

300615

4
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

**PROTECCION DE CIMENTACIONES CONTRA EL
ATAQUE DE LOS SUELOS Y DEL
AGUA DEL TERRENO**

TESIS PROFESIONAL

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

JESUS HORACIO ARAUX RAMIREZ

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I Investigación, Mecánica de Suelos y - Agua del Terreno

1.1 Observaciones Generales	1
1.2 Información requerida en la investigación de un - terreno	4
1.2.1 Métodos de exploración del subsuelo	8
1.2.2 Muestreo del suelo	15
1.2.3 Ensayo de los suelos "in situ"	20
1.2.4 Investigación para cimentaciones sobre el agua	27
1.3 El agua subterránea y el terreno	34
1.3.1 Determinación del nivel máximo de la capa freática	34
1.3.2 Determinación de la variación del nivel freático	36
1.3.3 Las corrientes subterráneas	38
1.3.3.1 Toma de muestras de agua subterránea	41
1.3.3.2 Toma de muestras y análisis del terreno	44
1.3.3.3 Exactitud de los datos en las investigaciones so - bre el agua subterránea y del terreno	45
1.4 Investigación sobre la corrosión	47
1.4.1 Observaciones generales sobre los ensayos de co - rrosión	47

1.4.2 Desarrollo histórico de la investigación de la - corrosión	50
1.4.3 Ensayos de la corrosión	58
1.4.4 Determinación del grado de la corrosión	62
1.4.5 La velocidad de la corrosión	73

CAPITULO II Pilotes de Madera

2.1 Pilotes de madera	74
2.1.1 Métodos de protección	78
2.1.2 Protección mediante concreto	79
2.2 Acción de los horadadores marinos	82
2.2.1 Protección contra los horadadores marinos	84
2.3 Pilotes de acero	86
2.3.1 Protección mediante tratamiento de pintura	89
2.3.2 Protección catódica	96
2.4 Pilotes de concreto	100
2.4.1 Protección de los elementos de pilotes de concre- to	102

CAPITULO III Protección de las Estructura de Concreto

3.1 Los procesos de corrosión	105
-------------------------------	-----

3.2 Corrosión por lixiviación	111
3.2.1 Corrosión causada por ácidos	114
3.2.2 Corrosión por reacción de intercambio	121
3.2.3 Corrosión producida por expansión	128
3.3 Condiciones que aceleran o retrasan la corrosión	132

CAPITULO IV Corrosión y protección de armaduras

4.1 Generalidades	137
4.2 Condiciones de oxidación de las armaduras metálicas	140
4.3 Protección de las armaduras	151
4.4 Protección del Concreto pretensado	163

CAPITULO V Diferentes acciones debido a agentes físicos, químicos y orgánicos, y protección contra los mismos

5.1 Acción del agua de mar contra el concreto	168
5.1.1 Historia de la investigación de la corrosión del agua de mar	168
5.1.2 La acción corrosiva del agua de mar	173
5.1.3 El carácter de la corrosión provocada por el agua de mar	175

5.1.4 El comportamiento de distintos cementos contra - el agua de mar	177
5.2 Acidos orgánicos	185
5.2.1 Protección contra los ácidos en los terrenos - pantanosos y de turbas	187
5.2.2 Protección contra los ácidos orgánicos	191
5.3 Productos de desecho químico e industriales	194
5.3.1 Protección contra los ácidos industriales	194
5.4 Acción del hielo	199
5.5 Otras formas de protección	200
5.5.1 Cementación, silicatación, obstrucción de los - poros con arcilla	200
5.5.2 Imbibición con betón	204
5.5.3 Materiales cerámicos y pétreos ácido-resistentes para revestimiento de concreto	205
5.5.4 Capa aislante de arcillas para cimentaciones de concreto	109
5.5.5 Concreto en capas	211
5.6 Aislamiento total	212
Conclusiones	222
Bibliografía	225

I N T R O D U C C I O N

Las cimentaciones están sujetas al ataque de compuestos-destructivos del suelo o del agua del terreno, al ataque de organismos vivos, y a la erosión o abrasión mecánica. Así los pilotes de los muelles son atacados por organismos del suelo y -del agua que provocan la pudrición de la madera; sufren las devastaciones de las termitas y de insectos tales como horadadores marinos, son devastados por los barcos, el hielo, o cualquier otro efecto flotante, y pueden llegar a sufrir serios daños por el arrastre de piedras si están situados en playas expuestas a la acción de las olas. El concreto de los cimientos debe resistir el ataque de los sulfatos del terreno o procedentes de desperdicios químicos. Los pilotes de acero están sometidos también a la corrosión. La severidad del ataque a los cimientos depende de la concentración de los compuestos agresivos, del nivel y flotación de la capa freática, y de las condiciones climáticas.

La causa del desarrollo de ésta investigación es, la necesidad que existe de aumentar la vida útil en todas las construcciones y edificaciones, las cuales siempre estarán afectadas directamente por un agente destructor.

Hay que conocer y valorar adecuadamente todas las causas

de destrucción, para así poder adoptar las medidas óptimas de precaución antes y durante la construcción de las mismas, como por ejemplo, un estudio de mecánica de suelos y del agua del terreno, el cual debiera ser de la magnitud, la importancia, y el costo de la misma, deduciendo de lo anterior dos consecuencias, la reducción del costo del mantenimiento posterior, o la nulificación de este, y la prolongación de la vida útil de la misma.

Es muy difícil explicar los fenómenos de corrosión sin tener unos conocimientos básicos de química, aunque estos -- sean insuficientes, ya que la corrosión de los diferentes tipos de cimentación expuesto a todo tipo de agentes corrosivos constituye un proceso muy complicado. Para el ingeniero constructor de obras, subterráneas y marinas la ampliación de sus conocimientos de química presenta algunas dificultades, mientras que para el químico la construcción es un campo totalmente desconocido. Por ello y para obtener resultados eficaces, es preciso una estrecha colaboración entre ingenieros y químicos.

He intentado presentar un panorama amplio de los progresos realizados en los últimos decenios en el campo de la investigación de la corrosión, en los cuales se ha dado un desarrollo moderado en los métodos científicos de protección de -

madera, concreto y acero. Debido al rapido incremento de la -
industria en el mundo y el acelerado uso de todos los recursos
naturales que han dado como resultado una alteración a los va-
lances ecológicos provocando un incremento y un desarrollo de
nuevos contaminantes, los cuales afectan directamente al suelo
y a el agua circundante a las estructuras de cimentación.

No obstante, espero que este trabajo pueda ser de utili-
dad para ingenieros, constructores, químicos y aquellos que no
se encuentren muy versados en ésta especialidad, ayudándoles a
resolver sus problemas.

CAPITULO 1

INVESTIGACION, MECANICA DE SUELOS Y AGUA DEL TERRENO

1.1. OBSERVACIONES GENERALES.

Al considerar las medidas de protección lo primero que ha de hacerse es llevar a cabo una detallada investigación de las condiciones del suelo y del agua intersticial del terreno. Estas últimas son de vital importancia en la valoración del riesgo de ataque a estructuras de madera, concreto o acero. Generalmente los datos requeridos pueden obtenerse en conexión con las investigaciones generales para el proyecto de cimentación.

Una investigación del terreno de una manera u otra, es algo que se requiere siempre para cualquier obra de ingeniería o edificación. La investigación puede ser desde un simple exámen de la superficie de los suelos, con o sin algún pozo superficial de prueba, hasta un detallado estudio del estado del suelo y de las aguas freáticas a grandes profundidades bajo la superficie, por medio de sondeos y pruebas en el terreno y en el laboratorio con los materiales hallados. La magnitud del trabajo depende de la importancia y de la disposición de la cimentación de la estructura, de la

complejidad de las condiciones del suelo y de la información que pueda existir sobre el comportamiento de cimentaciones - de suelos similares. De este modo no es costumbre efectuar sondeos y llevar a cabo pruebas del terreno para casas habitables de uno o dos pisos, o estructuras semejantes, puesto que por lo general se conocen suficientemente las profundidades de cimentación requeridas y las cargas soportadas de un emplazamiento determinado. La información precisa para verificar las supuestas condiciones del suelo se puede obtener, con bastante frecuencia, examinando las zanjas abiertas de alcantarillas, o las excavaciones superficiales de los trabajos de carreteras, o bien por medio de algunos pozos pequeños de prueba, o con perforaciones de barrera hechos a mano. Sólo si se encuentran penosas condiciones de cimentación tales como estratos de turba o abundante material de relleno, sería necesario realizar profundos sondeos, posiblemente complementados por ensayos del suelo.

Quando se han de construir estructuras ligeras con unas condiciones del terreno donde no existe información sobre el comportamiento de las cimentaciones, se precisan investigaciones más extensas; por ejemplo, en territorios de ultramar no explotados donde pueden existir factores climáticos u otros cualesquiera que ejerzan una influencia decisiva en el

proyecto de cimentación.

Para estructuras pesadas de un gran número de pisos, o plantas industriales es necesaria una detallada investigación del emplazamiento, llevada a cabo por medio de profundos sondeos y pruebas de laboratorio de las muestras del terreno. Incluso si se conoce la existencia de roca a poca profundidad, es aconsejable realizar excavaciones a fin de que sea expuesta la roca en varios lugares de que no hay -- zonas profundamente meteorizadas, o rocas resquebrajadas o formando fallas. Para la construcción de estructuras cimentadas en profundas excavaciones, se requiere igualmente investigaciones perfectas. Además de suministrar información para el proyecto de cimentación proporcionan una serie de datos esenciales sobre las condiciones del suelo y de las aguas freáticas a los contratistas que se ofrecen para el trabajo. De este modo se ahorra dinero al contar con ofertas realistas y ventajosas basadas en un adecuado conocimiento previo de las condiciones del terreno. Un contratista con reputación no se aventurará en trabajos de excavación, si su costo supone una elevada proporción del de toda la obra; añadirá una suma cuantiosa a su oferta, que le pueda cubrir de las condiciones desconocidas del terreno.

1.2. INFORMACION REQUERIDA EN LA INVESTIGACION DE UN TERRENO.

Presumiendo la necesidad de un estudio bastante detallado, la información que ha de obtenerse en el transcurso de la investigación de un lugar para el proyecto de cimentación es la siguiente:

a) La topografía general del lugar, en lo que afecta al proceso de cimentación y construcción; por ejemplo: La configuración de la superficie, de las propiedades adyacentes, la presencia de corrientes de agua, embalses, cercas, árboles, afloraciones rocosas, etc., y el acceso de vehículos y equipo de construcción.

b) La situación de los servicios bajo tierra, tales -- como cables de corriente eléctrica, cables telefónicos, tuberías de agua y alcantarilla.

c) La geología general del área con particular referencia a las principales formaciones geológicas localizadas bajo el lugar, y la posibilidad de hundimientos como consecuencia de la extracción de mineral u otras causas cualesquiera.

d) El historial y utilización del lugar, incluyendo in formación sobre defectos y fallos de edificios existentes o que han existido, atribuirles a las condiciones de cimenta - ción.

e) Cualquier característica especial, tal como las posibilidades de terremotos, o factores climáticos, como son inundaciones, dilataciones y contracciones del terreno según la estación del año, el hielo permanente o la erosión del -- suelo.

f) La disponibilidad y calidad de los materiales de - construcción locales, tales como áridos de concreto, piedra de edificación y construcción de carreteras, y agua para la construcción.

g) Para estructuras marítimas o en los ríos se preci- sa información sobre las mareas equinociales y muertas, ma- reas altas y bajas extremas y niveles de los ríos, niveles y descargas estacionales de los mismos, velocidad de las co -- rrientes de los ríos y otros datos hidrográficos y meteoroló gicas.

h) Una detallada información sobre las condiciones de los estratos rocosos y del suelo y de las aguas freáticas - dentro de las zonas afectadas por las cargas de la cimentación y las operaciones de construcción o bien sobre estratos más profundos que afecten de algún modo a las condiciones del lugar.

j) Resultados de las pruebas del laboratorio con muestras del suelo y de las rocas, correspondientes a los problemas del diseño ó construcción de cimentaciones.

k) Resultados de los análisis químicos del suelo o -- del agua del terreno para determinar los posibles efectos perjudiciales sobre las estructuras de cimentación.

Una detallada inspección llevada a cabo recorriendo detenidamente el lugar, muestra a menudo datos muy significativos sobre las características del subsuelo. Por ejemplo: los agujeros de infiltración o dolinas ocultas en formaciones calizas son a veces revelados por formaciones fortuitas e irregularidades pronunciadas en la superficie del terreno; los desplazamientos del suelo se reconocen por un plegamiento de la superficie de la ladera de una colina, o por árboles inclinados y los sedimentos de ríos o lagos, por -

áreas de capas bajas y planas en los valles. Las indicaciones superficiales sobre el agua freática consisten en la presencia de manantiales o pozos, y terrenos fangosos con cañas (que ponen de manifiesto la existencia de una gran extensión de agua con exceso de drenaje).

En el caso de grandes proyectos que cubran áreas externas, ha de solicitarse auxilio a un geólogo profesional.

Por lo anteriormente dicho los apartados a y b pueden obtenerse por medio de un reconocimiento general del lugar y de un estudio de datos geológicos, mapas y otros documentos análogos publicados.

Los apartados h, j y k de la relación anterior, pueden conseguirse mediante sondeos u otros métodos de exploración del subsuelo, junto con pruebas de suelos o rocas tanto en el terreno como en el laboratorio.

En algunos casos puede ser importante determinar el olor del suelo, tal como el de las sustancias orgánicas o residuos químicos, para llamar la atención sobre sus posibles efectos en el concreto o acero de las cimentaciones.

1.2.1. METODOS DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

EXPLORACION EN LOS SUELOS.

Los principales métodos para determinar la estratificación y características técnicas del subsuelo son:

Pozos de Prueba.- Es el más barato si se trata de pequeñas profundidades. No se requiere ningún equipo especial. En terreno razonablemente bueno la perforación del pozo puede hacerse hasta una profundidad de 1.20 m., sin necesidad de entibado, si se trata de terrenos buenos, tales como de roca, caliza dura o consolidados. Sin embargo en suelos con acumulación de agua, sobre todo en terrenos arenosos, es probable que exista dificultad en excavar por debajo de la capa de agua y, en tales condiciones, los pozos de prueba pueden resultar más costosos que los sondeos. Proporcionan un cuadro bastante claro sobre la estratificación de los suelos y la presencia de lentes o cavidades de material más débil.

Sondeos mediante perforadora de mano o mecánica.- Constituyen también un método barato de exploración del subsuelo en tipos de suelo favorables, ya que los suelos han de tener cohesión suficiente para resistir sin soporte alguno en son-

deos sin enturbación, pero no deberán existir grandes guijarros, bloques de roca, u otras obstrucciones que impedirán el movimiento rotatorio de la perforadora. Si se efectúa -- cuidadosamente, la perforación ocasiona menor alteración que cualquier otro método de sondeo. En arcillas y gravas sueltas o con gran capacidad de agua, no pueden efectuarse agujeros con la perforadora.

Sondeos mediante barrena con cuchara.- Pueden llevarse a cabo en cualquier tipo de suelo, puesto que las barrenas pueden revestirse en el sitio requerido con tubos de acero, empleándose una externa variedad de herramientas para los diferentes suelos y tipos de rocas.

El sondeo en suelos coherentes es efectuado por perforadoras (disco de arcilla), (tubo de acero abierto por su extremo con el borde cortante), o cuchara (tubo de acero abierto en su extremo, con una válvula de chornela de disco exterior y el borde cortante en la parte inferior del tubo) Las gravas y arenas son apartadas de las perforaciones por medio de la cuchara. Si se sondea en rocas o en bloques de rocas, se suelen usar escoplos de varios tipos para romper la roca, siendo extraído los fragmentos mediante la pala. -- La utilización de agua inyectada en la perforación es con --

frecuencia inevitable en el sondeo con barrena de cuchara, - sobre todo, al sondear en terrenos de grava. Sin embargo el agua se debe usar con parquedad, y en las ocasiones en que - se haga, se habrá de dar cuenta de ello en el informe de sondeos del lugar.

Sondeo por percusión.- Las máquinas usadas en el sondeo por percusión desgarran el suelo por golpes sucesivos de un escoplo o cabeza vibratoria, y la masa pastosa resultante es separada por la cuchara. A causa de la profunda alteración del suelo, éste método de sondeo no se suele emplear en las investigaciones de los suelos.

Sondeo por inyección de agua.- El suelo es desgarrado y separado por el barreno por una corriente de agua o de lodo de perforación, procedente del extremo inferior del tubo de inyección que se mueve hacia arriba y hacia abajo o se le -- hace girar a mano en el interior del barreno. La corriente del agua o de lodo transporta la mezcla de muestras por el espacio anular que existe entre el tubo de inyección y del - revestimiento, y aflora a nivel del terreno en donde la mezcla en suspensión se deposita en un tanque o balsa, volviéndose entonces a poner en circulación el fluido, o bien evacuarlo, según se requiera. Las muestras del suelo deposita-

do pueden retenerse para fines de investigación, aunque este procedimiento es a veces ineficaz debido a que las muestras se mezclan unas con otras a medida que asciende con el tubo y entran en el tanque de sedimentación, por lo cual la estructura del suelo resultará alterada. Sin embargo, puede obtenerse una información precisa si se hace uso del muestreo seco, utilizando tubos de muestra sin descomponer o muestreador de cuchara hendida. El sondeo por inyección tiene la ventaja de que la estructura o densidad del suelo por debajo del fondo de la perforación no se ve alterada por las herramientas de sondeo, aunque este método no puede utilizarse en gravas de gran tamaño o suelos que contengan bloques de roca. Pero sí es lo más adecuado para arenas y arcillas. Suelen usarse una gran variedad de herramientas para su colocación en el extremo del tubo de inyección según los diferentes tipos de suelo. El uso de lodo en vez de agua permite al agujero permanecer sin revestimiento en suelos inconsistentes. (Ver figura No. 1).

La prueba de inyección.- Es un método simple de determinar la profundidad hasta una zona de contacto entre terrenos blandos o sueltos y estratos duros o compactos. Las tuberías de inyección, arrojando agua a presiones elevadas, funcionan de arriba a abajo en un agujero sin revestimiento. De aquí, que no exista una identificación positiva del suelo a causa de la frecuente pérdida del agua que se inyecta. El muestreo seco através de las tuberías de inyección no es fácil de conseguir, resultando imposible en muchísimos casos. Sin embargo, si se emplea agua en abundancia y el suelo no contiene grandes guijarros o bloques de roca, este método resulta rápido y económico para determinar el nivel de un estrato bien definido que pueda ser localizado por el tacto de las tuberías de inyección a medida que suben y bajan. Las pruebas de inyección han de ser complementadas por perforaciones realizadas por otros métodos más positivos, debiendo utilizarse únicamente con datos de relleno en perforaciones altamente espaciadas. Constituyen un método conveniente de rápida exploración del subsuelo para trabajos fluviales o marítimos; para investigar, por ejemplo, la profundidad de la arena o el lodo sobre los lechos de roca en un proyecto de pilotaje o dragado. (Ver figura No. 2).

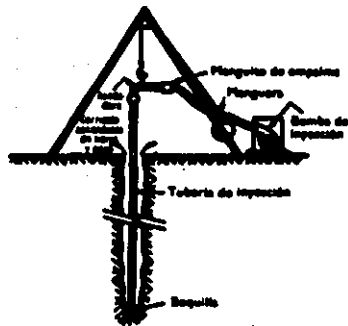


Figura No. 1

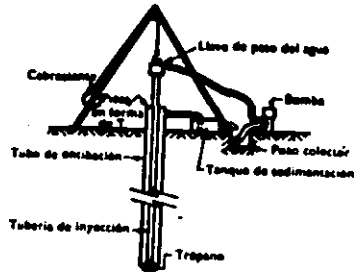


Figura No. 2

El equipo de penetración de cono estático o dinámico.- Se usa para determinar las características y estratificación de los depósitos del suelo, midiendo, bien el número de golpes requeridos para el cono avance una distancia fija (ensayos con cono dinámico), o bien, la fuerza requerida para hacer penetrar el cono en el suelo a profundidades cada vez mayores (pruebas con cono estático), Se obtiene un informe sobre la resistencia a la penetración con la profundidad del cual se puede deducir por correlación con los sondeos la estratificación de los suelos. Sin embargo, tales métodos son de más valor en la determinación de las características resistentes de los suelos por medida directa in situ.

MUESTREO DEL SUELO

Existen dos tipos principales de muestras del suelo que pueden conseguirse por medio de sondeos o pozos de ensayo.

Muestras Alteradas.- Que como su nombre indica son muestras tomadas de las herramientas del sondeo; como por ejemplo pueden citarse las raspaduras de la perforadora, el contenido del muestreador de cuchara hendida en la prueba estándar de penetración, lodos procedentes de la corriente de agua inyektada al retornar a la superficie o de la cuchara -

de barrenar, o muestras a mano excavadas en los pozos o zan -
jas de ensayo. La estructura del suelo natural puede alterar
se considerablemente por la acción de las herramientas de son -
deo o del equipo de excavación.

Las muestras se ponen en recipientes o sacos herméticos,
con una etiqueta en la que se indica la localidad, el número
de la perforación, la profundidad a la que se han tomado las -
muestras, y la fecha del muestreo.

Las muestras inalteradas.- Indican tan fielmente como es
posible la verdadera estructura in situ y el contenido de agua
del suelo. El método más corriente para obtener muestras inal
teradas consiste en introducir un tubo de pared delgada en to -
da su extensión en el suelo y entonces retirarlo junto con su
contenido. Es importante no hincar el muestreador a fin de no
comprimir el contenido. Es de reconocer que ninguna muestra -
obtenida por la introducción de un tubo en el suelo puede que -
dar realmente sin alterar.

De hecho en suelos blandos y sensibles, la verdadera re -
sistencia in situ al esfuerzo cortante, tal y como se ha deter
minado el ensayo con paletas, ha resultado ser tres o cuatro -
veces la resistencia a la cizalladura determinada por pruebas

de libre compresión con muestras inalteradas tomadas en las perforaciones. El cuidado en el procedimiento de muestreo, y la perfección del equipo, dependen de la clase de trabajo que ha de llevarse a cabo, de la importancia en la exactitud de los resultados según el proyecto de que se trate, y del capital destinado a la investigación.

El Instituto Geotécnico Sueco, reconoce tres clases de muestreo, a saber:

Clase de investigación: Muestras de la mejor calidad posible, sin importar el costo que tengan (por ejemplo, muestras en proyectos de investigación, o para estructuras de cimentación muy caras e importantes).

Clase Rutinaria: Muestras de notable calidad, aunque procurando que el equipo de muestreo sea más bien sencillo, y el tiempo de trabajo bastante corto, para evitar costos excesivos (por ejemplo; muestreo llevado a cabo por organizaciones especializadas en mecánica de suelos para investigaciones bastante importantes de cimentación).

Clase Simple: Las muestras no deben estar seriamente alteradas, aunque la consideración principal se refiere a evitar cualquier demora en el sondeo y a usar instrumentos sencillos

que permitan mantener los costos tan reducidos como sea posible (por ejemplo: muestreos que sean llevados a cabo por supervisores no especializados).

La clase de muestras tipo de investigación requiere de -- instrumentos de precisión tales como el tomamuestras suaco tipo cinta o muestras tomadas a mano cuidadosamente en poza de prueba. El muestreo rutinario precisa de un tomamuestras de -- hábil diseño, tal como el pistón o el de pared delgada, que se introduce en el suelo de un tirón y no a fuerza de golpes de -- martillo. La clase simple de muestreo utiliza muestreadores de tubo abierto, que son introducidos en el terreno a fuerza -- de golpes de un martillo deslizando.

Existe una gran diferencia de costo entre las tres clases pero el técnico ha de reconocer el valor de unas muestras de -- buena calidad si ello puede producir economías en el proyecto, por ejemplo, unas muestras de buena calidad significan mayores resistencias a la cizalladura junto con mayores cargas y, por consiguiente, menores gastos de cimentación.

