el consumo total de 0,3-0,5 kg/m². La aplicación puede hacerse con brocha, rodillo o aspersor a baja presión.

Control de calidad

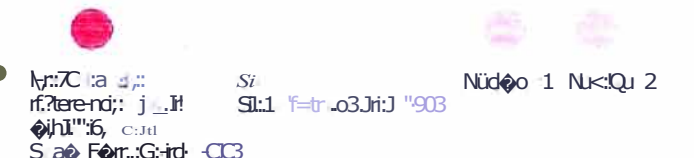
Las pruebas de control de calidad de la aplicación de **Sika® FerroGard®-903** deben ser efectuadas en el sitio de la obra, utilizando el kit para prueba cualitativa de color o en el laboratorio utilizando pruebas cualitativas convencionales y/o pruebas cuantitativas.

Prueba de determinación cuantitativa "perfil de profundidad"



El perfil de profundidad de **Sika® FerroGard®-903** en un sistema de concreto reforzado, es mostrada a diferentes profundidades del concreto.

Prueba de determinación cualitativa "Si/ No"



Ejemplo de una prueba de **Sika® FerroGard®-903** "Si/ No". **Sika® FerroGard®-903** es identificado a 1, profundidad de las varillas de refuerzo en el concreto.

Para información adicional remitirse a la Hoja Técnica del **Sika® FerroGard®-903**.



Descripción	Unidad	Cantidad	Observaciones
Sika® FerroGard®-903	kg	100	
Sikaguard®	kg	50	
SikaColor®	kg	50	
Sika® Top-Armatec 110 EpoCem®	kg	100	

Sika® Ferrogard® 901

INHIBIDOR DE CORROSION

Aspecto	: Líquido
Color	: Verde
Densidad	: 1.06 kg/l

DESCRIPCION

Sika® Ferrogard®901 es un aditivo líquido para concreto basado en nuestra tecnología **Sika® Ferrogard®**, inhibidores de corrosión.

Este producto actúa como protector de corrosión para las barras de refuerzo embebidas en el concreto. Usándolo, se incrementa substancialmente el tiempo de vida de los miembros expuestos de una edificación.

Usando **Sika® Ferrogard®901** los ánodos y los cátodos del proceso electroquímico están siendo influenciados. El producto forma una película en la superficie del acero, la cual retrasa el principio de corrosión y reduce el grado de corrosión.

CAMPOS DE APLICACIÓN

Sika® Ferrogard®901 es conveniente principalmente para reforzar concretos sujetos a peligros de corrosión, específicamente protege contra la corrosión inducida por cloruros.

- Pavimentos de concreto
- Puentes
- Túneles
- Muros de contención
- Plantas industriales
- Muelles

VENTAJAS

- Actúa como protector de corrosión en los refuerzos de acero embebidos en el concreto, especialmente de los efectos de los cloruros.
- Protege el concreto de las influencias destructivas de la corrosión del refuerzo.
- No tiene ninguna influencia negativa en las propiedades del concreto fresco o endurecido
- **Sika® Ferrogard®901** es una combinación de inhibidores orgánicos e inorgánicos.

DATOS TÉCNICOS

Composición	Nitrógeno que contiene sustancias orgánicas e inorgánicas.
Valor pH	10 ± 1

MODO DE EMPLEO

Sika® Ferrogard®901 puede ser colocado en el agua de amasado o agregado al mismo tiempo al mixer de concreto. Este también puede ser agregado al concreto en el mixer a pie de obra. En este caso un mezclado adicional de un tiempo de por lo menos 1 minuto por m³ de concreto, tiene que efectuarse antes de descargarlo. Revisar que el concreto tenga una consistencia uniforme.

Cuando empleamos **Sika® Ferrogard®901** producimos un concreto de alta calidad. Se debe realizar un óptimo curado del concreto.

Sika® Ferrogard®901 no se mezcla con el cemento seco.



Sika® Ferrogard®901 puede ser combinado con los siguientes productos de Sika:

- Superplastificante **Sikament®**
- **Sikacrete** / producto basado en Silicafume
- **Sika® Retarder**
- **Sika® Aer**

CONSUMO

De 3% a 4% del peso del cemento.