En ciertos proyectos, un buen muestreo puede significar -- la diferencia entre que se considere posible o no un cierto -- trabajo de construcción, como, por ejemplo, la construcción de

un malecón en un suelo muy blando como acceso al puente. Si la resistencia a la cizalladura, al determinarse por un deficiente procedimiento de muestreo, es muy pequeña, el técnico optará por construir un viaducto sobre pilotes, cuyo costo será más bien elevado, ante la imposibilidad de poder levantar un malecón. En el caso de tanques de almacenamiento de petróleo en suelo blando, una diferencia de algunos metros cuadrados en la resistencia a la cizalladura puede significar una gran variación en el peso de los tanques de petróleo con el consiguiente incremento de la cantidad de petróleo que puede almacenarse en un área determinada. Por el contrario, en arcillas insensibles, tales como las arcillas duras glaciales el proceso de muestreo escogido no tiene gran influencia en la resistencia al deslizamiento, pudiendo la clase simple de muestreo proporcionar la información adecuada.

El ingeniero deberá estudiar el problema de cimentación y decidir que grado de perfección está económicamente justificado en la zona de muestras. Ha de tener en cuenta que -- los ensayos in situ, tales como las pruebas con paletas o con cono, pueden proporcionar una información más confiable que los ensayos de laboratorio de muestras inalteradas, siendo innecesarias, y suficiente la clase simple para dar una información precisa sobre los tipos de suelos.

1.2.3. ENSAYOS DE LOS SUELOS " IN SITU "

Las pruebas para determinar la resistencia al deslizamiento o la densidad de los suelos en el lugar escogido, constituyen un valioso medio de investigación, desde el momento en que esas características pueden determinarse directamente sin los efectos alteradores del sondeo o muestreo. Son particularmente ventajosas en limos y arcillas, blandas y sensibles, o en arenas sueltas. No obstante, es muy importante recordar que dichas pruebas proporcionan una sola característica del suelo: la resistencia al deslizamiento en el caso de ensayos con paletas, o la resistencia a la penetración en el caso de pruebas con conos estáticos o dinámicos. Por ello, no deben usarse como un sustituto de los sondeos, sino únicamente como un método suplementario de investigación. Mediante esas pruebas es imposible identificar los tipos de suelo por los que se atraviesa, o distinguir entre turba y arcilla dura o entre arena suelta y arcilla firme, y tampoco dan información alguna sobre las condiciones de agua del terreno.

El aparato de paletas para ensayar el cizallamiento fué descubierto por Carlson en Suecia para investigar la resistencia al deslizamiento de las arcillas marinas postglaciares, sensibles y muy blandas de aquel país. Básicamente el método

consiste en introducir una paleta, de cuatro hojas, de 5 cm. de diámetro por 10 cm., de largo, en el suelo y hacerla girar a una velocidad constante de 0.1 grado por segundo. La fuerza de impulsión necesaria para hacer girar el cilindro de muestra encajado entre las hojas, se mide por medio de una romana situada en la parte superior de los vástagos que sostienen la paleta, la cual da una lectura directa de la resistencia al deslizamiento. La resistencia del suelo al deslizamiento puede también medirse observando la fuerza de impulsión mínima requerida para un movimiento rotatorio continuado con la paleta. (Ver figura No. 3).

El ensayo standard de penetración se lleva a cabo en perforaciones ya existentes, utilizando un tomamuestras de cuchara hendida con un diámetro exterior de 5 cm. Constituye un medio muy útil para determinar aproximadamente la densidad in situ de suelos sin cohesión alguna. El tomamuestra se introduce en toda su longitud, que viene a ser unos 45 cm., por medio de repetidos golpes de una masa de 63 Kgs., que cae desde 75 cm., de altura.

Por éste procedimiento puede fijarse la profundidad de cualquier suelo alterado, en el fondo del agujero, y anotarse el nivel al que pueden encontrarse obstrucciones de todo tipo.

tales como guijarros, grava gruesa, o estratos consolidados. una vez que el tubo es retirado se lleva a parte para exami - nar el contenido, y aunque la muestra suele ser alterada, se encuentra lo suficientemente intacta como para poder ver lamina - ciones y otras características análogas.

Pero sólo se toma como número standard de penetración - (valor - N), el número de golpes en los últimos 30 cm., del recorrido. Aunque las aplicaciones del ensayo son completa - mente empíricas, la extensa experiencia en su uso en países desarrollados, ha proporcionado un considerable conocimiento sobre el comportamiento de las cimentaciones en arenas y gra - vas. Terzaghi y Peck dan la siguiente relación entre valores - N y la densidad relativa de la arena:

<u>Valor N</u>	<u>Densidad Relativa</u>
Inferior a 4	Muy ligera
4 a 10	Ligera
10 a 30	Media
30 a 50	Densa
Superior a 50	Muy densa

El ensayo de penetración del cono dinámico utiliza un cono que se introduce en el suelo de modo continuado por medio de golpes de un martinete. El número de golpes por cada 38 cm., de penetración es anotado. El aparato es a todos los efectos un martinete y como tal es utilizado por los contratistas como medio de predecir de un modo empírico la resistencia al hincado, y por lo tanto, la resistencia admisible de los pilotes, cuando se usa para este fin, se suele conocer -- con el nombre de " ensayo previo a la hincada de pilotes ". Este método no tiene aplicación directa en proyectos de cimentación superficial, y aún no existe una relación determinada entre la resistencia al cono dinámico y características tales como densidad in situ, capacidad de carga, y asentamiento, como sucedía con el caso del ensayo standard de penetración.

El ensayo de penetración del cono estático, es muy usado en países escandinavos y se le conoce mejor por el método holandés. El cono holandés tiene un ángulo cónico de 60° y una base de diámetro igual a 3.35 cm., con un área resultante de 10 cm.² (Ver figura No. 4).

El cono va conectado a unos vástagos protegidos por una cubierta exterior. El impulso puede medirse por separado en los vástagos y en la cubierta, de éste método puede cons - -

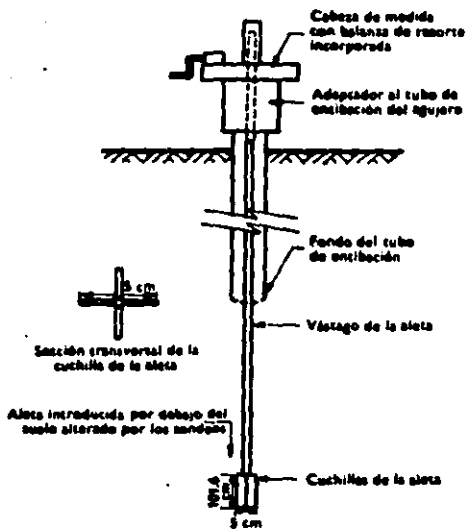


Figura No. 3

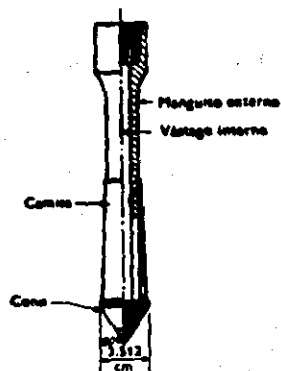


Figura No. 4

truirse una gráfica indicando la capacidad de carga y asentamiento de las cimentaciones de poca profundidad y pilotes.

El ensayo del cono estático es también un método valioso para determinar las variaciones de la densidad in situ de suelos arenosos o arenas laminadas y arcillas, en condiciones en las que la densidad in situ se ve alterada por operaciones de sondeo, haciendo de este modo que el ensayo de penetración no resulte de confianza en la evaluación. Es inadecuado para - suelos de grava, y si se usa en arenas densas, el sistema de fijación del equipo puede resultar engorroso y caro.

INFORMES DE LOS SONDEOS.

La primera fase en la preparación de los informes de -- los sondeos es el cuaderno o diario de las obras, el cual proporciona datos del suelo o estratos rocosos, determinados mediante un exámen visual del terreno. Todos los datos referentes a niveles de agua del terreno, niveles reducidos en las variaciones de estratos.

Profundidad de las muestras, e informes de todos los ensayos in situ, se especifican en estos cuadernos de obras, -

los cuales suministran una información preliminar al proyec -
tista, y permiten que se establezca el programa de ensayos de
laboratorio. La segunda fase es el informe final que se in -
cluye en el informe técnico de la investigación del terreno.
En este informe las descripciones de suelos y rocas son recti -
ficadas en donde sea necesarios a la luz de la información --
proporcionada por el ensayo de laboratorio, exámen de las - -
muestras y dictamen detallado de un geólogo. En ambas fases
de la presentación del sondeo es importante adoptar un método
unificado de descripción de los tipos de suelos y rocas.

1.2.4. INVESTIGACION PARA CIMENTACIONES DE OBRAS SOBRE EL AGUA.

La realización de sondeos atravez del agua en ríos y ma -
res, exige equipos especiales para soportar los instrumentos
de perforación, aunque las técnicas y los aparatos son esen -
cialmente los mismos que en las perforaciones en tierra. Pa -
ra sondeos próximos a tierra o a estructuras ya existentes, o
en aguas poco profundas, resulta económico emplear andamiaje
para soportar el equipo de sondeo. Estos andamiajes suelen -
ser por regla general de construcción ligera, tales como, los
de acero tubular, ya que el equipo de perforación no es de -
gran peso. Cuando el sondeo se encuentra a unos 45 m., de --

tierra o de otras estructuras, la plataforma puede conectarse con la orilla mediante una pasarela. Para distancias mayores resulta más económico montar la plataforma como si fuera una isla, bien haciéndola descender sobre el agua por medio de -- una barcaza - grúa o bien en forma de balsa que puede sumer - girse por admisión de agua en los compartimientos de flota - ción. Para sondeos en aguas de más de 7.5 m., de profundidad o a una distancia considerable de la orilla, es conveniente montar el equipo de perforación sobre una plataforma, coloca - da en voladizo sobre una barcaza o pontón, este tipo de embar - cación sin propulsión es adecuado para trabajos en aguas res - guardadas o en sitios próximos a algún puerto al que puedan - remolcarse la plataforma para mantenerla al abrigo en tiempos tormentosos. Sin embargo, si los sondeos se efectúan en - - aguas sin resguardo alguno es recomendable una embarcación - con propulsión propia. La perforación desde una embarcación flotante requiere algunas modificaciones en la técnica, exis - tiendo ciertas complicaciones para efectuar algunos ensayos in situ, tales como los ensayos con paletas y los de cono -- estático y dinámico. Para un estudio más completo de los di - versos métodos y técnicas de investigaciones marítimas pueden consultarse experiencias de compañías especializadas.

MÉTODOS GEOFÍSICOS DE INVESTIGACION DEL TERRENO

Es posible determinar los niveles de los cambios en la estratificación de suelos y rocas con la ayuda de procedimientos geofísicos que miden los cambios en ciertas características físicas de los materiales que componen los estratos, como ejemplos, el magnetismo, la densidad, la resistividad eléctrica, la elasticidad o una combinación de estas propiedades. Sin embargo, tales métodos tienen un valor limitado en la construcción de cimentaciones, debido a que solo es posible reconocer los cambios en la estratificación en aquellas partes en que los estratos presentan una diferencia apreciable en las propiedades geofísicas, y, además la única información útil que proporcionan es el nivel de las superficies en contacto entre los distintos estratos. Los métodos geofísicos en su actual estado de desarrollo no proporcionan datos directos y cuantitativos sobre la resistencia a la cizalladura, compresibilidad, o distribución -- del tamaño de las partículas. A lo sumo el examen geofísico es un medio de conseguir datos sobre los cambios en los estratos entre perforaciones ampliamente espaciadas. En lugares extensos, los métodos geofísicos pueden suponer cierta economía, debido a la rapidez con que pueden cubrirse grandes zonas. Antes de iniciar tales estudios, el ingenie

ro debe considerar si no serían preferibles otros métodos tales como pruebas o sondeos por inyección, o por medio de los conos estáticos y dinámicos, desde el momento en que estos métodos, también son rápidos y poseen la ventaja de proporcionar datos cuantitativos sobre la densidad in situ o la resistencia de los suelos a la cizalladura. Generalmente los métodos geofísicos son muy adecuados para investigaciones profundas en estratos rocosos; así, por ejemplo, para túneles o puzas, en los que se requiere un profundo conocimiento de la estratificación de las rocas, y para investigaciones en suelos con abundancia de guijarros o cantos rodados en lo que son imposibles los sondeos o los ensayos de cono estático o dinámico.

Los métodos de uso más frecuente son:

- a) Resistividad Eléctrica
- b) Refracción Sísmica
- c) Reflexión Sísmica

El método de Resistividad Eléctrica hace uso de las diferencias de conductividad o resistencia eléctrica entre un tipo de suelo o de roca y otro. Una corriente eléctrica circula por tierra entre un par de electrodos (electrodos de - -

corriente), y la caída de potencial se mide mediante un par de electrodos situados entre aquéllos y conocidos con el nombre de electrodos de potencial.

Los cuatro electrodos están igualmente espaciados en línea recta, de modo que variando el espaciado puede variarse la profundidad de penetración de la corriente. En la técnica de separación de los electrodos, las distancias entre el par de electrodos de corriente y el de electrodos de potencial se acrecentan de modo progresivos midiéndose la caída de potencial de cada nuevo espaciamento. Los resultados se analizan con métodos gráficos o matemáticos, pudiéndose deducir los niveles de los diferentes estratos. El equipo es ligero y manejable, y únicamente se precisa de un operario y un ayudante. (Ver figura No. 5).

El método de la conductividad eléctrica proporciona datos valiosos sobre estructuras metálicas contra los agentes corrosivos.

Los métodos sísmicos se basan en el hecho de que los suelos y rocas tienen diferentes características en que se refiere a la velocidad de propagación de las vibraciones a través de ellos. Por ello, cuando se enciende una carga

explosiva al nivel del terreno o en una perforación, las ondas viajan en todos los sentidos a partir del punto de disparo, y son refractados y reflejados por los distintos estratos. Viajan a mayor velocidad através de rocas y suelos altamente consolidados, que a través de depósitos sobrecargados más ligeros. Por consiguiente midiendo con un sismómetro el tiempo de llegada de las ondas a un punto determinado de la superficie, podrán deducirse la naturaleza y profundidad de los estratos subyacentes.

El método de refracción sísmica es más adecuado para las exploraciones superficiales en ingeniería civil, que la técnica de la reflexión, limitada en los estudios sísmicos convencionales a profundidades superiores a 12 m., o 15 m. Para una estructura simple de sólo dos estratos, los sismómetros se colocan espaciados, a distancias cada vez mayores del punto del disparo. El tiempo de llegada del frente de ondas a cada sismómetro se representa en un gráfico en el eje de ordenadas, mientras que en el de abscisas se anota la distancia del sismómetro correspondiente, al punto de disparo. De este modo pueden determinarse las velocidades de los distintos estratos y calcularse las profundidades de éstos. Un equipo de refracción sísmica se compone de un observador, un disparador un supervisor y cuatro trabajadores.

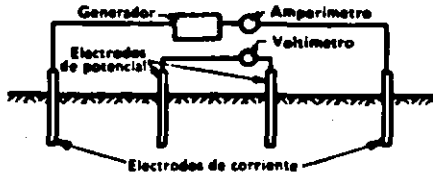


Figura No. 5

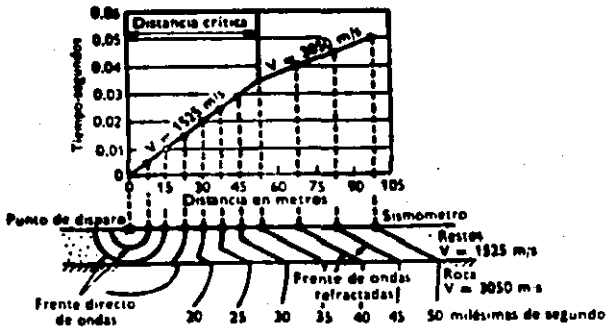


Figura No. 6

El instrumental es caro y complejo, resultando que el estudio de la refracción sísmica es bastante costoso y adecuado únicamente para terrenos grandes y condiciones complejas, a hi donde puede lograrse reducir el costo mediante la rapidez de un método. (Ver figura No. 6).

1.3 EL AGUA SUBTERRANEA Y DEL TERRENO

Las obras o las cimentaciones de las mismas pueden alcanzar temporal o permanentemente la capa freática. Estos casos deben ser considerados por separado desde el punto de vista de las medidas de protección a adoptar.

1.3.1. DETERMINACION DEL NIVEL MÁXIMO DE CAPA FREÁTICA

Cuando los cimientos están sumergidos permanentemente en la capa freática, es esencial determinar el nivel máximo de dicha capa. Las medidas a adoptar para la protección de los cimientos deben aplicarse hasta dicho nivel máximo.

En muchos países, se han editado mapas en los que figura el nivel máximo y mínimo de la capa freática, y que están basados en una serie de observaciones a lo largo de varios decenios. Con estos mapas se puede determinar el nivel máximo

alcanzado por la capa freática en el lugar de las obras. También puede obtenerse dicho dato solicitándolo a autoridades oficiales.

En los países en los que no existen mapas de aguas freáticas, se procede con bastante exactitud determinada en el lugar de el sondeo, se añade la diferencia que hay entre la cota del nivel de agua observada durante el sondeo del pozo de observación más próximo a la obra, y la cota del nivel más alto del agua observado en el mismo lugar. Si el lugar de la obra se halla entre varios pozos de observación, los valores de las cotas se pueden obtener por interpolación. Si el lugar de la obra se encuentra fuera de la zona de los pozos de observación, el nivel de dicha capa freática puede determinarse a veces por comparación con la altura alcanzada por el agua en los pozos en uso, y, a falta de estos datos por los que puedan suministrar los habitantes de la localidad. Los datos obtenidos de un pozo, cuyo agotamiento se intente mediante bombas, nunca deben de servir como punto de partida.

Las variaciones del nivel superior de la capa acuífera difieren considerablemente de una región a otra.

El límite superior del revestimiento especial de una masa de concreto, o de las medidas a adoptar para su protección

debe ser establecido partiendo del nivel máximo alcanzado por la capa freática en el lugar de las obras, incrementado ocasionalmente por un suplemento de seguridad.

1.3.2. DETERMINACION DE LA VARIACION DEL NIVEL FREATICO

Si el nivel medio acuífero alcanza los cimientos, deben llevarse a cabo todas las medidas de protección prescritas -- por los pliegos de condiciones. Cuando el nivel medio permanece por debajo de la cimentación y el nivel máximo sólo alcanza temporalmente los elementos de concreto, pueden suavizarse las medidas de protección en algunos casos, según la -- frecuencia de niveles máximos. (Ver figura No. 7).

La figura siguiente representa las variaciones anuales del nivel superior de la capa acuífera. La altura máxima es alcanzada en la primavera y la mínima en otoño. La amplitud de las variaciones depende de muchos factores, entre los que se pueden citar la situación geográfica, el volumen y características de la precipitación anual, así como las características geológicas del terreno. A lo largo de varios años sucesivos - según la tendencia a aumentar o disminuir el volumen de las precipitaciones - la capa freática tiende a subir o bajar. (Ver figura No. 8).

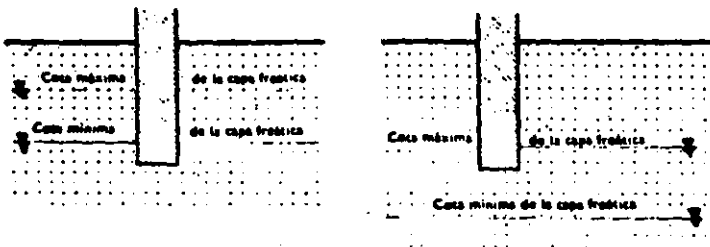


Figura No. 7

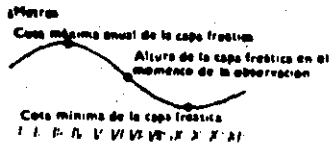


Figura No. 8

En el caso en que las variaciones decenales sean pequeñas pongamos, como ejemplo, inferior a 1m - y la capa freática pueda alcanzar los cimientos todos los años. deben aplicarse las medidas de protección con todo su rigor. (Ver Fig.No.9)

La capa acuífera alcanza la solera de cimientos solo una vez cada 10 años, y aún así por poco tiempo, por lo que está justificada la reducción de las medidas protectoras, reducción que puede llegar hasta la eliminación total. (Ver Fig.10)

El alcance de las medidas de protección depende de la -- agresividad de las aguas subterráneas, tanto por su forma de atacar como por su intensidad, de las propiedades y características del terreno, de la importancia de la construcción, de las dimensiones de las masas de concreto, etcétera.

1.3.3. LAS CORRIENTES SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea forma parte de una corriente cuya -- dirección e intensidad dependen de la pendiente. El movimiento del agua subterránea aumenta la intensidad de la corrosión. Esta circunstancia deberá tenerse en cuenta al emitir un dictamen. Sucede a menudo que el agua subterránea en las proximidades de un foco contaminante, por ejemplo, de un vertedero o pila de escorias, se impregna al pasar por sus cercanías, -

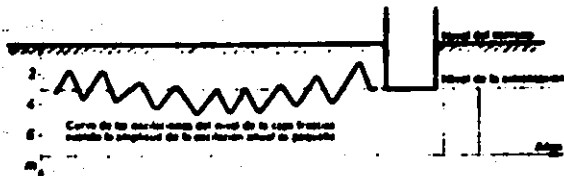


Figura No. 9

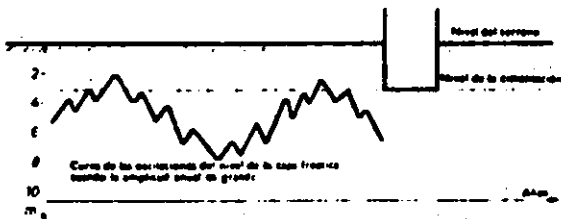


Figura No. 10

cargándose de agentes agresivos. En estos casos deben adoptar se medidas de protección en las edificaciones hacia las que fluye el agua. Si ésta fluye en dirección opuesta, alejándose de las obras, no es precisa la adopción de semejantes medidas.

La dirección de la corriente subterránea puede ser determinada mediante diferentes métodos, entre los que pueden citarse la pendiente del terreno, nivelación de la capa freática, disolución de sal, teñido del agua, métodos geoelectricos, disolución de isotopos radioactivos, etcétera.

4. MAPAS HIDROQUIMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Simultaneamente, con el levantamiento de mapas de las - - aguas subterráneas se realizó en muchos países el análisis químico de dichas aguas, recogándose estos datos en mapas de sulfatos, cloruros, durezas, etc.

Según la magnitud del contenido de cationes se habla de - - aguas sódicas, cálcicas o magnésicas, o - - juzgando por los - - aniones - de agua sulfatadas o carbonatadas. Aunque estos mapas nos suministran datos sobre la composición de la capa freática en el emplazamiento de las obras, no debe omitirse el -- análisis de las aguas subterráneas, dada la cantidad de impurezas que pueden presentarse en ellas.

1.3.3.1 TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA SUBTERRANEA

Una adecuada toma de muestras y un análisis exacto del agua son datos previos de suma importancia para una correcta toma de decisiones en las medidas de protección a adoptar. -- Por esta razón, la toma de muestras deberá ser efectuada por un técnico especializado. En la toma de muestras se trata de -- obtener una cantidad suficiente de agua que no esté contaminada por mezcla con otras. Es preciso también observar unas normas de precaución a fin de evitar que se pierda algunos de los materiales o componentes del agua, o que, por el contrario, la muestra se contamine por la introducción de sustancias extrañas, o que la composición de las mismas varíe durante su -- transporte al lugar en que se haya de realizar el análisis. De no observarse éstas precauciones, puede desaparecer total o parcialmente, por ejemplo, el ácido carbónico o el ácido sulfúrico existente en el agua. Debe hacerse resaltar el hecho de que, a fin de eliminar cualquier defecto, es obligatoria la toma de dos muestras como mínimo. En la toma de muestras de -- ben también observarse las indicaciones que se hacen posteriormente.

La muestra tomada, frecuentemente, sólo nos da las características del agua en el momento de ejecución de la toma, -- pues su composición puede variar según las oscilaciones de la

temperatura o al contacto con el aire. No solamente es práctico, sino en algunos casos necesarios - por ejemplo, cuando se trata de terrenos con pintas o con materias orgánicas como turbas, o en espacios bajo aire comprimido - el efectuar el análisis de algunos componentes del agua en el mismo lugar en el que se ha realizado la toma de la muestra. Un gran número de componentes aislados - por ejemplo, amoníaco, ácido carbónico libre, ácido sulfhídrico, ácidos disueltos, hierro, así como el valor del pH - solo pueden determinarse con exactitud después de la toma de la muestra. En un frasco no totalmente lleno y mal cerrado puede variar la composición química de una muestra de agua depositada en un lugar caliente y con partículas de tierra.

En la valorización de los resultados del análisis de las muestras debe tenerse en cuenta la estación del año en la que se han tomado éstas y la situación de la capa freática. Deben considerarse, además, las propiedades visibles del agua. Naturalmente el agua subterránea, si su nivel está alto, contiene, en general, una menor cantidad de sales disueltas. -- Puede suceder, sin embargo, que el agua subterránea ascienda, después de un lapso de tiempo mayor, a terrenos cuyas sales no ha disuelto totalmente aún. En éste caso, en lugar de un enrarecimiento del contenido de sales, que será lo lógico a observar si el nivel de la capa acuífera es alto, se encuentra una mayor concentración de sales. La composición de las

aguas subterráneas tomadas más cerca de la superficie del terreno muestra, en general, mayores variaciones que las aguas de capas profundas.

Para poder enjuiciar la posible agresividad del agua, -- el análisis debe dar los datos siguientes, de acuerdo con las normas vigentes en los distintos países:

residuo no evaporable;

pH

dureza; dureza total;

ácido carbónico, total y combinado con cal (CO_2)

contenido de iones;

sulfato (SO_4^{-2}); magnesio (Mg^{-2}), cloro (Cl^-),

amonio (NH_4^+); sulfuro (S^2) y nitrato (NO_3^-);

consumo de permanganato potásico (KMnO_4);

olor; coloración

Para los valores encontrados para el pH, ácido carbónico ácido carbónico combinado con cal, sulfatos, magnesio, cloro y amonio, son necesarios para poder determinar las sustancias agresivas indicadas en las tablas de las distintas normas. - La dureza total permite conocer las aguas muy puras causantes de lixiviaciones; el contenido de cloruro nos indica si se -- puede disminuirse la acción de los sulfatos. El permanganato

potásico consumido, así como el olor del agua, nos permite - conocer la cantidad de materia orgánica, así como la presen - cia de elementos, tales como el SH_2 o el SO_2 .

En las aguas residuales de industrias o poblaciones, el análisis químico ha de ser aún más profundo.

1.3.3.2 TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS DE TERRENOS

Cuando la capa freática no aparece, pero existe la posibilidad de que ascienda hasta llegar a las cimentaciones de - las obras, deben tomarse muestras del terreno.

Para poder juzgar el terreno, es preciso investigar:

- 1.- El contenido de materia orgánica existente en el mismo.
- 2.- El contenido que hay en dicho terreno de sales solubles en agua o en ácido clorhídrico.
- 3.- El valor del pH del terreno; si es inferior a 6.5, debe investigarse el grado de acidez.

También debe estudiarse el contenido de iones SO_4^- y Mg^{+2} solubles en agua.

1.3.3.3 EXACTITUD DE LOS DATOS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL AGUA SUBTERRANEA Y EL TERRENO

Partiendo de los análisis químicos del agua subterránea y del terreno, se desarrollan las medidas a adoptar para proteger los cimientos o elementos de concreto que se hallan en terrenos o aguas freáticas. El resultado suele ser el mismo, cualquiera que sea la teoría, norma o especificación, de acuerdo con los cuales se proyecta la protección de las cimentaciones contra la corrosión, ya que aquella se basa en los resultados inmutables de los análisis químicos citados.

Poca atención se ha prestado, sin embargo, a la cuestión de si la agresividad del agua determinada en el laboratorio indica exactamente el grado de ataque que el terreno ejerce, y si este grado permanece invariable.

Los resultados de los análisis del agua, incluso cuando se refieren a zonas pequeñas, pueden presentar grandes diferencias entre sí. Esas diferencias solo pueden explicarse frecuentemente realizando una investigación in situ mediante una exploración completa del emplazamiento de las obras.

Los datos de los análisis de terrenos de diferentes lugares muestran que no se pueden aceptar como determinantes los valores de alto contenido de iones SO_4^{-2} y otros, pues

ocasionan al constructor excesivos trabajos de planificación y gastos injustificados. Si los contenidos de sulfatos de - las muestras de agua, tomadas en diferentes puntos del emplazamiento, presentan fuertes variaciones, sería erróneo tomar el valor máximo como base para proyectar las medidas de seguridad a adoptar.

En estos casos, se debe tener en cuenta - desde el punto de vista de la protección de la cimentación - además, de los distintos contenidos de sulfatos, también la estratificación del terreno y las condiciones hidrológicas del mismo.

Podemos ya determinar que la composición del agua subterránea varía de un día al siguiente y de un punto a otro. - La medida de estas variaciones puede ser esencial, de lo -- cual nos convenceremos al examinar los distintos tipos de - corrosión, basándose en varios ejemplos, y pueden variar mucho los datos que sirvieron de punto de partida para el proyecto.

Por lo tanto, los datos de los ensayos de laboratorio deben ser comprobados antes de su empleo para el proyecto en el sentido del punto de vista de la presente obra, y modificados si fuera preciso.

1.4 INVESTIGACIONES SOBRE LA CORROSION

1.4.1 OBSERVACIONES GENERALES SOBRE LOS ENSAYOS DE LA CORROSION.

Para una solución correcta del problema de la protección principalmente de concreto y acero, no basta con decir que el agua del subsuelo es agresiva o no, sino que hace falta, además, según las posibilidades, determinar el grado de agresividad. A este fin, se encamina el estudio del contenido de iones perjudiciales en el agua, así como el conjunto de condiciones que influyen sobre la corrosión del concreto y acero.

Mediante el conocimiento de los distintos procesos de la corrosión, se puede conocer la acción de los diferentes agentes agresivos ejercen sobre el concreto y acero. De esta forma, se puede, partiendo de algunos síntomas, llegar a conocer el proceso de corrosión que se está desarrollando como consecuencia de la acción de un tipo determinado de agua. Solo así es posible planear las medidas adecuadas para prevenir la corrosión del concreto y el acero.

El plazo en el que una corrosión conduce a la ruina total de una construcción, es decir, la vida útil, puede variar según el tipo de construcción, siendo, en general, de difícil determinación.

Para poder determinar medidas protectoras que han de adoptarse, debemos tener una orientación sobre los resultados de los diferentes ensayos y observaciones, empíricos realizados. Las observaciones efectuadas sobre construcciones existentes en ambientes agresivos están dificultadas por el hecho de que en general, los procesos de corrosión existentes en la naturaleza tienen una marcha, extremadamente lenta. Sin embargo, mediante ensayos de laboratorio únicamente, es difícil llegar a conocer la acción de los distintos factores. Por lo tanto, deben observarse los concretos en los diversos tipos y ambientes de la naturaleza.

Las investigaciones a largo plazo presentan la desventaja de que sólo después de un largo período de observación permiten que se emplee adecuadamente un cemento. Así por ejemplo, en algunos laboratorios, el período de observación y ensayo es de 8 años. Después del transcurso de un plazo tan dilatado -- puede suceder que el cemento utilizado en los ensayos, debido a los progresos de la tecnología de su obtención y elaboración no coincida con el fabricado en la actualidad.

A este respecto, existen en el campo de la investigación de posibilidades. La primera consiste en observar el estado de los elementos del concreto instalados o en las probetas de concreto sometidas a la acción de los agentes de la naturaleza y la segunda consiste en observar en el laboratorio las probe-

tas de mortero o concreto preparadas al objeto, y que han sido depositados en ambientes agresivos de diferentes concentraciones; son suficientes para el segundo método de investigación las condiciones siguientes:

1.- El carácter físico - químico de los procesos de corrosión, que tiene lugar en el laboratorio, no debe diferir en forma esencial de los procesos de corrosión desarrollado en la naturaleza.

2.- La resistencia a los agentes agresivos debe estar basada en todos los criterios que puedan causar la destrucción del concreto.

3.- El plazo de investigación será lo más corto posible y los ensayos de fácil ejecución.

Las investigaciones sobre la corrosión deben ir siempre precedidas de un estudio detallado de investigación realizados durante decenios, demuestra que, debido a métodos de ensayo inadecuado, se ha llegado muchas veces a resultados contradictorios que oscurecían, más que aclaraban, el problema investigado. Con ello, se dificultaba la elección de medidas sencillas y eficaces para impedir la corrosión.

1.4.2. EL DESARROLLO HISTORICO DE LA INVESTIGACION DE LA CORROSION.

Casi inmediatamente de la construcción de las primeras obras, en las que se utilizó el cemento, se comenzaron a observar los daños y desperfectos que sufrían, por lo que la investigación de las causas de dicho ataque químico cuenta con una larga evolución histórica. A continuación indico algunos de los puntos más importantes en dicha evolución:

Las investigaciones de la corrosión comenzó por la observación y estudio de los concretos sometidos a la acción del agua de mar, ya que estos fueron los primeros en los que se pudieron apreciar daños. Así, pues la investigación comenzó en el campo en el que la solución de problemas es más difícil dada la complejidad del proceso de corrosión.

En 1840 investigadores ya se ocupaban de la corrosión en el concreto causada por el agua de mar. El primer informe sobre el deterioro del concreto causado por agentes químicos, que tenían lugar en las instalaciones portuarias de Argel, -- fue emitido por L. J. Vicat y data de 1841. En relación con los concretos en contacto con el agua de mar, J. Smeathon y L. J. Vicat tuvieron que buscar un conglomerante que resistiera el ataque químico producido por ésta causa.

Los daños producidos por la corrosión en el concreto fueron primeramente observados en las estructuras industriales de concreto, tubos de concreto y otros elementos constructivos normalmente enterrados.

Los daños provocados por los sulfatos fueron comprobados por Dolot en 1877. Siendo E. Candlot el primero en describir la etringita, que debido a él recibe el nombre de sal de -- candlot, y que también es conocida como bacilo del cemento.

Klaudy descubrió en 1943 que el efecto del sulfato de sodio (Na_2SO_4), era mucho más destructivo que el de las soluciones de yeso, que inicialmente se consideraron como muy -- agresivas. Para estudiar el proceso de la corrosión por la acción de los sulfatos, O. Kallauner intentó determinar el -- grado de agresividad de las soluciones sulfatadas, disolviendo mortero de cemento pulverizado en soluciones de sulfato de magnesio (MgSO_4), aunque sus esfuerzos no obtuvieron el éxito deseado.

H. Passow y M. Schönberg comenzaron a medir las variaciones de las probetas, a fin de obtener una idea clara del comportamiento de los cementos. En 1917 estos dos investigadores descubrieron la etringita al examinar al microscopio una

muestra de concreto en mal estado.

Poco a poco se iba comprendiendo que el método apropiado para aumentar la resistencia del cemento, frente a la acción agresiva de los sulfatos, estaba en variar su composición, y fué F. Ferrari el primero que pudo observar este aumento de resistencia en el cemento de su fabricación con una gran riqueza de Oxido Férrico (Fe_2O_3), y un módulo de fundentes entre 0.64 y 1.00.

Después de estos experimentos en el cemento Portland, la tendencia general de los técnicos era la de atribuir la destrucción al alto contenido de Oxido de Calcio (CaO), del cemento Portland. Esta hipótesis fue rebatida en 1927 por G. Haegarmann, basándose en la importante observación de que precisamente los cementos portland, con mayor contenido de cal, resistían mejor la acción de las soluciones agresivas que los cementos cuyo contenido de cal era normal. Por lo tanto, el contenido de CaO del cemento no era el factor decisivo en este aspecto.

T. Merriman desarrolló un método de ensayo rápido. Empleaba probetas de $5 \times 10 \times 0.6$ cm., de pasta pura de cemento para la determinación selectiva de la resistencia a los sulfatos. Una vez fabricada la probeta se conservaba durante un -

dia en una atmósfera húmeda y posteriormente en agua durante dos días. Finalmente la probeta se suspendía en el seno de una solución al 10% de sulfato de sodio (Na_2SO_4), cuyo contenido de sulfato se mantenía constante mediante una adición diaria de ácido sulfúrico. Las placas no debían presentar grieta alguna, permaneciendo en perfecto estado a los 28 --- días. Con este procedimiento, se supo que la destrucción te nía lugar mucho más rápidamente en los tipos de cemento que presentaban una mayor cantidad de C_3A y que, para un conte nido de C_3A dado, la destrucción se retrasaba si existía un mayor contenido de C_4AF .

Para resolver el problema de un método de ensayo apropiado, T. C. Powers (1938), realizó numerosas pruebas, recomendando como medida el módulo dinámico de elasticidad.

J. Drypus informó sobre experimentos realizados con cementos de horno alto en soluciones de sulfatos, indicando que casi no había diferencias entre los resultados obtenidos con un cemento Portland siderúrgico que contenía hasta un 30% de escoria de horno alto, y el cemento Portland puro correspondiente. Sólo podía esperarse un cierto grado de resistencia a los agentes agresivos, con un contenido considerable de escorias.

W. Kronsbein obtuvo resultados análogos en sus experimentos con agua del mar. Las diferencias observadas era muy notables, llevándole a la conclusión de que los distintos tipos de cementos siderúrgicos tenían propiedades muy diferentes.

De estas investigaciones se sacaron en 1930 en el Canadá conclusiones prácticas, prescribiéndose el empleo de cementos Portland de escaso contenido de C_3A en aguas y terrenos sulfatados. Que también fue adoptada por Estados Unidos.

El American Concrete Institute (ACI), publicó en 1926 un resumen de los conocimientos adquiridos como consecuencia de los numerosos estudios realizados, así como de las conclusiones que se sacaron de los mismos. Las normas dadas en aquel entonces para la preparación de concretos, lo más resistentes posibles a la acción del agua del mar, conserva su validez, aún teniendo en cuenta los nuevos conocimientos adquiridos -- desde aquella fecha.

También en el Canadá se realizaron investigaciones oficiales sobre la acción de líquidos agresivos sobre el concreto. En su mayor parte, se ocupaban de los efectos en las -- aguas alcalinas.

O. G. Miller y P. W. Manson (1951), fueron los primeros en llevar a cabo en los Estados Unidos investigaciones a largo plazo sobre corrosión. La evaluación de los resultados se hizo según el análisis químico de los cementos, la variación de volumen de las probetas, sus resistencias mecánicas y su aspecto exterior.

La Unión Internacional de Laboratorios de Ensayo de Materiales (RILEM), se ocupó, en su XV congreso en Praga (1961) de la resistencia a los agentes agresivos y de la durabilidad del concreto. Se trataron varios problemas de corrosión de concreto.

Los conglomerados sulforresistentes fueron clasificados según su resistencia en el orden siguiente: ferrocemento, cementos de horno alto, cemento Portland de trass o puzolánico y, finalmente, cemento Portland.

Se señalaron como muy importantes los siguientes temas de investigación: desarrollo de un método rápido y eficaz de ensayo para la investigación de la corrosión y de la erosión producidas por influencias físico - químicas; la completa terminación de los investigaciones sobre las corrosiones causadas por la temperatura y otros agentes destructores; el pro -

blema de la durabilidad, resistencia médica remanente y estabilidad de volumen de concreto de cemento aluminio. Las discusiones posteriores se concentraron sobre la elección del cemento y áridos apropiados para la fabricación de concretos de larga duración, y contra la protección de su superficie contra los agentes agresivos. Se recomendaron tres sistemas para conseguir impermeabilidad al agua, como complemento de la idea de obtener un cemento lo más compacto posible mediante una granulometría depurada en los áridos. Respecto de los impermeabilizantes con bases bituminosas, se consideró como novedad el empleo de estas impermeabilizantes a presión, combinándolos con el tratamiento precio por vacío. Asimismo, se discutieron las pinturas impermeables, con bases de polivinilo, poliéster o fenol.

1.4.3. ENSAYOS DE CORROSION

Los métodos de ensayo de resistencia de los cementos a sulfatos, empleados en el laboratorio de los diversos países, permiten apreciar diferencias en este aspecto entre las distancias clases de cemento, siempre que sean de gran magnitud; si las diferencias son pequeñas, o no se aprecian, o se aprecian únicamente en casos especiales. Los métodos de investigación son suficientes, siempre que no impliquen defectos básicos, para las necesidades prácticas, sobre todo si se tiene

en cuenta que se puede influir más sobre la resistencia a la acción de los sulfatos sobre el concreto mediante su compactación y la adecuada elección de los áridos, que por una modificación en la composición del cemento Portland.

Una rápida información puede obtenerse sólo por el análisis del clinker o mediante el cálculo de la composición potencial.

Teniendo en cuenta que el proceso de la corrosión se desarrolla tanto más rápidamente cuanto mayor oportunidad, se ofrece al agente causal de penetrar a la probeta, las probetas de pasta pura de cemento rara vez se emplean para el estudio de la corrosión. En general, las probetas son fabricadas con morteros o concretos pobres, pues la porosidad de cuerpos geoméricamente semejantes es tanto mayor cuanto menor sea la cantidad de conglomerante empleado.

También tiene su importancia la forma de la probeta. - - Cuanto mayor sea su superficie, para un volumen dado, tanto más se reflejan en los resultados de los ensayos las influencias destructoras. Por lo tanto, las probetas de tracción y los prismas son esencialmente más adecuados para el estudio de la resistencia a los agentes agresivos, que las probetas -

cúbicas empleadas para los ensayos de resistencia a compresión.

Los periodos de observación debieran ser mayores que los usualmente empleados hasta ahora, pues es frecuente que la permanencia de la probeta en el líquido agresivo durante uno o dos años no sea suficiente para poder determinar la iniciación de la corrosión.

Igualmente, tiene gran importancia la edad de la probeta en el momento de someterla a la acción agresiva.

Las probetas deben sufrir un curado conforme a las normas, o ser depositadas en agua. Una edad de 7 días es demasiado reducida para comenzar el ensayo de corrosión.

Por todas estas razones, los resultados de todos los ensayos rápidos, en los que se está obligado a emplear probetas de gran volumen de poros con una dosificación muy escasa o, una relación agua/cemento muy elevada, y una granulometría -- desfavorable, solo tienen un valor relativo del comportamiento del concreto ante un agente agresivo, pudiendo conducir fácilmente a conclusiones erróneas.

En los ensayos de laboratorio, solo puede hacerse uso de probetas de pequeño tamaño. Según investigaciones comparativas, dichas probetas tienen una mayor sensibilidad a los agentes agresivos que las de mayor tamaño. La corrosión del concreto de una construcción tiene lugar, en igualdad de circunstancia, con una lentitud muy superior a la que de los resultados de las probetas podría deducirse. Por esté razón para la determinación de la velocidad de la corrosión en las grandes masas de concreto, sería conveniente disponer de una clave de conversión, es decir, de un factor con el cual se pueda deducir de los resultados de los ensayos de laboratorio el plazo en el que sobrevendría la destrucción del concreto en obra. Para poder obtener dicha clave de conversión, es necesario, - llevar a cabo ensayos sobre probetas de diferentes tamaños, en forma análoga a como se realizó para la determinación de - las resistencias mecánicas a la tracción y a la compresión.

En las probetas de pequeño tamaño, el factor de conversión será mayor que el de probeta de mayores dimensiones y -- compacidad.

Aún cuando la conversión de las velocidades determinadas en el laboratorio nos parezca en el momento actual un procedi miento difícil, es sin embargo, el único método para poder - determinar correctamente y con suficiente garantía la capaci-

dad de agentes agresivos. A este fin deben realizarse ensayos paralelos sobre probetas atacables por la corrosión, de distintos tamaños, y sobre piezas de concreto de diferentes tamaños, en diversos ambientes agresivos, y, principalmente deben reunirse una gran cantidad de observaciones in situ sobre las obras correspondientes. Este método es largo y difícil, pero es el único viable para alcanzar la meta deseada, es decir, poder calcular la velocidad de corrosión del concreto en función, tanto de su composición como el del agua agresiva, partiendo de los resultados de laboratorio. En esta labor de conversión de trabajos de laboratorio a datos de obra real, es preciso tener en cuenta las juntas del concreto.

Constituye una dificultad adicional, más no de pequeña importancia, el hecho de que los resultados de los ensayos de los distintos laboratorios no sean comparables, pues no siempre se dan la totalidad de los datos necesarios para poder realizar la comparación.

Las condiciones que deben observarse para obtener resultados claros y comparables en los ensayos de corrosión, es la inclusión de los datos siguientes en el informe de cada ensayo:

- Tipo y fabricante del cemento empleado; porcentaje de los minerales constituyentes.
- Grado de finura del molido.
- Calidad y cantidad del árido (diámetro máximo y granulometría).
- Dimensiones de las probetas.
- Datos sobre volumen de poros abiertos (permeabilidad a los gases).
- Método de curado.
- Edad de las probetas en el momento de su inmersión en el líquido agresivo (líquido en reposo, inmersión total).
- Duración de la inmersión de la probeta en el líquido agresivo, temperatura, resultados del ensayo, composición mineralógica del árido, forma de la compactación y resultados de la misma.

Solo puede realizarse una valoración correcta cuando se

dispone de todos estos datos.

- De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio, los cementos se pueden clasificar, con respecto a su capacidad de resistencia a los agentes agresivos, en los tres grupos siguientes:

- a) Cementos de alta resistencia a la corrosión;
- b) Cementos de mediana resistencia a la corrosión,
- c) Cemento de empleo no apropiado en ambiente agresivos.

De este modo, sería posible aplicar a los grandes elementos, de construcción las conclusiones obtenidas a partir de probetas de dimensión reducidas. Sin embargo, solo las probetas de concreto, y no las de mortero, son las que nos suministran conclusiones, en forma directa. El plazo de permanencia de las probetas de concreto bajo la acción de los agentes agresivos debe ser, como mínimo, de un año, en cambio, la duración de los ensayos en largo plazo en la naturaleza debe ser de 10 años por lo menos.

1.4.4 DETERMINACION DEL GRADO DE CORROSION.

El grado de avance de la corrosión puede apreciarse mediante una inspección ocular, o calcularse por distintos

procedimientos, entre los que pueden citarse los siguientes:

a) Mediante un examen de los desperfectos sufridos por la probeta. Un examen ocular de la probeta puede permitir obtener un juicio del grado de corrosión y de su carácter (lixiviación, degradación superficial, melladoras de esquinas y cantos, expansiones, desmonoramiento).

Sin embargo, este método es completamente subjetivo; sin embargo, los ensayos a largo plazo realizados en Estados Unidos demuestran una notable coincidencia entre el valor obtenido, como medio de las calificaciones de varios observadores independientes, y el deducido por estudio de las resistencias mecánicas y módulo de elasticidad.

b) Investigación de los cambios químicos de la probeta. Investigando la variación de composición química en las distintas capas de la probeta, se puede determinar la penetración, de las disoluciones y su correspondiente velocidad.

c) Midiendo la variación de las Resistencias Mecánicas. La capacidad de resistencia a los agentes agresivos puede también juzgarse por la determinación de las resistencias mecánicas de la probeta. La reducción de dichas resistencias nos indica el progreso de la corrosión.