OBSERVACIONES

Si **Sika® Ferrogard®901** se encuentra congelado puede ser usado nuevamente después de un descongelamiento lento y una agitación intensiva. Usar guantes y equipo de seguridad para el manejo del producto.

ALMACENAMIENTO

Se puede almacenar por lo menos durante 18 meses a partir de la fecha de producción en su envase original a temperatura de +1°C a +35°C.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888 o descargarla a través de Internet en nuestra página web www.sika.com.pe

PRESENTACIONES

Cilindro de 180 kg.

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N°2
la misma que deberá ser destruida”**

Advertencia:

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de las Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe



Sika® Ferrogard® 903

INHIBIDOR DE CORROSION

Aspecto	: Líquido
Color	: Transparente
Densidad	: 1.13 kg/l

DESCRIPCION

Sika® Ferrogard®903 es una impregnación acuosa inhibidora de corrosión para concreto. Penetra el concreto por difusión líquida y de vapor. Tiene una gran afinidad con el acero y forma una película protectora sobre la superficie de éste.

CAMPOS DE APLICACIÓN

- Como protector de corrosión del acero de refuerzo en estructuras de corrosión encima y bajo tierra.
- Durante reparaciones y mantenimiento de estructuras de concreto armado, como tratamiento del refuerzo de acero que está corroído o en peligro de corrosión en áreas sin ningún defecto visible del concreto.
- Debido a sus propiedades **Sika® Ferrogard®903** es especialmente conveniente para extender el tiempo de servicio de una estructura arquitectónica de gran valor, en concreto caravista.

VENTAJAS

- No altera la apariencia de la textura del concreto.
- No altera la capacidad de difusión de vapor de agua.
- Prolonga el tiempo de vida de estructuras de concreto armado.
- Fácil y económica aplicación.

DATOS TÉCNICOS

Viscosidad (20°C)	25 mPas · S
Valor pH	11

MODO DE EMPLEO

Preparación de la superficie

La temperatura de la superficie y ambiente debe ser mínimo +5°C y máximo +40°C. La superficie debe estar limpia, exenta de polvo, aceites, grasa, eflorescencias y antiguos recubrimientos. Limpiarla preferiblemente con chorro de agua a alta presión. Se obtienen mejores resultados en superficies secas y absorbentes.

Aplicación

El número de capas a ser aplicadas depende de la capacidad de absorción de la superficie, pero no se debe aplicar menos de 300 g/m².

Normalmente son requeridas de 3 a 5 capas. Los intervalos de la aplicación de las diferentes capas son a criterio del aplicador.

Sika® Ferrogard®903 viene listo para su aplicación y no debe ser diluido. El producto tiene que ser aplicado con brocha, rodillo o con equipo de baja presión. La superficie tratada tiene que ser humedecida una o dos veces con agua limpia después de 2 días.

Recubrimientos

Si las áreas tratadas con **Sika® Ferrogard®903** serán revestidas hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Las áreas tratadas deberán ser humedecidas con agua limpia mínimo 2 días después de la aplicación.
- Dejar secar por lo menos 7 días.
- Lavar todo completamente con alta presión de agua (water jet 100-150 bar) y enjuagar cuidadosamente.
- Dejar secar por lo menos 3 días.



Como pintura de recubrimiento se pueden utilizar los siguientes productos, tomando en consideración la condición del sustrato.

- **Sikagard®700 S o Sikagard®701 W**
- **Sikagard®670 W o Sikagard®680 S**
- **Sikagard®545 W Elastofill y/o Sikagard®550 Elastic** (con otro **Sikagard®554 S o Sikagard®552 W** como primer)

Si se necesita una reparación con mortero cementicio (tarrajeo) debe usarse el puente de adherencia **SikaTop® Armatec 110 EpoCem®**.

CONSUMO

De 300 a 500 g/m²

OBSERVACIONES

- No aplicar **Sika® Ferrogard®903** en épocas lluviosas o heladas.
- El tiempo aproximado de secado es de 6 horas.
- **Sika® Ferrogard®903** no debe ser usado si el contenido de cloruros es mayor a 2% del peso del cemento.
- El concreto que está dañado (grietas, partes sueltas) tiene que ser reparado usando un método convencional.
- Dependiendo de las condiciones de la superficie, en la aplicación de **Sika® Ferrogard®903** podría apreciarse un ligero oscurecimiento de la superficie.

Reporte de Mott MacDonald, Evaluación de Sika Ferrogard, Ref. 26'063/001, Rev. A, Abril 1996

ALMACENAMIENTO

Se puede almacenar al menos durante 18 meses a partir de la fecha de producción en su envase original cerrado en condiciones frescas.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888 o descargarla a través de Internet en nuestra página web www.sika.com.pe

PRESENTACIONES

Bidón de 25 kg.

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N°1
la misma que deberá ser destruida”**

Advertencia:

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de las Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe



Sika Perú S.A., Av. Los Frutales 665, Ate / Lima 3 - Perú
Tel: (51-1) 437-7055 / Fax: (51-1) 435-9541
E-mail: construccion@sika.com.pe / Web: www.sika.com.pe



REXP BARNIZ MARINO

DESCRIPCION

REXPARN BARNIZ MARINO contiene en su fórmula una combinación perfecta de dos filtros protectores:

- Absorbedores de U.V. que mantienen la integridad de la película y
- Estabilizadores de film que ayudan a mantener el brillo original de la película y también evitan la decoloración de la madera, conservándola con sus tonos originales.

Sus extraordinarios resultados de resistencia a la intemperie fueron confirmados en los estudios de exposición acelerada de los Laboratorios de Sherwin Williams International.

USOS

Para superficies de madera:

- Exterior: Embarcaciones, puertas, ventanas, persianas, cortinas, etc.
- Interior: Muebles, revestimientos, aberturas, cortinas, etc.

MODO DE EMPLEO

La superficie a barnizar debe estar limpia y seca: libre de grasa, polvillo, hongos, humedad, pintura o barniz en mal estado (suelto, descascarado, ampollado, etc.), óxido, salitre, etc.

Maderas Nuevas

- Lijar a fondo con lija fina en el sentido de las vetas, eliminar el polvillo y lavar con aguarrás.
- Para una óptima protección de la madera contra la acción destructiva de hongos e insectos, se recomienda la aplicación de una mano de **Rexpar Protector de Madera**, sin diluir. En caso de no aplicar **Rexpar Protector de Madera**, aplicar una primera mano de **REXPARN BARNIZ MARINO** diluido en partes iguales con aguarrás mineral de buena calidad.

NOTA: En caso de maderas donde se presenta exudación de resina o sangrado, limpiar la superficie con aguarrás mineral y aplicar dos manos de una solución de goma laca en alcohol al 25%.

En todos los casos, terminar el trabajo con 2 o 3 manos de REXPAR BARNIZ MARINO sin diluir, lijando suavemente y eliminando el polvillo entre mano y mano.

Maderas Previamente Barnizadas

- Verificar que la superficie esté íntegra y firme. En este caso lijar suavemente hasta lograr porosidad y lavar con aguarrás. Aplicar luego 2 manos de **REXPARN BARNIZ MARINO** sin diluir.

- En caso de películas cuarteadas o descascaradas, eliminarlas completamente con removedor y espátula. Enjuagar con aguarrás y proceder como en el caso de maderas nuevas.
- En el caso de desear barnizar una madera pintada, repetir el esquema descrito en el punto anterior.

En todos los casos se deberá lijar suavemente y eliminar el polvillo entre mano y mano de **REXPAR BARNIZ MARINO**.

CARACTERISTICAS

- Color: Transparente. Además, se pueden lograr 80 colores predeterminados a través del Sistema Tintométrico Matisse´s.
- Aplicación: A pincel, rodillo de goma espuma compacta o soplete. Diluir si fuera necesario con un máximo de 10% de aguarrás mineral de buena calidad. Lavar los elementos de trabajo con aguarrás mineral.
- Rendimiento: De 12 a 14 m² por litro y por mano, según la absorción de la superficie.
- Secamiento: De 4 a 6 horas en condiciones normales de temperatura y humedad. Rebarnizar a las 12 horas.
- Acabado: Muy brillante.
- Presentación: 0.500, 1, 4, 10 y 20 litros.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Revolver muy bien el barniz antes de usar.
- Almacenar los envases en un lugar fresco y seco.
- Evitar barnizar bajo los rayos directos del sol, ya que se perjudica la adherencia por la excesiva velocidad de evaporación del solvente.
- Cuando deba lavar las maderas barnizadas, hacerlo sólo con detergente líquido no abrasivo, agua y un paño suave.
- Evitar barnizar con HRA (humedad relativa ambiente) superior a 85% o cuando se prevean lluvias.
- Mantener fuera del alcance de los niños.