Puede establecerse una relación positiva entre las propiedades resistentes y los fenómenos de la corrosión, determinando la resistencia a compresión o a flexocompresión del concreto. Mediante la representación gráfica de los resultados de los ensayos, este método de investigación es especialmente - - apropiado para esclarecer las menores particularidades del proceso, la evolución de las nuevas combinaciones químicas que se constituyen y sus correspondientes efectos.

El inconveniente que presenta este método es que hace necesario un gran número de probetas y que, al progresar la corrosión, los ensayos de la resistencia a compresión se hacen cada vez menos exactos. Debe tenerse en cuenta, además, que la resistencia mecánica de una probeta depositada en una solución agresiva, debido a la incipiente cristalización de las sales agresivas que rellenan los poros, pueden ser al principio, y durante un cierto período, superior a la probeta de control depositada en agua pura. Más tarde, la resistencia mecánica - solo pueden emplearse, en estos casos, para la caracterización del grado de corrosión cuando la probeta ha superado el período crítico de estos esfuerzos que conducen a resultados erróneos.

d) Midiendo las variaciones de longitud o de volumen. En muchos casos, el control de las dimensiones, es decir, de la -

variación de longitud de las aristas, permite conocer la existencia de un proceso de corrosión, o del progreso de ésta, de una forma más rápida y segura que por medio de la variación de las resistencias mecánicas. Esta ha sido la causa de la amplia difusión que éste método ha alcanzado. Por eso notables investigadores recomiendan, por ello, el empleo de la variación del volumen del concreto como medida de la resistencia a los agentes agresivos, ya que el aumento del volumen de la probeta es una de las principales consecuencias de la corrosión. Para la investigación se pueden emplear los aparatos de Bauschinger, Guttman, Amsler y Kauffman.

D. H. Miller indica que, para un aumento de longitud del 0.25%, la resistencia mecánica de un cilindro de mortero de 5 x 10 cm., desciende en un 50 a 70%.

Sin embargo, los nuevos ensayos de control y comparación muestran que los resultados no son susceptibles de una única interpretación, y que de la variación lineal observada en las dimensiones no siempre se puede deducir la resistencia a los agentes agresivos de los cementos o concretos. Tampoco la medición de la variación de volumen nos da una imagen clara de la acción de los distintos medios agresivos. Pero los valores obtenidos pueden servir como puntos de partida generales para la determinación del probable comportamiento del cemento.

e) Valoración basándose en la variación del módulo de elasticidad. A fin de reducir el número de probetas en los ensayos de la corrosión, se ha seguido también el sistema de ensayos no destructivos. De esta forma, es posible vigilar y observar los progresos de la corrosión en una probeta hasta que se llega a su total destrucción, no solo mediante el examen de la variación de su aspecto exterior, sino también caracterizándola mediante una medida exacta. Uno de estos métodos consiste en la determinación del módulo de elasticidad estático o dinámico.

La determinación del módulo de elasticidad ha sido empleada para el ensayo de la resistencia a los sulfatos. F. Hornibrook (1939 - 1941), observó en probetas, cuyas longitudes después de permanecer durante nueve semanas en una solución sulfatada presentaban aumentos inferiores al 0.2%, unos módulos de elasticidad E superiores a un determinado valor límite. Si los aumentos de dimensiones eran superiores al 0.2% los valores de los módulos elásticos correspondientes eran inferiores al valor límite citado. L. A. Dahl, informando sobre ensayos de resistencia a la acción de los sulfatos en un conjunto de ensayos a largo plazo efectuados en América, indica que el criterio basado en la determinación del módulo elástico coincide en sus resultados con la calificación obtenida de acuerdo con el aspecto exterior y con las resistencias me-

cánicas.

El módulo de elasticidad estático se determina midiendo las variaciones de la longitud y de la flecha, y el dinámico con la medida de las vibraciones transversales o con la variación de frecuencia de las vibraciones longitudinales sónicas.

En el primer caso, el módulo de elasticidad se calcula partiendo de la flecha de la viga simplemente apoyada en sus extremos. La flecha de la viga se calcula en función de la carga según la fórmula:

$$D = \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{a^3 b} \cdot \frac{P}{E} = \frac{P}{E}$$

en la que D = flecha en cm.

a = canto de la viga en cm.

b = ancho de la viga en cm.

P = carga en Kg.

E = módulo elástico

Aunque el método más moderno y de mejor resultado para la determinación del módulo de elasticidad dinámico es el acústico. Según la valorización de los resultados, es el más apropiado para conocer el comportamiento de un concreto

respecto de un medio agresivo, tanto en el primer momento como durante la marcha de la corrosión. Para ello, se utiliza la velocidad de propagación del sonido en el concreto. La velocidad del sonido en los cuerpos sólidos depende del valor del módulo de elasticidad dinámico E_d y del valor de la densidad Q . Como éste último valor es de fácil determinación, es posible calcular el módulo de elasticidad del concreto partiendo de la medición de la velocidad del sonido.

El módulo de elasticidad de la probeta viene dado por la fórmula:

$$E_d = 4f^2 L^2 Q$$

en la que: f = frecuencia en el pico de resonancia.
 L = longitud de la probeta.
 Q = densidad del concreto.

El módulo dinámico suministra una imagen clara de las variaciones que tienen lugar en el concreto afectado o atacado por fluidos agresivos, esta materia ha sido estudiada detenidamente por G. Dawance y J. Chefdeville.

La diferencia entre los valores de los módulos para una misma resistencia mecánica, parece estar en relación pasta de

cemento: áridos. Las reducciones de ésta relación se deben al empleo de grandes cantidades de áridos en relación con una misma cantidad de pasta cemento. Los valores del módulo dinámico de la pasta de cemento están, en general entre 175750 y 244880 Kg/Cm², mientras que los valores de los módulos dinámicos de los áridos normalmente utilizados en este tipo de concretos son, aproximadamente del orden de los 422000 Kg/Cm².

f) Ensayos para la determinación del grado de corrosión por medición del coeficiente de difusión. El disponer de cantidades suficientes de isótopos radioactivos y el desarrollo de la técnica de trazadores de éstos, han abierto nuevos caminos en el campo de la investigación de la resistencia del concreto a los agentes agresivos.

T. Thorvaldson dió a conocer en 1961 en la reunión internacional de Nueva York una nueva técnica de investigación basada en la variación del coeficiente de difusión del ión SO_4 , variación que puede ser expresada mediante valores numéricos. Este coeficiente se determina empleando el isótopo $^{35}SO_4$, como trazados.

El coeficiente de difusión suministra, valiosas indicaciones de la investigación de la corrosión, aún cuando depende de la dosificación de cemento. Los morteros 1:2 y los 1:3

dan coeficientes de difusión cuyo cociente es aproximadamente 2.5.

Los coeficientes de difusión del SO_4^{-2} que se determinan para los tipos de cemento I y V (cementos sulforresistentes), son del mismo orden de magnitud. La diferencia entre las resistencias de dichos cementos a los sulfatos no debe, por lo tanto, atribuirse a la diferencia entre las velocidades de difusión de los sulfatos en la pasta de cemento fraguada en los morteros.

g) Determinación del grado de corrosión mediante métodos numéricos. Por medio del cálculo se puede obtener el valor aproximado de la resistencia a los agentes agresivos de un cemento recién obtenido o conocido através de los datos publicados por la literatura técnica.

La resistencia a los sulfatos puede apreciarse, por ejemplo, basándose en el contenido de C_3A . Sin embargo, una evaluación de la resistencia a los sulfatos, obtenidos de ésta forma, es solo firme cuando:

- 1.- Los minerales del cemento que intervienen en el cálculo están estudiados cualitativamente y cuantitativamente.

2.- Los componentes del cemento C_3A (otros etc.), resultantes del cálculo son realmente apropiados para la identificación de la resistencia del cemento estudiado.

Ambos criterios no pueden ser satisfactorios simultáneamente, si no en parte. Por ello, la predicción de la resistencia del cemento no puede ser sino aproximada.

h) Comprobación de la resistencia del cemento a la corrosión mediante ensayos rápidos al microscopio. Según este método puede hacerse visibles los fenómenos microscópicos de la corrosión. El método ha sido ensayado en el estudio de pastas de cemento puras sometidas a la acción de algunos agentes agresivos, y puede ser usado para examinar la resistencia -- frente a ataques usuales a concretos y morteros empleados en obras.

i) Investigación de los fenómenos de la corrosión en --- prismas de mortero empleando la derivatografía. Para el esclarecimiento teórico de los mecanismos de la corrosión de la parte del cemento endurecida, es necesario averiguar las variaciones de la composición mineralógica. La derivatografía permite una determinación cuantitativa de ciertos minerales del clinker en el mortero y sus cambios relativos debidos a los procesos de la corrosión. De aquí se puede sacar conclu-

siones sobre la marcha de la corrosión.

1.4.5 LA VELOCIDAD DE LA CORROSION.

Para la valorización de éstas relaciones es importante - determinar también numéricamente la velocidad de la corrosión en sus diferentes grados. De acuerdo con varios autores, la evolución de las resistencias mecánicas del concreto es normal cuando éste se encuentra sumergido en agua dulce. En forma análoga se podría considerar que las diferencias de resistencias mecánicas expresadas como porcentajes podrían ser representadas en función del plazo de permanencia en las soluciones agresivas.

CAPITULO II PROTECCION DE LOS PILOTES

2.1 PILOTES DE MADERA

Los pilotes de madera se han venido utilizando desde los primeros tiempos en la historia de la construcción y de la -- ingeniería civil. Actualmente se emplean aún con gran profusión en América del Norte, China, y Escandinavia, en forma de troncos enteros de árboles desbastados e hincados por la base. Si se emplean en obras de cimentación, su ligereza proporciona a la cimentación, una flotación considerable. Su flexibilidad, ligereza y resistencia a las sacudidas hacen que los pilotes de madera sean muy adecuados en trabajos temporales, y en Gran Bretaña su utilización se reduce a este fin únicamente.

Si los pilotes de madera se mantienen constantemente húmedos o constantemente secos, es decir, si se hincan completamente por debajo o completamente por encima de la capa freática, pueden tener una vida útil muy larga. Sin embargo, es probable que se pudran en una zona en donde la capa freática tiene fluctuaciones. Además en el caso de estructuras marítimas o fluviales, las porciones sumergidas de los pilotes son muy susceptibles al ataque de organismos marinos u horadadores marinos, los pilotes situados sobre la capa freática - -

pueden también ser atacados por hongos y hormigas u otros insectos destructores de la madera. El cuidado de la selección y tratamiento de la madera pueden impedir o reducir al mínimo ese ataque. Algunos tipos de madera adecuados para situaciones húmedas y secas son el pino del Norte, el pino Kaun, el alerce, el roble, el cedro del Líbano y Bermuda, el carpe u hojaranzo, el tejo, la teca, el bibirú y el eucalipto indio. En condiciones de completa humedad resultan adecuados el aliso, la haya, el olmo, el pino del Norte, el alerce, el roble y la teca, y en condiciones de sequedad absoluta pueden emplearse el abeto de Noruega, el pino americano rojo y amarillo, el fresno y el nogal.

Aún cuando éstas maderas pueden encontrarse en la mayoría de los lugares del mundo, cada vez es más difícil obtener pilotes de madera que sean largos y derechos. Los pilotes de pino se encuentran con razonable facilidad en longitudes hasta de 60 ft. (18 m.), mientras que los pilotes de abeto Douglas, pueden encontrarse en longitudes mayores de 100 ft. (30 m.), en el pacífico Northwest.

Entre las ventajas de los pilotes de madera están las siguientes:

1.- Las longitudes y tamaños más populares pueden encon -

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

trarse con más prontitud.

- 2.- Son económicos en costas.
- 3.- Pueden manejarse fácilmente con pocas probabilidades de que se rompan.
- 4.- Pueden sacarse fácilmente en el caso de que sean necesario quitarlos.

Entre las desventajas de los pilotes de madera están las siguientes:

- 1° Puede ser difícil obtener pilotes lo suficientemente largos y derechos para algunas obras.
- 2° Puede ser difícil o imposible hincarlos en algunas formaciones duras.
- 3° Es difícil unirlos para incrementar su longitud.
- 4° A pesar de que son satisfactorios cuando se utilizan como pilotes de fricción, no son adecuados para usarse como pilotes de apoyo por la punta para resistir cargas pesadas.

5° La vida útil puede ser corta a menos que se trate con algún preservador.

Los pilotes de madera serán más fuertes si los árboles se cortan en el invierno, cuando la cantidad de moho es menor en la madera, las cargas que usualmente se imponen a los pilotes de madera es de alrededor de 10 a 25 toneladas por pilote.

Para asegurarse contra la putrefacción e infección de la madera, deben tomarse precauciones desde el momento en que se corta la madera. En los bosques son muy frecuentes los hongos que provocan la putrefacción e infección de la madera muerta, y pueden también aparecer en las pilas de serrín y en los restos de madera en los talleres madereros. Por lo tanto, una vez cortada la madera debe alejarse de los bosques lo más rápido posible, siendo apilada en las madererías sobre terreno elevado y con buen drenaje en el que se ha eliminado toda la capa vegetal. El terreno bajo las pilas y a su alrededor debe estar des provisto de hierbas. Como variante, si la madera se va a utili zar en terreno permanentemente anegados de agua, se puede almacenar completamente sumergida en agua.

La madera debe apilarse fuera del terreno y ha de colocarse de modo que el aire pueda circular libremente alrededor de todas las vigas y tablonés. Deberá permanecer en estas pilas -

hasta que el contenido de humedad de las capas exteriores sea inferior al 30%, momento en el que se encuentra lista para ser tratada con creosota o cualquier otro preservativo.

2.1.1 METODOS DE PROTECCION

El método más eficaz para proteger la madera de los ci-
mientos contra la putrefacción, es la impregnación de creosota a presión que además proporciona un alto grado de protección contra las termitas y los horadores marinos. La creosota se prefiere más para trabajos de cimentación que cualquier otro preservativo tal como los solubles en agua y los disolventes. Las maderas blandas pueden atravesarse por completo en el tratamiento a presión, pero las maderas duras tales como el pino Douglas, sólo pueden impregnarse adecuadamente practicando incisiones y sometiéndoles a presiones sometidas por largos periodos. Incluso con este tratamiento, el co
razón no puede atravesarse por completo. En las obras de piloteaje la absorción y penetración de la creosota se mejoran -- mucho utilizando pilotes redondos en los que se conserva la albura externa. Richardson afirma que la albura absorbe bien la creosota, y con los pinos escoceses o la madera roja del Báltico se obtiene fácilmente una capa exterior de madera --- creosotada de hasta 7.5 cm. de grosor, lo cual protege los pi
lotes durante un largo periodo de tiempo. Señala el inconveniente

niente de utilizar madera cuadrada para pilotes (una práctica británica corriente), ya que en la mayor parte de la altura se elimina exponiendo así el corazón, que en la práctica rara vez recibe un tratamiento de creosota adecuado. Como no se puede conseguir una impregnación completa de las maderas - duras, todos los agujeros para tornillos e incisiones hechas con ganchos, garfios o eslingas, deberán creosotarse de nuevo. La creosota debe verterse en los agujeros de los tornillos -- por medio de un embudo, o mejor aún, puede dárseles un tratamiento a presión con equipos especiales. Debe prestarse especial atención al grosor del extremo.

2.1.2 PROTECCION MEDIANTE CONCRETO

Debido a la posibilidad de una severa putrefacción de -- los pilotes de madera en la zona de una capa freática variable, el tratamiento de creosota es posible que no resulte eficaz en dicha zona a lo largo de toda la vida de la estructura. Si la capa freática es relativamente superficial, los pilotes pueden cortarse al nivel más bajo del agua, pudiéndose situar el cabezal a ese nivel. Si el nivel inferior del agua es demasiado profundo para que esto resulte económico, es aconsejable utilizar pilotes compuestos en los que la parte permanentemente sumergida sea de madera y la porción superior sea de concreto.

Los pilotes compuestos se utilizan en terrenos cuyas condiciones hacen inadecuado o poco económico el empleo de pilotes convencionales. Estos pueden consistir en una combinación de pilotes perforados e hincados, o en pilotes hincados formados por dos clases de material. En nuestro caso el de concreto y madera, combina el bajo precio del pilote de madera con la durabilidad del pilote de concreto. Por ello, el pilote termina bajo el nivel de la capa freática, y la parte superior se construye de concreto. Un modo de hacer esto consiste en hincar un tubo de acero hasta quedar por debajo de la capa freática. Se limpia el tubo, se introduce un pilote de madera en su interior y se hinca hasta el nivel requerido. Entonces se rellena con concreto la parte superior al tiempo que se procede a la recuperación del tubo. (Ver Figura No. 11)

En Escandinavia es muy corriente hincar pilotes compuestos de concreto y madera formando una sola Unidad. En el emplazamiento del muelle Sharkuik 011, de Gotemburgo, se hincaron pilotes de este tipo que tenían una sección cuadrada de concreto armado de 45 cm. de lado y 17.4 m. de longitud, y unas secciones de madera de 4.8 m. a 25.8 m. de longitud. Primeramente, se hincaron las secciones de madera hasta que la cabeza se encontraba un metro o dos por encima del terreno. A continuación se colocó en las guías la sección de concreto y fue bajándose hasta que el manguito de unión en el fondo de

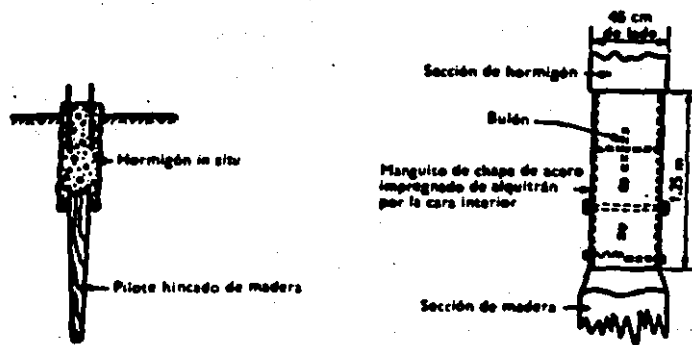


Figura No. 11

la sección fué presionando sobre la cabeza del pilote de madera. Los pilotes de madera más cortos no podían hincarse en el terreno lo suficiente como para permanecer por sí solos en posición mientras se efectuaba la unión con la sección de concreto. Para estos casos se idearon una tubería endida en forma de jaula, que mantenían en posición al pilote de madera -- mientras se colocaba en las guías el pilote de concreto. La sección de madera se ponía entonces en contacto con el manguito de unión elevando la jaula desde el torno del pilotaje. -- Finalmente, se abría y se retiraba la jaula.

2.2 ACCION DE LOS HORADADORES MARINOS

La horadación de los moluscos y crustáceos que habitan - en aguas salinas o salubres es la causa del daño más severo a los pilotes y empalizadas de las obras fluviales y marinas. En un artículo de Chellis se dá una relación ilustrada de las especies de estos organismos con fotografías de sus devastaciones, así como una serie de métodos de protección. Las especies que enumera Chellis son las siguientes:

Moluscos horadadores

Teredo (Tíñuela)

Bankia

Xylophaga dorsalis

Lyrodus
Pholadidae
Martesia
Hiata
Crústaceos horadadores
Limnoria (piojo de mar)
Chelura
Sphaeromoa

Los moluscos horadadores penetran en agujeros diminutos cuando son jóvenes y crecen hasta un tamaño de dos centímetros y medio de diámetro y noventa a 120 centímetros de longitud, destruyendo la madera a medida que van creciendo. -- Los crustáceos trabajan principalmente en la superficie y -- forman redes de ramas con agujeros intercalados. Los horadadores se encuentran en todos los océanos del mundo. Algunos de sus emplazamientos son mencionados por Chellis. La salinidad, la temperatura, corrientes, profundidad del agua, contaminación, valor del pH, oxígeno disuelto y el sulfuro de hidrógeno, influyen en la presencia o ausencia de horadadores. Generalmente el agua salina o salobre con concentraciones de más de un 15 por 1000 (el agua de mar suele tener -- una salinidad de 30 a 35 por 1000), es esencial para su supervivencia, aunque el Sphaeroma se encuentra en aguas tropicales casi dulces en América del Sur, India, Ceilán, Nueva

Zelanda y Australia.

La acción destructora de los horadadores marinos puede ser extremadamente rápida. Algunos muelles de madera han sido destruidos al cabo de varios meses de estar expuestos a su acción, por lo que es preciso adoptar algún tipo de protección en todos los casos en que los pilotes de madera se hincan en agua saladas o salobres. Tal protección debe omitirse únicamente si existe una firme evidencia de que no hay horadadores en un lugar particular. La investigación debe cubrir un examen de todas las estructuras de madera así como de las maderas a la deriva, habiéndose de seguir el consejo de un biólogo marino.

2.2.1 PROTECCION CONTRA LOS HORADADORES MARINOS

La mejor protección es utilizar una madera que resista el ataque de los horadadores. Chellis cita una serie de maderas inmunes entre las que figuran el bibirú en Europa y América, el Billian de los mares de la China, la trementina de Nueva Gales del Sur, el titree (árbol asiático y polinesio), el ciprés negro de Queensland, el árbol gumífero moteado, de Tasmania, y la teca de la India. El jarra, el gumífero azul y el bibirú muestran más inmunidad en las aguas británicas frías que en las templadas.

La creosota es tóxica para los horadores, y por medio de un tratamiento completo a base de creosota aumenta generalmente la vida media en 15 a 30 años y a veces más. Sin embargo, la eficacia de tal tratamiento depende de una continuidad absoluta sobre la capa externa de la madera. Si la capa tratadora es perforada por ganchos de elevación o por cortes de sierra o agujeros de tornillos, es posible que entre el teredo. Aún cuando tales cortes o abrasiones sean -- tratados antes de hincar finalmente los pilotes, existe aún la posibilidad de daño por parte de objetos flotantes o por la acción erosiva de los cantos arrastrados por el agua.

Ciertas maderas no pueden ser impregnadas con creosota y en tales casos pueden protegerse con una camisa de concreto. Chellis describe varios métodos de recubrimiento entre los que figuran la puesta en obra de concreto en el interior de encofrados de acero móviles, y las camisas de concreto premoldeado. También se menciona el uso de gunita (mortero de cemento - arena extendido sobre la madera). En cualquier tipo de recubrimiento a base de concreto consiste en colocar una mezcla densa y de bastante riqueza que no se raje o agriete, tanto durante el manejo e hincas (si es que el recubrimiento se aplica antes de hincar los pilotes), -- como en la vida posterior de la estructura. El concreto debe ser también resistente a la alteración bajo la acción del mar.

Chellis dice que el recubrimiento metálico no suele usarse mucho debido a la imposibilidad de encontrar un metal resistente a la corrosión a un precio económico, y a las dificultades en las juntas y conexiones de los tirantes.

2.3 PILOTES DE ACERO

La corrosión del metal, tanto si el material está expuesto al aire, como si está sumergido en agua, o enterrado en el suelo, es un fenómeno esencialmente electroquímico. En la superficie del metal se forman unos núcleos o celdillas de corrosión. Todo o parte del elemento atacado actúa de ánodo -- respecto al terreno o a una parte adyacente de la estructura y los hidrogeniones que se escapan se combinan con el oxígeno y el metal dando lugar a los productos de la corrosión. Tanto el aire como el agua son indispensables para que se produzca la corrosión. La pérdida general de acero estructural desnudo en climas secos e incontaminados es prácticamente nula, -- pero puede llegar a ser de casi un número por año en condiciones húmedas y salinas en playas tropicales con resaca. La corrosión es un factor importante en la corrosión atmosférica -- cuya velocidad es notablemente acelerada por la presencia de polvos, ácidos (derivados del humo), y cloruro sódico (de la espuma del mar). La velocidad de corrosión en los suelos es función de su conductividad eléctrica, aunque otros facto-

res, incluyendo la presencia de bacterias reductoras y terreno renovado con clinkes o cenizas, pueden acelerar bastante la corrosión.