CONVERTIDOR DE OXIDO

DESCRIPCION

CONVERTIDOR DE OXIDO SHERWIN WILLIAMS es un fondo de excelentes propiedades anticorrosivas, formulado a base de resinas sintéticas, pigmentos y aditivos especiales. Logra una extraordinaria adherencia y, por su alta capacidad de humectación, fija las partículas de óxido, estabilizándolas e impidiendo la propagación de la corrosión, otorgando máxima protección a las superficies de hierro.

USOS

- En interior y exterior, sobre todo tipo de superficie ferrosa: nueva u oxidada. Se utiliza para realizar trabajos en el hogar, la obra y la industria.

MODO DE EMPLEO

La superficie a pintar debe estar limpia y seca: libre de grasa, polvillo, hongos, humedad, pintura en mal estado (suelta, ampollada, descascarada, etc.), escamas de óxido de hierro, etc.

Superficies Nuevas

Metales ferrosos: desengrasar cuidadosamente con aguarrás mineral. Eliminar todo vestigio de óxido que no se encuentre firmemente adherido a la superficie, lijando cuidadosamente y retirando las partículas de óxido de hierro con un trapo embebido en aguarrás. Luego aplicar una mano **CONVERTIDOR DE OXIDO SHERWIN WILLIAMS** asegurando dejar una película uniforme y continua que cubra todos los rincones e intersticios.

Es imprescindible finalizar el trabajo con la pintura de terminación que corresponda.

Superficies Previamente Pintadas

- La pintura desprendida, descascarada, agrietada o ampollada deber ser removida totalmente con cepillo de alambre, espátula o lija hasta llegar al metal. Eliminar el polvillo y **CONVERTIDOR DE OXIDO SHERWIN WILLIAMS**.
- En caso de ser necesario emparejar la superficie, aplicar **Masilla al Aguarrás**. Es siempre conveniente aplicar antes y después de realizar las reparaciones **CONVERTIDOR DE OXIDO SHERWIN WILLIAMS** para optimizar la protección y la adherencia y, al mismo tiempo, evitar diferencias de absorción.
- Las películas que se encuentren totalmente deterioradas, deben ser eliminadas por completo con removedor. Luego, se debe limpiar muy bien la superficie utilizando aguarrás mineral, asegurándose de eliminar todo vestigio del mismo. Continuar el trabajo como si fuera una superficie nueva.

Es imprescindible finalizar el trabajo con la pintura de terminación que corresponda.

CARACTERISTICAS

- Color: Rojo óxido.

- **Aplicación:** A pincel o rodillo (preferentemente a pincel). Si fuera necesario diluir con un máximo de 10% de aguarrás mineral de buena calidad. A soplete, diluir con un máximo de 25% de solvente industrial. **Habitualmente se aplica una sola mano, pero en ambientes agresivos es conveniente aplicar una segunda mano.** Lavar los elementos de trabajo con aguarrás mineral.
- **Secamiento:** De 2 a 4 horas en condiciones normales de temperatura y humedad. Repintar a las 8 horas. No deben transcurrir más de 5 días, sin aplicar la pintura de terminación. En caso de haber transcurrido más tiempo, lijar suavemente la película con el fin de obtener la porosidad necesaria para la adecuada adherencia del producto a aplicar posteriormente.
- **Rendimiento:** 12 a 15 m² por litro y por mano según la superficie.
- **Acabado:** Mate.
- **Presentación:** 0.250, 0.500, 1, 4 y 20 litros.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Revolver muy bien el producto antes de usar.
- Almacenar los envases en un lugar fresco y seco.
- Evitar aplicar bajo los rayos directos del sol, ya que se perjudica la adherencia por la excesiva velocidad de evaporación del solvente.
- Evitar aplicar con HRA (humedad relativa ambiente) superior a 85% o cuando se prevean lluvias.
- Mantener fuera del alcance de los niños.