La agresión relativa del agua depende de la salinidad, contaminación si es que existe, temperatura y contenido de oxígeno. Fancutt y Hudson señalan las siguientes velocidades de corrosión del acero desnudo:

En el suelo: 0.0075 a 0.075 mm. por año (pruebas efectuadas por la Oficina Nacional de Normas de América; en los suelos británicos se encuentra en la mitad inferior de esas variaciones).

En el agua de mar normal: 0.0125 a 0.125 mm. por año.

En atmósferas industriales en Gran Bretaña: 0.0075 a 0.125 mm. por año.

Es corriente aplicar una capa protectora a los pilotes hincados en el suelo aunque debe tenerse en cuenta que esto proporciona tan sólo una protección parcial, ya que el recubrimiento puede ser desgarrado por piedras u otras obstrucciones en el suelo. Sin embargo, si se toma la velocidad de 0.075 mm. por año, un pilote de acero con espesor de 1.075 cm.

en el alma tendrá una vida de más de setenta años antes de perder la mitad de su espesor (aunque es probable que se produzcan algunos desgastes locales más profundos). Como los esfuerzos en el área de la sección transversal del acero son generalmente bajos; no es probable que se produzca el colapso -- del pilote por sobrecarga. Sin embargo, como ya he dicho, existen ciertos factores, tales como la presencia de bacterias, que pueden acelerar bastante la corrosión y en estos casos debe considerarse la adopción de protección especial como puede ser el recubrimiento de pilotes en forma de vigas en H, el relleno de los pilotes huecos con concretos, o la protección catódica.

Para los pilotes que sobresalgan del suelo, un buen tratamiento de pintura proporcionará una protección adecuada en la parte expuesta, suponiendo que la pintura puede renovarse de vez en cuando. Sin embargo, el mantenimiento de este recubrimiento de pintura resulta imposible bajo el agua de los muelles y precisamente en las partes sumergidas de los pilotes es donde más se desgasta el recubrimiento de pintura debido a la acción de las olas, lapas y objetos flotantes. Por consiguiente, es necesaria una protección especial, que suele ser una protección catódica, para prolongar la vida de los pilotes.

2.3.1 PROTECCION MEDIANTE TRATAMIENTO DE PINTURA

Lo primero que hay que hacer en el tratamiento con la pintura es limpiar a fondo los pilotes, eliminando todo el polvo, suciedad y escamas que traiga de fábrica. El método de limpieza más efectivo consiste en emplear un abrasivo como, por ejemplo, el de perdigones. Después de limpiar el metal completa - mente, debe eliminarse todo el polvo y arenilla por medio de - vacío o chorro de aire. Mientras que el pilote permanece aún seco aplicársele una primera capa con la materia apropiada pá - ra el guarnecido final y a continuación se ha de aplicar la capa o capas de el recubrimiento o tratamientos especiales anti - corrosivos.

Por " recubrimiento o tratamientos especiales anticorrosivos ", me refiero a todas las pinturas y productos que se -- usan para prevenir la corrosión de recipientes, tuberías, conexiones y estructuras metálicas por aislamiento del medio.

Los recubrimientos anticorrosivos se denominan en general primarios, acabados y especiales. Llevan en particular el nombre específico relativo a su composición como: minio alquicá - lico, zinc inorgánico, etc. En otros casos se denominan de - acuerdo a su uso, como: antivegetativo, esmalte para tambores etc.

Una de las exposiciones donde más común se usa el acero - es en las zonas de mareas y oleajes, donde las condiciones - - existentes en la zona de variación de mareas y oleajes en es - tructura de muelles, diques, plataformas marinas de perfora - ción e instalaciones con altas condensaciones.

A continuación nombro algunos recubrimientos anticorrosi vos de acuerdo a su composición; sus características y sus -- usos:

- **Primario de Zinc 100% inorgánico tipo postcurado, -**

Características: Es sumamente duro y resistente a la -- abrasión a los ambientes húmedos y salino, marino, a los des - tilados tratados y las aromáticas, con excepción de hidrocar - buros clorados en presencia de humedad.

Usos: Se usará sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas con chorro de abrasivo a metal blanco; se pue de usar solo sin acabado y como primario de un sistema, depen diendo de las condiciones ambientales. Si se emplea solo no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas sin comple mentarlo a protección catódica.

- **Primario de Zinc 100% inorgánico tipo autocurante, -**

base acuosa.

Características: Es sumamente duro y resistente a la ab ra s i ó n, con excelente resistencia a la mayoría de los solventes - con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad a los ambientes húmedo, salino y marino. Se considera que la vida de este recubrimiento es menor que la del poscurado, sin embargo, se recomienda para inmersión de soluciones acuosas sin complementarlo con protección catódica.

Usos: Este primario deberá aplicarse sobre superficies me t á l i c as de hierro y acero limpiadas previamente con chorro de abrasivo a metal blanco. Se usa como primario de un sistema dependiendo de las condiciones ambientales. Si emplea solo, no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas sin complementar con protección catódica.

- Primario de Zinc 100% inorgánico tipo autocurante base solvente.

Características: Es sumamente duro a la abrasión, con excelente resistencia a la mayoría de los solventes, con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad, a los ambientes húmedo, salino y marino. Se considera que la vida de este recubrimiento es menor que la del poscurado, sin embargo,

se recomienda para instalaciones expuestas a un alto porcentaje de humedad, a salpicaduras y brisa marina al aplicarse. Se ca rápidamente arriba de 0°C y entre 80 y 99% de humedad relativa. A temperaturas moderadas es insoluble en agua a los 20 minutos de aplicado.

Usos: Este primario deberá aplicarse sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas previamente con chorro de abrasivo a metal blanco. Se usa como primario de un sistema, dependiendo de las condiciones ambientales. Si se emplea solo, no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas, sin complementario con protección catódica. Para evitar la g~~g~~lación al momento de efectuar la mezcla, deberá evitarse que los componentes estén expuestos al sol o a cualquier otro tipo de fuente de calor.

- Primario de Alquitrán de Hulla - Epóxico Catalizado; tipo A y B.

Características: Tiene un alto contenido de sólidos por volumen y dejará una película dura resistencia al agua salada agua cruda, petróleo crudo y combustible para inmersión continua a una temperatura máxima de 70°C.

Usos: El producto está formulado para aplicarse sobre superficies metálicas previa limpieza con chorro de abrasivo - -

acabado tipo comercial. Se preferirá el tipo B cuando se requiera mayor flexibilidad.

- **Primario Vinil Epóxico Modificado**

Características: Tiene una excepcional adherencia, una gran compatibilidad con diversos recubrimientos, excelente capacidad para detener la corrosión bajo películas; resistente al ambiente húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre e inmersión en agua potable.

Usos: Se usará sobre superficies metálicas de hierro y acero, limpiadas con chorro de abrasivo con acabado tipo comercial. Sin los pigmentos inhibidores se usa como capa de liga o enlace sobre primarios inorgánicos de zinc, que se encuentran completamente curados.

- **Acabado Epóxico Catalizado**

Características: Proporciona un acabado brillante, duro y con una resistencia excelente a las condiciones de exposición en ambiente húmedo y salino, húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre y ambiente marino.

Usos: Este producto se usará sobre los siguientes prima-

rios: inorgánico de zinc postcurado, autocurante y epóxico catalizado, respectivamente.

- Acabado Vinílico de Altos Sólidos

Características: Forma una película mate, dura, de alta resistencia mecánica y con una excelente resistencia a las condiciones de exposición en ambiente húmedo y salino, húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre, ambiente marino y exposición al agua potable.

Usos: Este producto se usará sobre los siguientes primarios: inorgánico de zinc postcurado, autocurante y vinil epóxico modificados respectivamente.

- Acabado Vinil - Acrílico

Características: Es semibrillante, con excelente retención del color al intemperismo en ambientes húmedos con o sin salinidad, inmersión continua en agua salada y a salpicaduras de ácido y álcalis.

No resiste solventes aromáticos, tales como benceno, tolueno y xileno.

Usos: Deberá usarse sobre inorgánico de zinc poscurado y autocurante y enlace vinil epóxico modificado, respectivamente. Se usará también en instalaciones marinas.

- **Recubrimiento Antivegetativo**

Características: Existen 2 tipos " A " y " B ". Tipo " A ", proporciona un acabado duro, de textura fina, con excelentes propiedades tóxicas que impiden el desarrollo de organismos en superficies en inmersión continua en agua. Tipo " B " proporciona un acabado terso, con excelentes propiedades tóxicas y de adhesión sobre cualquier tipo de superficie. Impide el desarrollo de organismos, durante periodos de 18 meses en superficies en inmersión continua en agua.

Usos: Tipo " A ". Se aplicará sobre un sistema de una mano de primario inorgánico de zinc poscurado, dos manos de enlace vinil epóxico modificado, o dos manos de alquitrán de hulla epóxico poliamídico. Se aplicará sobre un sistema anti corrosivo similar al anterior.

- **Recubrimiento Epóxico para Zonas de Marea y Oleajes**

Características: Proporciona un recubrimiento de espesores gruesos, con excelente resistencia a los derivados bási-

cos del petróleo, a la inmersión continua en agua dulce y agua salada y al golpe constante de ésta en zonas de mareas y oleajes. Puede usarse también en superficies con condensaciones - constantes.

Usos: Se aplicará sobre superficies metálicas de hierro y acero previa limpieza de preferencia con chorro de abrasivo acabado tipo comercial, en caso contrario, podrá efectuarse la limpieza con herramientas manuales. Se puede aplicar bajo el agua.

También deben adoptarse muchas precauciones para evitar - daños en recubrimientos. Los métodos utilizados para evitar los posibles daños a los pilotes de acero recién pintados para el muelle de la compañía de Petróleo de Kuwait en Mina - Al - Ahmad: consistían en el atornillado de unas mordazas circulares alrededor del pilote para que actuarán en ruedas sobre -- una línea de carriles desde el recinto en que habían sido pin- tados hasta la zona de secado, y en unas eslingas de cinta pa- ra izar los pilotes ya acabados hasta las barcasas y transpor- tarlos al lugar de emplazamiento.

2.3.2 PROTECCION CATODICA

El principio de la protección catódica es el empleo del -

potencial eléctrico característico que poseen todos los metales. El comportamiento de dos metales cualesquiera en un electrólito (por ejemplo el suelo o el agua), está regido por sus potenciales eléctricos relativos. Así por ejemplo, el zinc, que es uno de los más elevados, en la serie de potenciales, actuará como ánodo frente al hierro o al acero. Estos métodos deberán protegerse a expensas del zinc que se encuentra en disolución. De éste modo toda una estructura puede protegerse conectándola a unos ánodos de intervalos adecuados mediante un cable aislado. La corriente escape del suelo o de la disolución. Con el tiempo, esta acción provoca la polarización de la superficie de la estructura, lo que impide la oxidación y proporciona de este modo un beneficio adicional.

La protección catódica puede aplicarse utilizando ánodos que se autodestruyen o un sistema abastecido de energía. Los primeros consisten en grandes masas de metal que se corroen en el curso de su acción protectora y han de ser reemplazados de vez en cuando. Deben ocupar en la tabla de potenciales un lugar más alto que la estructura que debe protegerse. Para las estructuras de acero suelen usarse ánodos de magnesio.

En los sistemas abastecidos de energía, los ánodos tienen forma de grandes piezas de chatarra o terrones de carbón. La corriente continua requerida para el flujo desde el ánodo

al cátodo es suministrada desde la red a través de un transformador/rectificador o directamente desde un generador de corriente continua.

La velocidad de desgaste de los ánodos o la energía requerida para los sistemas de segundo tipo pueden reducirse al mínimo manteniendo el área del acero expuesto lo más pequeña posible. La protección catódica no suple propiamente a la pintura o a cualquier otro tratamiento superficial del metal. Cuanto más intacta pueda mantenerse esta capa superficial menor será el desgaste de los ánodos y, en el caso del sistema abastecido por energía, menor será la cantidad de energía precisada. Por consiguiente, debe aplicarse a los pilotes un tratamiento completo a base de pintura o esmalte bituminoso, según hemos expuesto antes. Es particularmente importante asegurar una protección absoluta entre los niveles de bajamar y pleamar en las estructuras marinas y en la "zona de salpicadura" por encima de éstas, ya que la protección catódica es ineficaz por encima del nivel del agua, y las partes sin protección, si no están recubiertas, pueden actuar de ánodos con respecto a las partes situadas bajo el agua, acelerando así su propia corrosión.

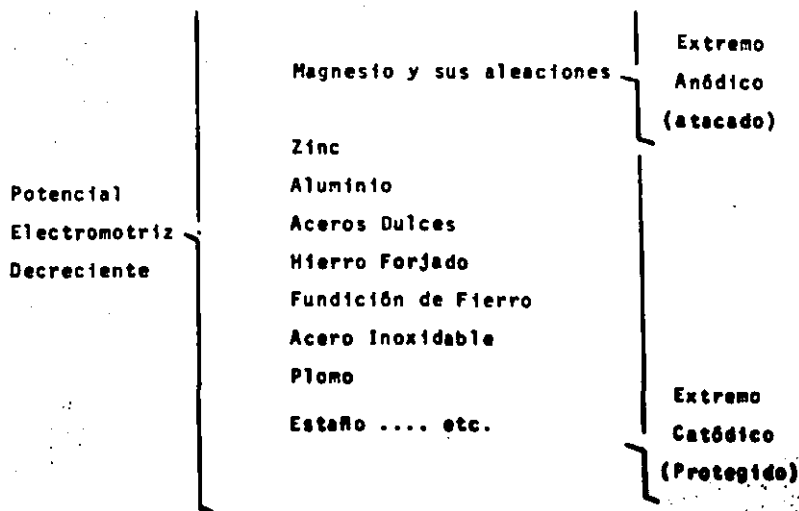
La protección catódica del hierro fundido y el acero, en todas las grandes instalaciones, es económicamente justificada.

ble, puesto que los estudios indican que este remedio es mucho menos honeroso que reemplazar las estructuras corroídas. Puesto que hay que tomar en cuenta las interrupciones del servicio.

Sin desear entrar en muchos detalles haré un breve bosquejo de algunos métodos para combatir la corrosión por medio de la protección catódica.

Siempre que se ponga en contacto dos metales en un ambiente húmedo, se formará un par galvánico, el cual originará que uno de ellos será atacado rápidamente (que será el del potencial más elevado y por tanto actuará protegido, pues actuará como cátodo).

Al poner en contacto magnesio y hierro o acero, aquel se corroerá y por consiguiente al hierro o acero quedará protegido, ya que el magnesio tiene un potencial más elevado que el hierro o acero, como se puede apreciar en la siguiente lista condensada de la serie galvánica.



Para ver como se lleva a cabo esta protección véase la figura posterior. (Ver figura No. 12).

2.4 PILOTES DE CONCRETO.

Para apreciar el grado de posible ataque, es preciso tener en cuenta, asimismo, el espesor de los elementos que han de soportar dicha corrosión.

Los elementos delgados, tales como pilotes de concreto y -

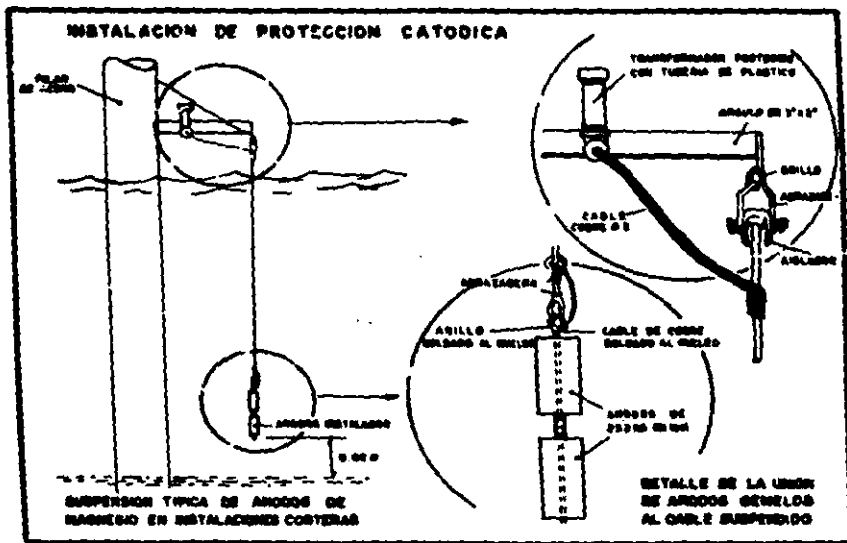


Figura No. 12

concreto armado, depósitos de paredes delgadas, tubos de saneamiento, etc., son especialmente atacados por las aguas agresivas, pues la sección eficaz sufre una disminución relativamente grande cuando el concreto se desmorona. Las armaduras de los elementos de tablaestacado o pilares se oxidan al poco tiempo, pues con frecuencia el concreto no es lo suficientemente compacto, ni tampoco tiene suficiente espesor el recubrimiento de dichas armaduras.

Desde el punto de vista de la marcha de la corrosión, el grueso o espesor del elemento o muro es un factor de gran importancia. Según normas europeas, son elementos delgados todos aquellos cuyas dimensiones no excedan los 50 cm. En los túneles, ferrocarriles subterráneos metropolitanos, muros de apoyo y contención y otras construcciones análogas en las que un muro de concreto puede estar sometido a la acción de una presión hidráulica, la menor dimensión debe ser de 40 cm.

El empleo de cemento siderúrgico sobresulfatado no es apropiado para la fabricación de elementos delgados de concretos que han de soportar una temprana desecación.

2.4.1 PROTECCION DE LOS ELEMENTOS DE PILOTES DE CONCRETO

Los pilotes de concreto son elementos de concreto de - -

pequeña sección. Los pilotes prefabricados pueden necesitar un tratamiento superficial cuando han de colocarse en ambientes agresivos. También es eficaz su tratamiento por vapor, - el autoclave y el okratado, siempre que las circunstancias - lo permitan.

En algunos casos, los pilotes deben ser fabricados con cemento sulforresistente, no hincándose hasta las 6 semanas de su fabricación.

No es recomendable el empleo de pintura en los pilotes, - pues desaparece por abrasión durante la hínca, aunque en la - práctica de la construcción se encuentran pintura que a su vez se protegen con una envuelta. En la literatura técnica se encuentran informes sobre impermeabilizantes sintéticos -- para pilotes de concreto armado.

Como uno de los mejores de estos impermeabilizantes, pue de recomendarse el concreto plástico de resinas epoxy con relaciones de mezcla 1:4 a 1:5 (tamaño de la arena 2 mm.). El espesor de la capa protectora en la punta debe ser de 10 mm. y, en el cuerpo, de 7 mm. La punta debe estar, además protegida por una doble capa de fibras de cristal: poliéster laminadas. La capa de concreto plástico sólo se debe aplicar sobre un concreto básico bien endurecido, y a una temperatura ambiente de 18 a 22°C, pudiendo los pilotes ser transportados -

a las 24 hrs., de la aplicación de la capa protectora. La -
resistencia definitiva de la capa protectora, sin embargo, no
se obtiene sino después de transcurrido un mes. Los trabajos
deben ser realizados en un local cerrado, que puede ser cal -
deado en invierno y observando las precauciones de rigor - -
(guantes, gafas, ventilación, etc.).

CAPITULO 3 PROTECCION DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

3.1 LOS PROCESOS DE CORROSION

Debemos de distinguir entre la corrosión física, causada principalmente por desgaste mecánico, efectos de heladas, etc. y que, en general, se designa como erosión, y los procesos -- químicos de corrosión. Mi atención la dirigo a los tipos de corrosión producidos por causas químicas o físico - químicas.

Según la reacción química podemos distinguir tres tipos clásicos de acción, que son:

I Corrosión por Lixiviación. por la acción extractiva o de lavado que sufren ciertos componentes de la pasta endurecida de cemento.

II Corrosión por reacción de cambio iónico y separación de las combinaciones fácilmente solubles en la pasta de cemento endurecida.

III Corrosión por expansión, debida, en general, a la -- formación de nuevos compuestos estables en la masa de cemento endurecida.

Tiene lugar en el concreto una corrosión por lixiviación del primer tipo, por la acción de un agua carbonatada o de -- agua que contenga ácidos o ácido carbónico. Esta corrosión sucede por la acción del agua de imbibición del concreto, pero puede también ser causada porque la superficie del concreto se ponga en contacto con aguas excesivamente blandas. En este caso, la velocidad de corrosión viene condicionada por la velocidad de desaparición del hidróxido cálcico disuelto. - Las corrosiones de este primer tipo sólo pueden desarrollarse intensamente cuando el agua agresiva presenta un gran poder - disolvente y existe la posibilidad de una circulación de di - cha agua. Este tipo de corrosión puede desarrollarse en concretos muy porosos, mientras que en los concretos compactos, especialmente en los fabricados con cementos pozolánicos, nunca o casi nunca es observada.

En la corrosión química de segundo tipo, debido a un cambio iónico entre los componentes de la pasta endurecida del cemento y las sustancias existentes en el agua agresiva, se forman combinaciones fácilmente solubles que, posteriormente son arrastradas en disolución por una corriente de agua, o - permanecen en el lugar de su formación sin capacidad aglomerante. Una corrosión de este tipo es, por ejemplo, la causa da por las sales de magnesio al formar una nueva sal de cal-

cio e hidróxido magnésico. Puede también formarse un precipitado amorfo o de tipo gel, que permanece en los poros, o sea, el aglomerante pierde su resistencia mecánica.

La corrosión físico - química del tipo tercero es el resultado del ataque de ciertas sales. En el momento inicial, el concreto se refuerza. Sus poros y huecos se rellenan de -- cristales de nueva formación, aumentando su compacidad. Pero, como estos cristales continúan creciendo, ejercen una acción expansiva y acaban destruyendo al concreto, o sea, que se producen grietas.

Los desperfectos causados al concreto por los tres tipos de corrosión citados pueden describirse como corrosiones externas, o debidas a influencias externas.

Una corrosión interna es la que se produce cuando un exceso de yeso en el cemento se pone en contacto con una solución de cal. También puede deberse a la adición excesiva de cenizas volantes al cemento. El desmoronamiento o reducción de las resistencias mecánicas de los cementos aluminosos puede, asimismo, achacarse a una corrosión interna.

W. W. Kind clasifica los tipos de corrosión según la -- causa que los produce. Desde este punto de vista, distingue

los tipos de corrosión ocasionados por las aguas de la capa freática, en la forma siguiente:

- 1.- Corrosión lixivante, causada por la disolución y lixiviación de la cal.
- 2.- Corrosión ácida, que puede ser ocasionada por una elevada concentración de iones H o un valor reducido del pH, o por la destrucción de las combinaciones del calcio en el concreto causadas por cualquier ácido.
- 3.- Corrosión ácida - carbónica, provocada por la acción del CO_2 agresivo, y que realmente es una corrosión ácida, aunque presente algunos rasgos característicos.
- 4.- Corrosión Sulfática.
 - a) Corrosión sulfoaluminica, cuando actúan sobre el concreto aniones sulfato SO_4 con concentraciones inferiores a los 1000 mg/litro.
 - b) Corrosión sulfoaluminica salinitosa, cuando actúa sobre el concreto SO_4 con concentraciones

mayores a los 1000 mg/litro.

- c) Corrosión salinitosa, cuando actúa sobre el concreto un agua con contenido de yeso.

5.- Corrosión Magnésica, que puede ser:

- a) Puramente magnésica debida a la acción de cationes Mg, no existiendo en el agua ningún anión -- SO_4 , y
- b) Magnésica - selenitosa (o sulfomagnésica), debida a la acción simultánea de iones Mg y SO_4 .

Además de los tipos de corrosión enumerados, distingue W. Kind la corrosión ácida salinitosa, debido a la acción del ácido sulfúrico, es decir, originada por la acción simultánea de iones H y SO_4 (aunque es poco frecuente en la Naturaleza) y la corrosión del ácido sulfhídrico, que, al igual que la corrosión debida al ácido carbónico, presenta rasgos característicos, aunque, por el momento, poco conocidos.

Las corrosiones enumeradas, aparecen no solo por causas naturales, sino también en construcciones en contacto con -- aguas residuales industriales. En estos casos puede sufrir

también el concreto los efectos de otros varios agentes agresivos, tales como grasas animales, hidratos de carbono (azúcar) diversas sales y gases, etcétera.

Sin embargo, en la Naturaleza los distintos factores agresivos no atacan separadamente. Es sabido que, en un ataque si multáneo por varios iones agresivos, pueden producirse corrosiones simultáneas de distintos tipos. Así, pues, se puede -- hablar de corrosiones sulfoaluminico - selenitosas, magnésico-selenitas, ácido - selenitosas, etc. Las investigaciones deben extenderse por igual al campo de los ataques aislados como al de los ataques conjuntos.

Tanto las propiedades de los medios agresivos, como las condiciones de su actuación, son muy variadas. Análogamente, se diferencian las propiedades de los distintos tipos de concreto que constituyen sistemas heterogéneos. La multiplicidad de fenómenos de corrosión dificulta aún más el estudio de los procesos. Por ello, han pasado varios decenios hasta que se ha podido investigar exactamente la acción corrosiva de los numerosos iones o de las combinaciones de ácidos y álcalis o -- bien de sus sales sobre concretos de diferentes elaboración.

Las investigaciones han demostrado que los resultados obtenidos en la investigación de un determinado proceso de --

corrosión no podrían traspasarse a otro proceso, aún cuando - los signos externos fuesen aparentemente iguales.

La mayor parte de los procesos de corrosión producen una progresiva destrucción del concreto. Sin embargo, las investigaciones demuestran también la existencia de casos singulares en los que el concreto, debido a la acción de un agua agresiva ha sufrido una acción curativa, es decir, una acción reforzadora de sus propiedades.

Por lo tanto la corrosión se hace visible por la disgregación del concreto a causa de la lixiviación, si bien la des - trucción se puede producir también por expansiones. En el primer caso, originado a consecuencia de las acciones de aguas - blandas, ácido carbónico o clorhídrico, comienzan a desmoronarse aristas y esquinas; más tarde se producen huecos en la masa del concreto y, finalmente, se disgrega. El segundo proceso de corrosión es el expansivo, quedando las masas de concreto - esparcidas por el desarrollo de fuerzas internas.

3.2 CORROSION POR LIXIVIACION

Los Procesos por la acción lixivante de las aguas blandas.

Una corrosión no solo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas completamente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas, las aguas de lagos, arroyos y ríos. El agua de los arroyos es especialmente blanda cuando la cuenca de - - aportación está formada por estos tipos de rocas solubles, como basalto, granito, andesita, etc.

a) La dureza y situación de las aguas blandas.

La dureza del agua se determina por la dureza de los iones Ca y Mg o de sus combinaciones. Los bicarbonatos de estos metales y, en primer lugar, el $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, prestan al agua - la dureza de carbonatos, también llamada dureza temporal; sus otras sales (sulfatos, cloruros), constituyen la dureza permanente, llamada así por permanecer después de la ebullición.

La dureza de las aguas fluviales es función tanto de los manantiales del río como de la superficie cubierta por vegetación en la cuenca. El contenido de minerales disueltos en las aguas depende de la estación del año y de la altura del nivel del río. En el invierno y en la primavera, suele ser más - - blanda que en verano y otoño, pues la mayor temperatura y --

mayor lentitud del flujo aumentan el poder disolvente de las aguas. Por lo tanto, el contenido disuelto, de éstas crece durante el estiaje y disminuye en el periodo invernal. Este hecho debe tenerse en cuenta en la toma de muestras de agua y en la valorización de las investigaciones realizadas.

Un agua pura y blanda de río puede causar corrosiones. Cuando un agua blanda está turbia y arrastra arenas o fangos, no presenta peligro, pues las impurezas recubren la superficie del concreto, obstruyendo sus poros y creando una capa -- protectora.

b) La acción lixiviante de las aguas blandas.

Las aguas blandas atacan generalmente la superficie de los concretos usuales.

La corrosión causada por las aguas blandas (corrosión del tipo I), consiste esencialmente en la disolución y consiguiente lixiviación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado. La lixiviación se produce rápidamente al principio, y luego con velocidad progresivamente menor.

Los concretos de cemento Portland son atacados fuertemente y destruidos, cuando el contenido de CaO del cemento, determinado analíticamente, se reduce en más de un 20% como - -

resultado de la lixiviación.

La acción progresiva del agua blanda aumenta cuando se infiltra por efecto de presión. El agua filtrada, rica en hidróxido cálcico, se carbonata al contacto con el aire, por efecto del anhídrido carbónico (CO_2), de éste, precipitado la cal finamente dividida, en forma de concreciones o eflorescencias blancas. Estos depósitos blancos reciben el nombre - algo severo de muerte blanca del concreto.

La filtración y la imbibición de un concreto puede ser evitada o dificultada por aumento de su compacidad, mediante tratamientos superficiales o por impermeabilización.

Si un concreto es tan poroso, que el agua filtra a través de él, pueden formarse incrustaciones y estalactitas que constituyen las llamadas concreciones. Las concreciones calizas se forman también en las juntas de concreto mal realizadas, por los que se infiltra el agua a presión.

3.2.1 MEDIDAS PROTECTORAS DEL CONCRETO CONTRA LA ACCION LIXIVIANTE DE LAS AGUAS BLANDAS.

Según la norma soviética N-114-54 considera que la corrosión producida por las aguas blandas es débil. En los terre -

nos cohesivos no considera necesaria ninguna protección y sí, en cambio, en los terrenos permeables. Esto en cuanto al cemento Portland se refiere. Los cementos heterogéneos, según la norma son resistentes a esta corrosión.

Según los investigadores, los concretos espuestos a la acción del agua blanda no necesitan protección alguna. Esta afirmación es aplicable tan solo a aquellos concretos que no sufren la acción de aguas blandas a presión.

3.2.1 CORROSIÓN CAUSADA POR ACIDOS

a) Concepto de ácido

En los problemas causados por la corrosión del concreto, la función ácido tiene una gran importancia. La literatura técnica describe muchos casos en los que la corrosión del concreto ha sido ocasionada por un agua acidulada. La presencia de un ácido puede comprobarse fácilmente por el papel de tornasol que enrojece. La intensidad de la acidez o alcalinidad depende de la abundancia de iones H u OH que existen en la solución.

En el agua absolutamente neutra, la cantidad de iones H, productores de la acidez, es igual a la cantidad de iones OH, productores de la alcalinidad.

La acidez o alcalinidad de una solución acuosa viene definido por la concentración de iones H, dando en lugar de la potencia negativa de base 10, el valor absoluto de dicho exponente o pH. La abreviatura pH proviene del latín pondus Hidrogenii, e indica la cantidad ponderalmente de iones H. De la ecuación anteriormente expuesta, se deduce que el pH del agua absolutamente neutra es 7.

pH mayor indica acidez,
pH menor por el contrario, indica reacción alcalina.

En general, pH de las aguas subterráneas está comprendido entre 4 y 11, siendo pocas veces inferiores a 6 o superior a 9. Si el pH de un agua está fuera de ambos límites, puede asegurarse que existe una contaminación por aguas industriales.

Clasificación de las aguas subterráneas según su pH

Reacción	pH
Fuertemente ácida	Inferior a 5.5
Débilmente ácida	5.5 - 4.6
Casi neutra	6.7 - 7.4
Débilmente alcalina	7.5 - 8.4
Alcalina	8.5 - 9.0
Fuertemente alcalina	Superior a 9.0

b) Situación y Formación de las aguas subterráneas ácidas.

Pocas veces se encuentran en la Naturaleza ácidos libres, con excepción del carbónico. El carácter ácido (acidez), del agua puede provenir de su contenido de ácido carbónico (CO_2), ácidos orgánicos (ácido húmico), o sales ácidas. La formación de ácido sulfúrico o sulfuroso, hace especialmente ácida el agua de pantanos y zonas pantanosas.

En la zona de formación del humus, el valor del pH del agua subterránea puede llegar a ser de 3.6 a 4 por la acción del ácido húmico.

La zona superior de la capa freática, debida a la presencia del ácido carbónico, es ácida en general. Una ordenación de los cultivos puede ocasionar una variación del pH del terreno o de la capa freática. Para la valorización de los resultados de las investigaciones deben tenerse en cuenta estos factores.

El pH de los terrenos arcillosos y de loess tiende, en general a ser alcalino, mientras que los terrenos arenosos son neutros o ligeramente ácidos.

c) Corrosión causada por los ácidos.

El papel representado por los ácidos, debido a la concentración característica con que se encuentran en las aguas naturales consiste en primer lugar en la disolución de la capa de carbonatos existente en la superficie del concreto, que -- evita la posterior carbonatación, facilitando así la lixiviación de las partes interna del concreto.

La destrucción del concreto se produce porque los ácidos después de la destrucción de la capa carbonatada, forman sales solubles en agua con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del concreto, sales que son arrastradas por el agua.

El resultado final de la acción de los ácidos es el gel de ácido silico y las sales cálcicas y aluminicas de los ácidos agresores. En el caso de un ácido débil, en lugar de la sal aluminica, se forma un gel de hidróxido de aluminio.

En un agua subterránea ácida con fuerte concentración de iones hidrógeno, las sales cálcicas del concreto se disuelven fácilmente, lo cual puede causar graves daños en éste. La -- disminución de pH, es decir, el incremento de la acidez, aumenta la corrosión del concreto. Solo puede decirse que una sustancia es acidoresistente cuando sus componentes son prác-

ticamente insolubles en los ácidos.

Durante la reacción de intercambio entre el hidrógeno del ácido húmico, existe en los terrenos o en las aguas subterráneas, y los compuestos calizos del concreto, se forma un precipitado de sal cálcica de dicho ácido muy poco soluble en agua. Este sal tapona los poros superficiales del concreto, con un depósito marrón, formando una especie de autodefensa. Sin embargo, las corrientes de agua arrastran dicho depósito, repitiéndose una y otra vez la acción agresiva.

d) Protección contra los ácidos.

1° Para la resistencia de concretos y morteros a los ataques de las aguas ácidas, es menos importante la correcta elección de los componentes del concreto que la compacidad de dichos morteros y concretos.

2° Es conveniente el empleo de cementos ricos en CaO juntamente con áridos calcáreos de buenas propiedades en la construcción de elementos macizos, de elementos y cimientos que permanezcan hundidos en la tierra y que, por el contrario conviene emplear para la realización de elementos de paredes delgadas y de elementos que resistan cargas mecánicas, cementos pobres en CaO y áridos libres de cal, admitiéndose como máximo

una adición de piedra caliza molida.

3° En los ataques producidos por ácidos, debe extremarse la protección de las armaduras, de forma que, el recubrimiento del acero sea de 4 cm. como mínimo y de 5 cm. en el caso de ataques intensos.

4° La ejecución de las juntas de concreto debe ser correcta. Deben evitarse las juntas de concreto permeables.

5° La protección de elementos de gran tamaño puede realizarse, según las condiciones locales, en las formas siguientes:

- a) Mediante el empleo de un aislamiento negro superficial en la zona de las variaciones de nivel de la capa freática.
- b) Mediante la formación de una envolvente del elemento estructural, formada por una capa de arcillas de 14 a 15 cm. de espesor.

6° Debe de usarse cemento Portland, por ser el que mejor resiste las acciones físicas.

3.2.2 CORROSION POR REACCION DE INTERCAMBIO

El ión magnesio procede en su mayor parte de las rocas dolomíticas (magnesíticas), y en menor cuantía, de los minerales del tipo de silicatos magnésicos, como la biotita, la clorita y la glauconita. En la descomposición de las materias orgánicas, aparece principalmente como residuo de clorofila de plantas.

a) Corrosión producida por el ión magnesio.

El ión magnesio es especialmente peligroso en presencia del ión sulfato, pues la cristalización del yeso formado por la corrosión magnésica hace que la impermeabilización del concreto sea mínima.

W. W. Kind informa que también los cementos puzolánicos y los cementos de horno alto sufren corrosiones provocadas por la acción de soluciones ricas en iones, lig, siendo frecuentemente dichas corrosiones más rápidas que la de los cementos -- Portland que no contiene adición alguna.

El cloruro magnésico es un componente muy importante del agua de mar; pocas veces se encuentra en las aguas del subsuelo, pero aparece frecuentemente en las aguas residuales indus-

triales. Es una sal bastante soluble. El $MgCl_2$ corroe fuertemente el hierro y, por lo tanto, no debe ser usado en la fabricación de concreto armado.

En las disoluciones de $MgCl_2$ tiene lugar una corrosión -- magnésica pura, mientras que las disoluciones $MgSO_4$ coexiste la corrosión magnésica y la producida por los sulfatos.

b) La acción corrosiva de las sales amónicas

El amoníaco es un gas incoloro, de fuerte olor característico, fácilmente soluble en agua. Aparece en grandes cantidades, principalmente en las aguas residuales tanto domésticas - como industriales, en los abonos minerales y en los soleres de las fábricas de gas de alumbrado y de explosivos.

Las sales amónicas son más peligrosas que las magnésicas. Porque en su lugar se forman sales cálcicas de buena solubilidad, a partir del hidróxido cálcico, que son arrastradas por el agua y en su lugar no queda nada, haciéndose la estructura más porosa, por lo que la acción corrosiva es más peligrosa -- que en el caso de el magnesio.

c) La acción corrosiva del ión cloro

Son perjudiciales para la pasta endurecida de cemento los cloruros que al reaccionar con la cal forman compuestos solubles en el agua, como, por ejemplo, el $MgCl_2$ y el $AlCl_3$. Los cloruros de los metales alcalinos o térreos ($NaCl$, KCl), que no reaccionan con la cal ni con los restantes componentes de la pasta endurecida de cemento, no son perjudiciales en sí, -- aunque sus soluciones concentradas producen la lixiviación de la cal.

El ión cloro cuando se combina con los álcalis (Na , K), reduce el riesgo de corrosión por sulfatos, siempre que el contenido de éstos en el agua del subsuelo oscile entre 500 y -- 1000 mg/l.

Los cloruros sódico y potásico aumentan, la solubilidad del sulfoaluminato cálcico hidratado. Por consiguiente, esta sal compleja no consigue cristalizar cesando el riesgo que representa su acción corrosiva. La difusión del $NaCl$ en la masa del concreto es provechosa, pues, en forma análoga a como lo realiza el ácido carbónico, también el $NaCl$ transforma el gel de ácido silico en una sustancia insoluble. Por ello, no pueden observarse daños causados por el $NaCl$.

d) Protección a adoptar en el caso de cloruro magnésico

En la fabricación de concretos que puedan, llegar a ponerse en contacto con el $MgCl_2$, es importante, según A. Kleinlogel, tener en cuenta lo siguiente: empleo de áridos limpios y de buena calidad; agua pura de amasado y, finalmente, las dosificaciones de cemento elevadas, empleando, en lo posible, elementos prefabricados de concreto; este concreto deberá tener una edad mínima de 30 días.

En caso de existir aguas subterráneas en movimiento, conviene emplear protección de arcilla contra la intensa acción corrosiva del $MgCl_2$.

El cloruro magnésico forma parte del agua de mar y, por lo tanto, deben protegerse contra su acción las obras marítimas. También es frecuente su presencia en las aguas industriales, aunque pocas veces en las capas freáticas.

Puede protegerse eficazmente el concreto contra la acción de disoluciones de hasta un 25%, mediante el empleo de pinturas bituminosas. Las superficies inaccesibles deben protegerse aislándolas del agua mediante fieltros, tejidos o capas de fibra de vidrio impregnadas de betún.

El espesor de recubrimiento de las armaduras debe ser como mínimo de 5 cm. Puede indicarse como resumen, y teniendo en cuenta las diferentes medidas de protección, que la corrosión del concreto producida por las soluciones que contienen magnesio, puede ser retrasada.

1° Mediante el empleo de cemento adecuado (por ejemplo cemento Portland con saturación de cal de 0.8 o cemento Portland Puzolánico).

2° Mediante preparación de un concreto compacto.

3° Mediante la protección de la superficie del concreto. (pintura, recubrimiento).

e) Protección contra la acción de los cloruros.

La protección de sal común muy concentradas actúan con gran lentitud, pero en forma agresiva - según H. Kishi, Ulrich y R. Grün - sobre los concretos ricos en $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sin combinar. En estos casos, la fluatación constituye una protección suficiente.

Según lo indicado anteriormente, el cloruro sódico no - -

actúa sobre el concreto, de forma que pueden emplearse depósitos de concreto para la conservación de soluciones de sal común. Pero si se trata de depósitos de concreto armado, el concreto debe presentar la máxima compacidad posible, siendo el espesor mínimo del recubrimiento de las armaduras superior a 5 cm., pues la sal ataca al hierro. Estas medidas de protección deben tomarse en cuenta en donde el aire es salobre. Una disolución de sal pura sólo causa daños cuando se infiltra a presión en el concreto, empapándolo y aflorándolo lentamente en la cara externa de el muro o pared en la que se evapora, depositando la sal que cristaliza en el interior del muro. La cristalización de la sal en una zona en la que exista una superficie de evaporación, o a la que llegue la solución por capilaridad, produce presiones externas destructivas.

Los materiales propios para el revestimientos adecuados en estas circunstancias constituyen una larga relación. En las industrias de la alimentación se emplean recubrimientos de parafina - ceresina y betón - parafina - ceresina; si existen acciones mecánicas fuertes, pueden emplearse azulejos esmaltados rejuntados con mastic de resinas sintéticas; en otros lugares y con soluciones salinas hasta de un 25%, pueden emplearse sin más recubrimientos bituminosos.

Las armaduras de concreto armado deben ser protegidas - contra el cloruro cálcico, haciendo que el recubrimiento de - concreto sea suficientemente grueso. Si el concreto no es lo suficientemente compacto, existe el peligro de una oxidación de las armaduras. La corrosión producida en estas circunstan- cias es de naturaleza típicamente electrolítica, análoga a la provocada por el agua de mar en circunstancias especiales.

f) Protección contra las sales amónicas.

Las sales amónicas (cloruro amónico, sulfuro amónico, - sulfato amónico, bicarbonato amónico, etc), son agresivos -- exceptuando el oxalato amónico, hidróxido amónico, fluoruro amónico y carbonato amónico, que son inofensivos. El compues- to amónico más peligroso es el nitrato amónico (NH_4NO_3), -- que ataca a todos los concretos y morteros independientemente del tipo de cemento empleado, aunque se ha podido comprobar - que los cementos puzolánicos y de horno alto son los menos -- atacados. En la práctica incluso las disoluciones muy débi- les (inferiores al 0.5%), causan daños considerables en pla- zos relativamente cortos.

Los concretos expuestos a la acción del nitrato amónico deben fabricarse con cementos Portland puzolánicos de dosifi- caciones superiores a los 300 Kg/m^3 . Las superficies de con-

creto o mortero que sufren la acción de mezclas, en las que figuran fuertes porcentajes de sales de nitrato amónico en forma sólida, pueden ser protegidos mediante recubrimientos bituminosos o alicatados de azulejos asentados y rejuntados con morteros bituminosos y pinturas bituminosas. El método a seguir debe ser elegido teniendo en cuenta la posibilidad de la existencia de acciones mecánicas.

3.2.3 Corrosión producida por expansión.

a) Los sulfatos en disolución reaccionan con el cemento Portland y forman sulfato cálcico. Tiene lugar, entonces, un aumento de volumen y esto, unido a la cristalización de -- los nuevos compuestos, provoca la expansión y desintegración del concreto en la superficie. La desintegración expone al -- ataque zonas frescas y si hay alguna corriente de agua que -- lleve sulfatos disueltos hasta la zona afectada, la velocidad de desintegración puede ser más rápida. Los sulfatos fácil -- mente solubles tales como el magnesio, sodio y amonio, son más agresivos que el sulfato cálcico (yeso). Los sulfatos insolubles no atacan al concreto.

El contenido de sulfatos expresados en iones sulfatos -- SO_3 es de unas 230 partes por 100000, lo que resulta excesivo con respecto al valor señalado como marginal entre la --

agresividad o no agresividad del agua del terreno. Sin embargo, el agua de mar no se considera excesivamente agresiva para el concreto, debido a que otros de sus constituyentes poseen una acción neutralizadora o retardadora en la reacción expansiva de los sulfatos. Suele ser satisfactorio adoptar una mezcla rica y de buena calidad utilizando cemento Portland normal.

En el suelo o en el agua del terreno, cuanto mayor es la concentración de sulfato más severo es el ataque. La desintegración es particularmente seria si la estructura de cimentación está sometida a la presión del agua por un lado, como, por ejemplo, en el caso de un basamento o sótano con agua al exterior. Otros factores que incrementan la severidad del ataque son la porosidad del concreto, la presencia de grietas y el desgarramiento de la superficie que producen las lapas o cultivos similares.

El ataque no se producirá si en el terreno no hay agua, y para que continúe la desintegración debe producirse una reposición de sulfatos. Si el agua de el terreno se mantiene absolutamente estática el ataque no llegará más allá de la capa superficial del concreto. Por lo tanto, existe un riesgo escaso de ataque serio en estructuras enterradas en suelos arcillosos suponiendo que no hay ninguna corriente de agua --

como la que podría formarse a lo largo de una zanja de cimentación con escasa compactación del relleno. Existe el riesgo de ataque en suelos arcillosos en ciertas condiciones climáticas, como, por ejemplo, cuando por efectos de una gran sequedad se forma una corriente ascendente de agua de tipo capilar, o de vapor, desde aguas con gran contenido de sulfatos bajo el nivel de cimentación. Condiciones similares se dan cuando el agua es arrastrada hasta el sótano de un edificio como consecuencia de la acción de los hornos o calentadores domésticos.

b) Protección contra el ataque de sulfatos.

El ingeniero debe considerar cada estructura de acuerdo con sus propias características teniendo en cuenta el contenido de terrenos en sulfatos, las condiciones del agua del terreno, y el tipo de estructura aunque se empleen o no cementos resistentes a los sulfatos u otros cementos especiales, es esencial utilizar una mezcla bastante rica que pueda ser bien compactada para dar un concreto denso e impermeable.

Los cementos puzolánicos y los resistentes a los sulfatos son satisfactorios para concentraciones moderadas de sulfatos, pero los cementos super sulfatados o altamente aluminosos proporcionan prácticamente una inmunidad absoluta contra el ataque en el agua del mar. Estos cementos son atacados por el sulfato amónico.

El cemento altamente aluminoso tiene también el inconveniente de que la resistencia a compresión del concreto puede descender a la mitad si la temperatura se eleva por encima de 40°C. Esta caída de resistencia es irreversible y puede ocurrir en cualquier época sin importar el que la elevación de temperatura tenga lugar durante el fraguado, endurecimiento, o en cualquier otro periodo de la vida de la estructura. Este inconveniente puede subrayarse en climas fríos o templados si se evitan las mezclas excesivamente ricas y toman precauciones para impedir la exposición del concreto al calor. No debe utilizarse el curado a vapor, y los pilotes fabricados con cementos altamente aluminoso deberán protegerse del sol - en el lugar de moldeo y en su emplazamiento.

El cemento altamente aluminoso no es recomendable para climas tropicales. Hartley describía un caso de alteración de cientos de pilotes de concreto fabricados con cemento altamente aluminoso que había sido transportados en barcos desde Gran Bretaña a los trópicos. La alteración era de tal importancia que no podía incarse uno cualquiera de modo satisfactorio.

El cemento super sulfatado es adecuado para climas tropicales.

3.3 Condiciones que aceleran o retrasan la corrosión.

En los elementos de concreto que están sumergidos en las aguas subterráneas, deberá tenerse en cuenta la acción de diversas acciones corrosivas. Las propiedades agresivas no es tan determinadas tan solo por la composición química del agua sino que también dependen de otros factores físicos, e incluso biológicos. Así, por ejemplo, la corrosión puede ser acelerada o retardada, por el hecho de que el agua está en reposo o movimiento, por su temperatura, posibilidad de evaporación, existencia de microorganismos, etc.

A fin de obtener los necesarios puntos de apoyo para una correcta apreciación del grado de agresividad de agua, considero repasar algunas de las acciones que modifican la acción corrosiva.

a) Corrosión del Concreto producido por las corrientes subterráneas

El grado de corrosión del concreto en estos casos es -- siempre superior al que tiene lugar en un terreno impermeable en el que el agua en contacto con la superficie del concreto no se renueva o lo hace con gran lentitud. La acción agresiva del agua subterránea en movimiento es mayor a la del agua

subterránea en reposo de la misma composición química.

En los terrenos arcillosos, así como, en general, en los terrenos cohesivos, en los que las corrientes de agua subterránea, debido a su permeabilidad se retrasan o cesan prácticamente, la corrosión del concreto no es apreciable o es muy escasa. La acción agresiva de el agua no sólo es causada por la posibilidad de que se formen corrientes, sino también por el hecho de que el agua este o no realmente en movimiento.

Los cimientos construidos en terrenos arcillosos permanecieron sin daño alguno durante varios decenios, sin medidas especiales de protección.

b) La acción corrosiva de las aguas calientes

El aumento de temperatura acelera la velocidad de reacción y, por tanto, las acciones químicas perjudiciales de las aguas agresivas. Los procesos químicos son más rápidos debido a la acción del calor. A temperaturas bajas las reacciones tienen lugar más lentamente, llegando, en casos extremos a detenerse prácticamente.

Es preciso indicar que los terrenos cohesivos, son más fríos, es decir, que su temperatura es inferior a la de los -

terrenos granulares, con un gran volumen de poros, es decir, que también desde este punto de vista son menos peligrosos -- los terrenos cohesivos.

Por lo tanto las pequeñas variaciones de temperatura de las aguas subterráneas, según las estaciones del año, apenas influyen en la velocidad de la corrosión. Por el contrario, las fuentes termales, las aguas residuales calientes de las - industrias, túneles subterráneos para tuberías de vapor de -- las instalaciones fabriles, etc. En cuyas inmediaciones existen temperaturas elevadas, aceleran la corrosión.

Debe tenerse en cuenta, especialmente, el fuerte creci - miento de la corrosión producida por el incremento de la tem - peratura en las fábricas de productos químicos, pues en ellos el concreto está sometido a la acción de soluciones calientes fuertemente concentradas, que pueden ser muy corrosivas.

Para estos casos se recomienda no emplear áridos cuarzós, para las obras que han de estar expuestas a la acción de fuer - tes temperaturas, debe emplearse áridos cuyo coeficiente de dilatación térmica sea pequeño y de valor constante, como el basalto y las cenizas de horno alto.

c) Acción corrosiva debido a las oscilaciones de la capa freática.

En el estudio de la corrosión del concreto, pueden distinguirse desde el punto de vista de las acciones mutuas entre -- concreto y ambiente agresivo, las tres zonas siguientes:

1.- La zona del concreto que permanece sumergido constantemente en el agua.

2.- La zona de variación del nivel del agua.

3.- La zona de ascensión capilar.

En la zona por bajo del nivel del agua, los procesos corrosivos son principalmente de naturaleza química.

En la zona afectada por las variaciones del nivel del -- agua, tanto si ésta es libre como si es subterránea, intervienen simultáneamente con la acción química otros factores físicos, tales como desecación, heladas, etc. Esta acción simultánea, física y química inicia la destrucción del concreto en la zona en la que tanto el agua agresiva como el aire entran en -- contacto alternativamente con el concreto, alcanzando la corrosión en esta zona su máxima intensidad.

El proceso de desecación y humedecimiento del concreto va acompañado de expansiones y dilataciones reiteradas del mismo que aflojan su estructura.

El cambio frecuente del nivel de la superficie del agua - tiene lugar en las zonas de mareas, en las esclusas y otras - obras análogas. También se considera como de creciente fluctuación los niveles de las aguas subterráneas o superficiales que varían según las estaciones del año, cuando el número de oscilaciones anuales es igual a 2D.

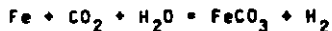
CAPITULO IV CORROSION Y PROTECCION DE LAS ARMADURAS

4.1 GENERALIDADES

En general, el concreto protege bien de la corrosión a las armaduras metálicas, aunque éstas estén sometidas frecuentemente a la acción de ambientes desfavorables. La acción protectora puede atribuirse, en especial, a la elevada alcalinidad y relativamente elevada resistencia eléctrica del concreto.

La reacción del agua existente en los poros es alcalina, debido al hidróxido cálcico liberado en cantidades considerables. Su pH suele estar comprendido entre 10 y 13, eliminando así la posibilidad de corrosión del acero. Si el pH de esta agua desciende hasta valores inferiores a 9 (mediante una carbonatación por ejemplo), puede producirse una corrosión del acero debido a la acción del aire que penetra en los poros, suponiendo que existan simultáneamente agua y O_2 . la oxidación del acero es un proceso lento que puede durar años.

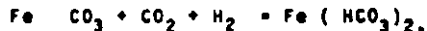
En presencia del anhídrido carbónico, puede observarse una intensa corrosión en los tubos de acero y otros elementos. La formación de la herrumbre tiene lugar (según la pureza del hierro), de acuerdo con las reacciones siguientes: que se producen gradualmente con mayor o menor velocidad:



Esta reacción se efectúa con una mayor rapidez cuando los iones H liberados en el cátodo no se transforman en hidrógeno ($\text{H} + \text{H} = \text{H}_2$), si no que, debido a una polarización del cátodo (acción del oxígeno ionizado), pasan del estado iónico al de agua:



o



que por la acción del oxígeno ionizado se oxida.



Como la formación de la herrumbre es acompañada de un aumento de volumen, la capa de concreto adherida se desprende de la armadura oxidada, de forma que en algunos casos, en muy corto plazo - armadura y concreto son destruidos a la par.

Es difícil hacer cesar la corrosión de las armaduras, especialmente cuando las causas de dicha corrosión se deben a los errores cometidos durante la ejecución de las obras.

Existe riesgo de corrosión cuando en el concreto existen segregaciones áridas, cuando es poroso y el hidróxido cálcico es carbonatado o lixiviado; cuando las combinaciones perjudiciales para la armadura pueden atacar a ésta libremente; cuando las armaduras carecen del recubrimiento necesario, cuando se han añadido al concreto cloruros o sustancias que los contengan en cantidad excesiva, cuando pueden penetrar en el concreto cloruros procedentes, por ejemplo, del agua de mar, o cuando pueden tener lugar fenómenos electrolíticos. Sin embargo, incluso en estas, la corrosión de las armaduras embebidas en el concreto será pequeña, siempre que se impida que el oxígeno tenga libre acceso al acero. En las aguas subterráneas, la corrosión causada por las sales disueltas progresa muy lentamente, debido a la falta de oxígeno. Las sales que atraviesan el recubrimiento del acero no son peligrosas mientras que la armadura esté rodeada de un medio alcalino. La corrosión del acero puede ser producida también por la acción del agua ácida y carbonatada que se infiltra a través de los poros del concreto.

En el concreto armado, la corrosión de las armaduras tiene lugar principalmente en la zona de ascensión capilar y en las atmósferas húmedas sobre todo si contiene humos. Dicha corrosión es máxima cuando la humedad relativa del aire es de 180 a 190%. Si el aire contiene humedad para producir

corrosiones en las armaduras. Aunque el contenido de agua del concreto alcanza valores superiores a los del 50 a 60% de humedad relativa del aire, no corroe a un acero bien concretizado, pues la cal liberada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), por la pasta endurecida de cemento evita la disolución anódica del hierro.

Las construcciones de concreto armado más amenazadas por la corrosión son las instalaciones de baños, lavanderías y lavaderos, tintorerías, talleres de decoración, fábricas de papel y de productos químicos, depósitos de locomotoras, pasos superiores de ferrocarriles, cimentaciones, etc. Estas construcciones de concreto armado deben ser protegidas en forma adecuada.

4.2 LAS CONDICIONES DE OXIDACION DE LAS ARMADURAS METALICAS

a) LA CARBONATACION

Como la carbonatación reduce la alcalinidad, aumenta el riesgo de oxidación. Por ello, no puede llevarse a cabo una carbonatación artificial de tal intensidad que el proceso de carbonatación se aproxime a las armaduras. En un concreto de buena calidad, bien compactado y curado, la carbonatación no penetra muy profundamente. Probablemente la carbonatación -

solo tiene importancia en los puntos en los que la armadura - está muy próxima a la superficie. Según los ensayos de T. Soda y K. Yawasaki, la carbonatación, en un concreto bien preparado con una relación agua/cemento inferior a 0.70, no penetra a profundidades mayores de 1 mm., independientemente del tipo de cemento. Pero si la relación agua/cemento es superior a 0.70, la carbonatación progresa con la edad del concreto, llegando a profundidades cinco o seis veces superiores. En estos casos, la carbonatación de las mezclas del cemento - penetra más profundamente que si se empleara cemento Portland.

Debe indicarse, además, que la carbonatación no es la causa primaria de la oxidación, si no que la oxidación se produce por la penetración hasta la armadura del CO_2 y humedad a través de las grietas y acumulaciones de grava de un concreto preparado incorrectamente.

b) El cloruro cálcico.

El cloruro cálcico actúa en el concreto como electrólito y provoca la aparición de grandes oxidaciones en los hierros de las armaduras. Esta acción perjudicial está limitada por la pequeña cantidad de CaCl_2 empleada, y por la escasa porosidad del concreto, ya que por una parte, el ion OH es un excelente inhibidor (retardador), y, por otra, los aluminatos -

hidratables de los cementos Portland forman cloro - aluminatos cálcicos inestables ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_2\text{Cl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), con una parte de iones de cloruro. Esto tiene lugar en el caso de que se añada tan solo 0.25% de CaCl_2 sobre el peso del cemento. El grado de neutralización del cloruro depende de C_3A del cemento y, por lo tanto, un cemento Portland corriente protege mejor contra la corrosión producida por el cloruro que en cemento Portland sulforresistente de escaso contenido de C_3A .

Según los ensayos realizados con soluciones saturadas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ basta un 0.0035% del peso de CaCl_2 para causar destrucciones localizadas que, si existen concentraciones de CaCl_2 , superiores se reparten por toda la superficie del acero. Por ello, en las Normas para la determinación de las sustancias químicas que pueden ser adicionadas a los morteros de cementos, concretos y concretos armados, se indicaba: " Cuando la adición de alguna sustancia produzca en el concreto concentraciones de cloruros superiores al 0.002% del peso del cemento, no será apropiado el concreto resultante para la fabricación de concreto armado ". Cuando posteriormente se supo que el ion cloro ejerce en el concreto una acción tal como una solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la cifra antes citada fue incrementada en los concretos pretensados hasta el 0.1% de cloruros.

En las probetas de concreto, el acero apenas muestra ras
tros de oxidación, siempre que la adición de CaCl_2 no supere
al 2%, aún entonces, solo se observarán pequeñas manchas de -
óxido.

En la práctica de la construcción se emplea con frecuen-
cia el cloruro cálcico como acelerador del fraguado y del en-
durecimiento, o como protector contra la acción de heladas.
Además, se emplean materiales LPV y LP, que contienen Cloruro
Cálcico. Con un concreto de baja calidad, siempre es preciso
tener en cuenta el peligro de una corrosión intensa del acero
independientemente de la cantidad de cloruro cálcico adiciona-
do.

Pero ni siquiera un concreto impermeable consigue evitar
la corrosión si se ha añadido cloruro cálcico en gran propor-
ción, pues los iones OH no pueden ejercer su acción protecto
ra. En este caso, puede atribuirse la corrosión de las arma-
duras a las propiedades higroscópicas del concreto, así como
a la difusión capilar en la masa de la pasta endurecida de ce-
mento.

Como se ha demostrado mediante ensayos, la cantidad admi
sible de CaCl_2 no viene determinada por la cantidad de cemen-
to o la proporción de aluminatos en éste (pues esto singnifi

caría que, al aumentar la dosificación de cemento aumentaría la cantidad de CaCl_2 adicionada). Sino que existe un límite máximo para la adición de CaCl_2 por metro cúbico de concreto, y que dicha adición ha de determinarse por la superficie de - acero en armaduras existentes por unidad de volumen de concreto. Además, el CaCl_2 sólo puede ser empleado con el cemento Portland, siendo imposible adicionarlo a los cementos siderúr gicos. Teniendo en cuenta los múltiples casos en que puede emplearse el CaCl_2 , debiera evitarse su uso, así como el de - aquellos aditivos a base de cloruros para los trabajos de concreto armado. Esto acarrearía consigo el riesgo de que se -- usara la sal pura en tal cantidad que se sobre pasaran los lí mites admisibles, y tendría como consecuencia la aparición de corrosiones a los pocos años de la terminación de la construc ción.

A. Bäumel (1964), encontró que los cloruros y sulfatos también en medios alcalinos, pueden causar corrosiones en las armaduras, pues los iones Cl y SO_4^{-2} destruyen la capa pasiva. Por la misma razón es perjudicial para las armaduras el - - MgSO_2 .

c) La Capa Pasiva

Generalmente, las armaduras de acero rodeadas por concre

to número están bien protegidas de la corrosión por una delgada película de óxido (capa pasiva) (Kaesche, 1959). Tanto la estructura, como el espesor de la capa de recubrimiento de concreto, ejercen una influencia decisiva sobre la conservación de dicha capa. En especial daña a esta capa protectora el cloruro cálcico, permitiendo corrosiones más intensas del acero de las armaduras.

d) Electrólisis

El paso de las corrientes vagabundas, corrientes de retorno, o de otras corrientes continuas a través del concreto armado, puede causar una considerable corrosión de las armaduras. Estas corrientes son causadas por las tomas de tierra defectuosas, en las proximidades de instalaciones de corrientes continuas, ferrocarriles electrificados, etcétera.

La corrosión también puede ser causada por un elemento corrosivo y un elemento local. Llamamos elemento corrosivo a un elemento electroquímico que aparece por la corrosión de los metales. Está constituido por un cátodo y un ánodo en contacto con un electrolito. Las partes que poseen un potencial inferior se convierten en el ánodo de un elemento corrosivo de pequeña superficie, en el que la superficie eficaz de electrodo es muy pequeña, del orden de la fracción del milímetro cuadrado.

Los elementos corrosivos y los locales pueden ser creados por diferentes condiciones particulares, tales como temperatura, humedad, concentración de electrolitos, ventilación, etc. Cuando se ponen en contacto diferentes metales, pueden empezar a aparecer procesos corrosivos electroquímicos en la superficie del acero. Los daños sufridos por la armadura son tanto mayores cuanto mayor sea el potencial eléctrico y humedad. Los electrolitos están formados por disoluciones de sales, tales como el agua de mar, las aguas sulfatas, cloruradas, sales empleadas para la disolución de hielos, etc. Además de estas aguas, las sales pueden estar presentes en el agua de amasado o provenir de aditivos que contengan cloruros y que se adicionan al concreto.

En las circunstancias consideradas, puede regularse la velocidad de la corrosión por la velocidad con que se despolarizan las superficies catódicas. La despolarización de los cátodos puede tener lugar por el desprendimiento del hidrógeno en pequeñas burbujas o por un proceso de oxidación, al absorber el oxígeno procedente de la atmósfera. La velocidad de la corrosión está limitada por la permeabilidad a los gases del concreto, es decir, por la velocidad con la que llega el oxígeno a la superficie metálica.

Todos estos fenómenos de corrosión pueden producir una -

destrucción tal del acero, que puede llegar a tener consecuencias muy serias si la armadura está formada por varillas de pequeño diámetro. Los elementos corrosivos de gran tamaño -- pueden llegar a provocar serias disminuciones de las secciones de las armaduras, incluso en las barras gruesas, y la formación de herrumbre resultante puede causar en el concreto -- presiones de tal intensidad que este llegue a saltar.

e) El Recubrimiento del Concreto

La velocidad de la corrosión de las armaduras es tanto -- mayor, cuanto más delgado o más permeable sea el recubrimiento del concreto. Para la conservación de las armaduras es, por lo tanto, de considerable importancia el que exista en el concreto un recubrimiento protector de espesor suficiente.

En el concreto armado, la parte más sensible a los me -- dios agresivos está constituida por el recubrimiento de las armaduras. Como consecuencia del aumento de volumen causado por la herrumbre (bien sea óxido férrico alcalino, hidróxido férrico alcalino, hidróxido férrico o sulfato férrico), se produce una presión que puede llegar a los 300 atm.

El resultado es la aparición de grietas en el recubrimien -- to de concreto o el agrandamiento de las ya existentes, con -

lo que la corrosión del acero se acelera o se incrementa. La capa de concreto que constituye el recubrimiento salta. Cuanto más fina y permeable sea dicha capa protectora, más rápidamente se corroerán las armaduras.

El recubrimiento de concreto debe ser de suficiente espesor para evitar, por una parte, la carbonatación y, por otra, la infiltración de las sustancias agresivas.

f) Grietas

Cuando los elementos constructivos están sometidos a la acción, de una flexión, de una tracción o de una compresión no centradas, sólo puede conseguirse la ausencia total de grietas mediante el tensado de las armaduras. Por medio del cálculo de las estructuras, se intenta, en general, conseguir construcciones con una limitación de grietas. El ancho máximo de éstas es de 0.3 mm., en la mayor parte de las casas, pero debemos esperar que las grietas sean también de mayor tamaño:

Las grietas que partiendo de la superficie, lleguen hasta la armadura, permiten la introducción de la humedad y del aire. Cuando las grietas son normales a la dirección de la armadura, no siempre son origen de corrosiones importan -

tes, pues la corrosión, si la grieta es estrecha, permanece localizada y no alcanza gran profundidad. Cuando las grietas son paralelas a las armaduras, permiten mayores ataques y se acelera la corrosión del acero.

g) Formas Adoptadas por la Corrosión del Acero

La corrosión del acero se hace visible, generalmente, - por la formación de grietas o manchas de herrumbre que producen la paulatina desaparición del recubrimiento de las armaduras a lo largo de éstas. La corrosión puede llegar a formar depresiones crateriformes o aciculares, depresiones llamadas picaduras, zonas superficiales corroídas o cicatrices de corrosiones, que producen disminuciones.

h) Formas Adoptadas por la Corrosión de las Armaduras Tensadas

Los daños producidos por la corrosión de las armaduras pre y postensadas son mucho más importantes que las causadas en las armaduras normales.

El acero sometido a tracción se corroe mucho más rápidamente que el que se encuentra en condiciones normales. En las barras tensadas podemos distinguir dos tipos diferentes de corrosión:

- 1.- El proceso normal de oxidación que tiene siempre lugar cuando la corrosión ataca a la armadura.
- 2.- Las grietas de corrosión bajo tensión (corrosión intercristalina), que solo se producen por la acción simultánea de una tracción y un ataque químico y que originan grietas de tracción en las armaduras.

Este segundo tipo de corrosión, sólo posible en el concreto tensado, se caracteriza por la formación de fracturas sin forma definida especial en las barras de las armaduras, sin corrosión superficial apreciable. En algunas ocasiones puede verse simultáneamente una cicatriz de corrosión bajo -- tensión. La repentina aparición de este tipo de corrosión es mucho más peligrosa que la corrosión lenta de tipo normal, -- pues las roturas se producen en un plazo muy corto. Esta es la causa de que en Hungría haya sido fijada la cifra de 8 mm. como diámetro mínimo de los redondos que constituyen las armaduras. En el caso de los aceros corrugados de alta resistencia el diámetro puede ser menor de 5mm.

Este tipo de corrosión no es frecuente, pues, según los últimos conocimientos adquiridos, se debe casi exclusivamente a los nitratos y esto solo actúan a temperaturas muy elevadas y de forma muy lenta. Hasta hace poco se suponía que también

otros agentes podían ser la causa de corrosiones intercrystalinas. Esta suposición fue desmentida por los ensayos realizados con sulfatos, fosfatos y soluciones muy diluidas de distintos ácidos y álcalis.

Debe evitarse el empleo de cementos aluminosos.

El acero pretensado es muy sensible a la acción del ion cloro, por lo que en estos casos no es admisible el empleo de CaCl_2 , autorizándose su utilización en proporciones muy reducidas, del orden del 0.1%, del peso del cemento.

4.3 PROTECCION DE LAS ARMADURAS

Un Concreto compactado y de alta dosificación puede garantizar, mediante un recubrimiento suficiente de las armaduras, la permanente ausencia de oxidación de éstas y, por lo tanto, su perfecto estado. Para la perfecta conservación de las armaduras, y como consecuencia las estructuras de concreto armado, deben disponerse, tanto en el proyecto como durante la ejecución de las obras, las oportunas medidas de protección. El concreto debe dosificarse, fabricarse y curarse de forma que constituya una estructura carente de juntas y que posea la mínima cantidad de poros capilares. Evitar la penetración del aire, es la mejor protección contra la oxidación de las armadu

ras.

La vida útil de las construcciones de concreto armado depende, en gran parte, del buen desarrollo de su proyecto y del cuidado de su ejecución. El concreto armado puede tener una larga vida útil en todos los ambientes, si se han seguido unos adecuados criterios técnicos.

Para alejar el peligro de la oxidación de las armaduras se recomienda la observación de las siguientes normas:

El cemento: En la elección del tipo de cemento y la dosificación del concreto debe tenerse en cuenta que el concreto endurecido debe tener la suficiente cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, -- Hidróxido de Calcio, siendo favorable para estos el cemento -- Portland de alta calidad, así como cementos Portland siderúrgicos, puzolánicos, férricos y sulfurresistentes. También se recomienda, a fin de obtener concretos de alta resistencia a la penetración del agua y gran docilidad durante la puesta en -- obra, los cementos Portland con mezclas de aireantes.

Debido a la posible disminución de resistencia mecánica -- en condiciones desfavorables y la escasa protección de las armaduras mecánicas en condiciones desfavorables y la escasa protección de las armaduras metálicas, no debe emplearse el --

cemento aluminoso para elementos resistentes de concreto, concreto armado y concreto pretensado.

El exceso de yeso en los cementos es peligroso si representa más de un 5% de CaSO_4 (sulfato de calcio), es decir, más de un 6.5% de yeso (3% SO_3). Este límite es aplicable a los cementos Portland de finura Blaine 3000.

Aridos: Deben emplearse como áridos para el concreto las arenas y las gravas de río. Si se utiliza la arena de playa, que siempre contiene una cierta cantidad de sal común, el contenido de ésta no debe superar el 0.08% del peso de la arena; pues siempre representa un cierto peligro para la armadura.

Para el concreto armado no puede utilizarse como árido -- las escorias del carbón, K. Kishitani (1964), descubrió una corrosión de las armaduras, causada por la presencia de un contenido de 0.08% de SO_3 en las escorias.

Las cubiertas de concreto armado realizados de acuerdo -- con la patente Mátrai - construidas en los años 1895 - 1924, en el antiguo Imperio Austro - Húngaro -, empleando escorias de carbón, se han destruido en ambientes húmedos, tales como: cocinas, cuartos de baño, lavaderos, etc: Aunque las que se mantuvieron en ambiente seco se conservan hoy en día en estado

satisfactorio.

Tampoco es apropiado la Keramsita (arcilla expansiva calcinada).

Aditivos: El aditivo empleado con mayor frecuencia es el CaCl_2 las ventajas del empleo de ésta sal y los peligros que entraña su uso han sido estudiados con detalle en páginas anteriores de éste mismo capítulo. Las complejas combinaciones que se forman durante el fraguado son inestables, liberando iones de Cl^- que pueden atacar las armaduras si éstas no están suficientemente protegidas. Por otra parte, la Bibliografía Técnica no cita ningún caso concreto en el que el concreto haya sufrido daños y solo los ensayos de laboratorio y las investigaciones suministran las bases de este juicio pesimista sobre la acción del CaCl_2 .

Según los ensayos realizados se pueden afirmar que las -- cantidades de CaCl_2 admisible, que puede adicionarse al concreto armado sin peligro de corrosión para la armadura, es del 2% del cemento, y, en caso de curado por vapor, del 1.5%. En general, se adiciona un 3% del peso del concreto. Sin embargo, debe mencionarse que la porosidad de éste no debe ser superior al 9.5% del volumen. Si la cantidad de cloruro es mayor, se recomienda un mayor espesor en el recubrimiento de concreto de las armaduras.

Debido a la mayor retracción del concreto fabricado con CaCl_2 , este debe sufrir un curado esmerado durante al menos 14 días.

De menos importancia es la cuestión de si las sustancias adicionadas al concreto, tales como aireantes, plastificantes y otros, pueden contener diversos porcentajes de CaCl_2 pues, refiriendo dichos porcentajes a la cantidad de aditivo por metro cúbico de concreto, resultan unas cantidades de CaCl_2 extremadamente pequeñas y que, en general, son inferiores al 1% del aglomerante. La cantidad de CaCl_2 adicionada resulta de unos 3 Kg/m^3 de concreto, si se considera una dosificación media de 300 Kg. de cemento por metro cúbico de concreto, siendo, por lo tanto, aceptable el empleo de sustancias adicionales al concreto que contengan CaCl_2 . Pero cuando, además de estas sustancias, se añade al concreto CaCl_2 puro, la cantidad total de este material adicionado a la mezcla no debe superar el límite del 2%. En la actualidad, al concreto se -- agregan otras sustancias - inhibidores o pasivadores -, a fin de incrementar la resistencia a la corrosión de la superficie de las armaduras.

Entre estos inhibidores, pueden citarse los fluoruros y - fosfatos, materiales poco solubles. En el medio alcalino -- constituido por el cemento evitan que el acero de las armadu-

ras trabaje como ánodo, pues pasivan su superficie. Se añaden al concreto en forma de polvo, finamente molido, y en cantidades muy pequeñas. Pese a su favorable acción sobre la superficie del acero, dada su escasa solubilidad, no ejercen influencia alguna sobre las propiedades del cemento. También se utilizan los mono y didosfatos de los metales alcalinotérreos y los fluoruros simples; como sales insolubles o poco solubles son desde el punto de vista de la química del cemento, absolutamente inocuos, pues no se combinan con los componentes del cemento Portland. Por lo demás, los fluoruros en grandes dosis actúan como retardadores del fraguado.

Solo en los casos siguientes puede el CaCl_2 provocar la corrosión de las armaduras:

- a) dosificación excesiva de CaCl_2 (debe respetarse el límite del 2%).
- b) adición irregular de CaCl_2 (por mezcla con el cemento en lugar de disoluciones en el agua del amasado).
- c) fabricación de un concreto de pobre calidad con insuficiente dosificación y compactación.
- d) condiciones del ambiente muy desfavorables.

No es recomendable el empleo de CaCl_2 cuando:

- 1.- El concreto permanece en ambiente húmedo y en local cerrado.
- 2.- Cuando existe a una distancia menor de 20 m. una conducción eléctrica a alta tensión.
- 3.- Cuando el diámetro de las barras es inferior a 7 mm.
- 4.- Cuando se fabrica concreto pretensado.

Relación agua/cemento. Puesto que el empleo de relaciones agua/cemento reducidos tiene como resultado la obtención de concretos de estructura compacta y con pocos poros capilares, es natural que con ellos se obtenga una mayor seguridad respecto de la corrosión de las armaduras.

A excepción de las secciones grandes, la relación agua/cemento no debiera superar el valor de 0.40 para los concretos expuestos a la acción del mar o agua salubre, o que han de estar en contacto con elevadas concentraciones de sulfatos o cloruros a ras de tierra, debajo de la tierra o a nivel del agua. Lo mismo debiera suceder para los concretos comprendidos en la

zona de variación de la capa freática o en la zona de salpicaduras.

La norma americana ACI 616-54 contiene indicaciones respecto de los valores máximos admisibles en la relación agua/cemento, según la finalidad a la que se destina el concreto.

Espeor del recubrimiento de concreto. Un recubrimiento de 2cm., de espesor y de compacidad adecuada es totalmente suficiente para obtener una protección eficaz contra la corrosión de las armaduras en circunstancias normales en las viviendas, talleres y otros locales de las instalaciones industriales, aunque puede ser preciso un espesor superior si la atmósfera es especialmente agresiva.

En el caso de construcciones en circunstancias especialmente desfavorables, como por ejemplo, en los puentes, el espesor del recubrimiento de concreto de las armaduras debe superar el valor mínimo de 2 cm. Si se trata de dimensiones muy considerables, tales como las que se presentan en las construcciones hidráulicas o de puentes para FF.CC., es necesario aumentar este espesor hasta valores de 4 cm. ó más. Lo mejor es no prescribir un espesor de recubrimiento determinado a priori, sino fijar la dimensión en los 3/2 del árido mayor.

Si un elemento de concreto armado descansa por la parte inferior directamente sobre el terreno (en las zapatas de cimientos, por ejemplo), la armadura debe estar recubierta por una capa de concreto de 5 cm., de espesor o por cualquier otra capa protectora equivalente (por ejemplo un solado de ladrillos).

Las construcciones marítimas precisan mayores espesores en los recubrimientos. El recubrimiento de las armaduras en los concretos expuestos a la acción del agua de mar o de otras aguas intensamente agresivas, debe ser, como mínimo de 5.0 cm. Actualmente, en estos casos, se recomienda espesores de 7.5 cm., excepto para pilotes prefabricados.

La acción protectora del recubrimiento puede incrementarse eficazmente, mediante un tratamiento por vacío del concreto por formación de capas hidrófugas, o por un recubrimiento protector que impida la penetración en el concreto de gases y aguas agresivas. En las instalaciones industriales tienen una especial significación las medidas adoptadas para hacer descender la humedad relativa del aire en los locales cerrados, tales como instalaciones de ventilación y aparatos de absorción sobre maquinaria en que se producen vapores, etc. Como la corrosión de las armaduras se observa sobre todo en los puntos y lugares en los que el aire está húmedo y en especial en

donde existen, además, gases (cloro, ácido sulfhídrico), deben ser objeto dichas armaduras de una protección adecuada en las construcciones destinadas a bañerías, lavanderías, fundiciones de plomo, tintorerías, talleres de grabado, fábrica de fibra de vidrio, etc.

Electrólisis: Debe evitarse la penetración de corrientes continuas vagabundas en el concreto.

Una protección catódica contra la corrosión puede acarrear una alteración de los componentes del cemento Portland hidratado, e influir, por tanto, sobre el concreto o sobre su adherencia al acero. Los métodos de protección de este tipo sólo pueden recomendarse a título de ensayo.

Acero: El acero empleado en las armaduras debe ser de estructura homogénea y satisfacer las Normas correspondientes. Si se emplea concreto de consistencia seca, debe pintarse la armadura, inmediatamente antes de la puesta en obra del concreto, con una lechada de cemento de cal. La capa de cal debe permanecer fresca, no permitiéndose su secado hasta que se ponga en obra el concreto. Este tratamiento debe ser utilizado también en armaduras de concretos ligeros.

Carbonatación: El progreso de la carbonatación depende - en primer lugar de la calidad del concreto. Según H. J. Kleinschmidt (1965), no es posible establecer una relación directa entre la carbonatación del concreto y la carbonatación de las armaduras, pues la carbonatación no tiene como consecuencia -- obligada la oxidación del acero, cosa que, para que suceda, - precisa la coexistencia de otras condiciones, tales como la penetración de oxígeno y agua. Tampoco se sabe que influya sobre la carbonatación el tipo de cemento.

Grietas: Las grietas en el concreto favorecen la carbonatación y lixivización de la cal liberada, así como las penetraciones de las soluciones de gases agresivos. La existencia de grietas en el concreto acrecienta el peligro de la corrosión - en las armaduras.

También las grietas favorecen la acción del CO_2 . Las dimensiones críticas de las grietas comienzan:

en el concreto normal, a los 0.03 mm.

en el concreto ligero, a los 0.02 mm.

Un revoco adecuado puede evitar que los daños aumenten.

Para obtener la adecuada protección de las armaduras en -

las zonas de las grietas del concreto. H. L. Moll (1964), recomienda reducir en lo posible la anchura de las grietas. En condiciones normales se consideran como aceptables las grietas de hasta 0.2 mm. de ancho.

En los elementos de concreto en contacto permanente con el agua se recomienda fijar la calidad y dimensiones del concreto, de forma que éste admita con gran holgura las tensiones a tracción.

Las grietas pueden ser eliminadas totalmente mediante el pretensado. Las construcciones de concreto armado pretensado presentan un menor peligro de corrosión que las de concreto armado normal.

La realización: El conseguir que el concreto sea de tal calidad que resulte impermeable al aire es un método eficaz -- para evitar la corrosión de las armaduras. La permeabilidad del concreto disminuye al avanzar la hidratación del cemento; por ello a temperaturas normales, es necesario mantener húmedo el concreto fresco durante un mínimo de 14 días. Los elementos prefabricados, que sufren un curado por tratamiento térmico con vapor sin presión para que alcancen rápidamente la necesaria resistencia mecánica, deben, a fin de aumentar la impermeabilidad, permanecer además, al menos durante 7 días, en ---

ambiente húmedo y a temperatura normal. Cuando el concreto armado está expuesto a una atmósfera de CO_2 , las juntas de lechareo no poseen la suficiente resistencia, por lo que es preciso, antes de lecharear, eliminar una capa de 5 cm. de espesor.

G. Rehm y H. L. Moll resumen los conocimientos actuales sobre éste tema en forma siguiente: Mediante la adopción de una relación agua/cemento reducida y la cuidadosa compactación del concreto fresco, es posible proteger las armaduras del concreto durante un periodo prácticamente ilimitado. La eficaz protección de las armaduras del concreto contra la corrosión no requiere, por lo tanto, la adopción de medidas especiales, obteniéndose aquella por sí sola cuando se observan cuidadosamente las sencillas normas de fabricación del concreto, conocidas desde hace mucho tiempo.

4.4 PROTECCION DEL CONCRETO PRETENSADO

Puesto que las armaduras sometidas a tensión se corroen con una rapidez mayor, es preciso proveer su protección en mayor grado. Además de las indicaciones hechas anteriormente, es preciso tener en cuenta lo siguiente:

Considerando que en las barras metálicas tensadas pueden

formarse, además del óxido, grietas debidas a la tensión, es preciso que el diámetro de las barras sea como mínimo de 8 mm. en los aceros normales y 3 a 4 mm. en los aceros especiales (corrugados de alta resistencia, etc.).

Las armaduras de acero pretensado no deben estar más de un mes tensadas, sin que se las recubra con una capa de concreto o mortero, a no ser que se les proteja mientras tanto inyectando aire seco en los canales, o se cree una atmósfera protectora estable y saturada de inhibidores, o de cualquier otro modo adecuado. Es inadmisibile el empleo de acero con capa protectora de otro metal, zinc por ejemplo.

Para la inyección de los canales por los que pasan las varillas o cables de pretensado, y para el relleno de las juntas originadas en el mortero empleando entre las piezas prefabricadas u las monolíticas, se debe de emplear cemento Portland y no se deben añadir a este cemento sustancias que sean susceptibles de originar cloruros, hidrógeno u otros gases. No es recomendable el empleo del cemento Portland siderúrgico para el concreto pretensado. Lo mejor es utilizar cemento Portland normal.

El concreto para elementos pretensados que hayan de estar sometidas a heladas e intemperie en ambientes húmedos debe ser

poroso. En las construcciones de concreto pretensado hay que cuidar de que los aditivos empleados no contengan agentes agresivos; entre otros hay que renunciar al empleo de sustancias - con Cl_2Ca y otros cloruros solubles. La mezcla añadida no debe tener más del 0.02% en peso de cloruros solubles.

La experiencia confirma que un acero pretensado es sensible ya que para un contenido de cloro de 0.05%, lo mejor es no emplear aditivos de ningún género.

El agua empleada en el amasado debe ser la calidad equivalente a la potable; por lo tanto, el agua de mar está completamente prohibida.

Algunas acciones perjudiciales para el concreto armado.

Carbones: Las plataformas y silos de concreto armado, en servicio desde hace varios decenios, demuestran que, en general, los carbones no ejercen acción perjudicial sobre el concreto. Sin embargo, en las plataformas descubiertas de concreto armado, en circunstancias desfavorables - zonas muy lluviosas -, especialmente cuando se almacena lignitos que contienen grandes cantidades de piritas o azufre, se han observado pequeños desperfectos en la superficie del concreto. La humedad - unida al ácido carbónico atmosférico y al azufre lixiviado al

carbón, forma primeramente ácido sulfuroso y posteriormente - ácido sulfúrico, que ataca a las construcciones de concreto.

Elementos de concreto cubiertos de escorias. Sucede con frecuencia que cimientos u otras construcciones de concreto es tén rodeados de escorias, o que incluso se han construido en el interior pilas de escorias.

- * Las escorias de carbón contienen grandes cantidades de sales solubles en agua, y en especial de sulfatos.

Cuando las sales solubles llegan al suelo o a la capa de aguas subterráneas no sólo varía el pH de ésta, sino que también se hace visible la acción agresiva de los iones, sulfatos o magnesio. Esta acción agresiva puede durar durante dece - nios. Debe evitarse el apilado de escorias en las cercanías - de las edificaciones. Tampoco es conveniente construir edificios de concreto cerca de pilas de escorias, cuyas aguas, su - perfciales o subterráneas, pueden llegar a las construcciones. Si por cualquier causa es inevitable la construcción, deben - adoptarse las medidas de protección pertinentes sin excepción alguna.

En los montones de basuras y escorias también tiene lugar una intensa formación de Co , CO_2 , vapor de agua, etc. En las

excavaciones realizadas en estos lugares se han producido intoxicaciones mortales con relativa frecuencia. Por ello, estos trabajos deben realizarse adoptando obligatoriamente las medidas de protección necesarias para evitar accidentes y empleando los equipos y aparatos de seguridad adecuados.

El ácido carbónico gaseoso y el metano (gas de los pantanos), que se forman no atacan al concreto como tales gases.

CAPITULO V DIFERENTES ACCIONES DEBIDO A AGENTES - -
FISICOS, QUIMICOS Y ORGANICOS Y PROTECCION
CONTRA LOS NISMOS.

5.1 ACCION DEL AGUA DE MAR CONTRA EL CONCRETO

5.1.1 HISTORIA DE LA INVESTIGACION DE LA CORROSION DEL
AGUA DE MAR

Como ya se ha mencionado en el Capitulo I, la investigación de la corrosión comenzó por la observación y estudio de los concretos sometidos a la acción del agua de mar, ya que éstos fueron los primeros en los que se pudieron apreciar los daños.

En algunos países se comenzaron estas investigaciones, - iniciándose en Alemania, donde los bloques rompeolas de concreto, instalado experimentalmente en el año 1890 en la isla de Helgoland, pudieran considerarse como un ensayo de corrosión. Desde aquellas fechas éstas probetas están en observación.

En el año de 1903, la Unión Alemana de Fabricantes de -- cemento Portland, creó la comisión para el estudio del agua del mar sobre las obras marítimas donde se usaba cemento, -- (uno de ellos rico en cal y pobre en alúmina, y el otro al

contrario), que fueron estudiados durante decenios en agua de mar y agua dulce. Los resultados fueron dados a conocer años despúes, por V. Dyckerheff en las juntas generales de la unión siendo publicadas en las llamadas actas.

El año de 1908, se formó el " Comité Especial de la Comisión para el Hormigón Armado ", que se ocupó de los problemas de la Corrosión.

En Gran Bretaña hacia finales del siglo XIX, se observaron desperfectos en las construcciones que sufrían la acción del agua de mar, y que también estaban ejecutadas con cementos Portland. Por ello en 1920 se organizó un comité especial para el estudio de las destrucciones de las obras marítimas. En los informes publicados por el Instituto de Ingeniería de la Construcción, se intentó esclarecer las causas de los daños, mediante una comparación entre las obras que resistían el ataque del agua de mar y las que se devastaban por dicho ataque. Este trabajo fue continuado en años posteriores por un comité especial para el estudio del agua de mar, dentro del Instituto de Ingeniería del subsuelo, ampliándose el campo de la investigación con el estudio del concreto armado bajo la acción del agua de mar. Bajo los auspicios del Almirantazgo inglés, se publicó un informe que trataba, según F. Wernekke, de las experiencias que, con concreto y especialmente con concreto armado

fueron realizados en las distintas partes del Imperio Británico.

También en Francia se comenzó con fecha temprana el estudio del comportamiento del concreto sumergido en agua de mar. En el año 1929, R. Foret, informó sobre los resultados de los trabajos ejecutados con la colaboración del Laboratoire des Ponts et Chaussées.

En Italia se han empleado desde fecha muy remota, para las obras marítimas cemento con adición de puzolanas, y en ocasiones, mezclas de cal - puzolana - cemento, ya que el país es rico en yacimientos puzolánicos. Sobras las experiencias obtenidas informaron L. Luigi y P. Periani.

En las costas de Italia, numerosas obras marítimas ejecutadas con puzolanas y cal hidráulica resisten desde hace más de 2000 años la erosión y la corrosión del agua de mar, según ha comprobado en los años cincuenta una comisión internacional de control.

En los Países Escandinavos se llevaron a cabo ensayos masivos con los que se intentó esclarecer la influencia que las condiciones climatológicas pueden ejercer sobre la resistencia del concreto a la acción del agua de mar.

Las observaciones practicadas en el mar del Norte y mar Báltico han servido para reunir datos que, no sólo permiten conocer la influencia del clima, sino también porque en estos ensayos en lugar de los puzolanas volcánicas usadas corrientemente, se empleó tierra de mole danesas (tierra de diatomeas).

Los resultados fueron dados a conocer por A. Poolsen, -- durante los XIII y XIV Congreso Internacional de Navegación.

En Holanda se llevaron a cabo ensayos parecidos a los estudiados en los Países Escandinavos. Además, una comisión estudió en las Indias Holandesas el comportamiento de las armaduras del concreto armado, que estaba expuesto a la acción del agua de mar en condiciones tropicales.

De las investigaciones hechas en Estados Unidos merecen una consideración inmediata los informes oficiales sobre los puertos costeros. Según G. W. Atwood, se recopilaron estadísticas que durante 60 años sufrieron la acción del mar, se deduce que más del 62% de dichas construcciones han padecido -- ataques químicos. Es digno de señalar el hecho de que las construcciones más antiguas es relativamente bueno.

Una investigación posterior se ocupó del comportamiento del concreto armado en el agua de mar, recogiendo algunas -

experiencias sobre la protección de las armaduras de los pilotes de concreto armado, esta investigación fue llevada a cabo por el Departamento de Marina, en unión con la Alberthaw Construction Company.

También existe un informe de O. L. Grover. el U. S. Bureau of Public Road, que ha llevado a cabo investigaciones - sobre el concreto, tanto a la acción del agua de mar como frente al agua subterránea de los terrenos alcalinos. Bajo este nombre son conocidos en E. U. A., y Canadá los terrenos que presentan un cierto porcentaje de sulfatos sódicos, potásicos, o cálcicos, aún cuando sería más exactos llamarlos terrenos sulfatados.

De tiempo en tiempo, salen de la pluma de algunos autores compilaciones en las que figuran en primer término el problema de la resistencia del concreto al ataque del agua de mar. Los antiguos informes de W. W. Pagon, R. J. Wig, L. R. Fergooson, nos dan, una idea del estado de los conocimientos de esta parte del campo de la ciencia hasta el año de 1951.

5.1.2 LA ACCION CORROSIVA DEL AGUA DE MAR

La corrosión producida por el agua de mar puede atribuirse a la combinación de muchos factores. Para un concreto sometido al agua de mar, son perjudiciales, en primer lugar, las sales magnésicas y los sulfatos, si bien su acción se ejerce, naturalmente, a largo plazo. El concreto de cemento Portland empleado para la construcción de muelles en el puerto de Marsella, ha sido destruido al cabo de un plazo de 50 años.

El contenido total de sales perjudiciales en el agua de diferentes mares es el siguiente:

en el Mediterráneo	38 g/l	3.8 %
en el Báltico	7 g/l	0.7 %
en el Mar del Norte y Océano Atlántico	35 g/l	3.5 %
en el Mar Negro		1.8 %
en el Mar Muerto (lago Asfaltites).	53 g/l	5.3 %

Según la Norma Danesa DIN 4030, debe observarse que las sales de mar están formadas en un 88.0 a 89.5%, por cloruro y en un 8 a 10% por sulfatos.

En algunas zonas costeras se encuentran las aguas llamadas salubres, mezclas de agua dulce y salada. Mientras que en el Báltico existen zonas totalmente salubres, no es éste el caso de la zona atlántica.

El agua salubre corroe intensamente el concreto y el acero, debido a su alto contenido de CO_2 y bajo pH. Por el contrario el agua de mar contiene una cantidad relativamente pequeña de CO_2 agresivo y su pH es igual o superior a 8. También pueden observarse a lo largo de la costa y a distintas profundidades, notables diferencias en las cantidades de sustancias disueltas en el agua. Por ello, en cada caso es necesario llevar a cabo un estudio particular.

COMPOSICION SALINA DEL AGUA DE MAR

Denominación de la Sal	g/1000 de agua	En % del total de sales
Cloruro Sódico		
Cloruro Magnésico	3.2	78.32
Sulfato Magnésico	2.2	9.44
Sulfato Cálculo	1.3	6.40
Cloruro Cálculo	0.6	3.94
Otras (sulfato potásico, bicarbonato cálcico, bromuro cálcico.)	-	0.21
Contenido total de sales	<u>34.3</u>	<u>100.00</u>

5.1.3 EL CARACTER DE LA CORROSION PROVOCADA POR EL EL AGUA DE MAR

Las múltiples soluciones salinas que integran el agua de mar son menos agresivas de lo que podría esperarse por su contenido de iones perjudiciales. La corrosión sulfática provocada por el agua de mar es mucho más lenta que la producida por las aguas dulces sulfatadas. Por otra parte, en presencia del NaCl, tanto el hidróxido de cálcico como el hidróxido magnésico se disuelven con mayor facilidad (con una velocidad casi cuadruple), lo que justificaría la hipótesis de una corrosión más violenta producida por el agua de mar. Por el contrario, la película protectora de hidróxido magnésico que se forma ejerce una acción retardadora y hace disminuir el grado de agresividad.

La resistencia de un concreto frente a la corrosión del agua de mar es difícil de calcular, debido a la naturaleza -- poco conocida de los ataques implicados. La posibilidad de formación del sulfoaluminato cálcico en el concreto es gobernada, tanto por las concentraciones de sulfatos y cloruros -- existentes en el agua de mar, como por la composición mineralógica del cemento Portland. Las bases principales de la discusión sobre la valoración de la acción del agua de mar son que, por ahora, tan solo se han estudiado algunos aspectos --

aislados de la corrosión, que no tiene una relación íntima - con las condiciones reales de trabajo de las construcciones y que las causas reales de la acción del ambiente sobre el concreto de las obras marítimas, no se han tenido con frecuencia en consideración.

El proceso de la destrucción del concreto por los ataques del agua de mar está constituido por una gran cantidad de reacciones, diferentes y más o menos simultáneas. La validez de esta información se reconoce si recordamos que el agua de mar contiene cloruros y sulfatos, unidos tanto del álcalis como al magnesio, y que, además, también absorbe el anhídrido carbónico de la atmósfera. El hecho de que las aguas de mar estén sometidas a un movimiento perpetuo debe también tenerse en cuenta pues cada uno de los ataques del concreto va reforzado por la acción del oleaje, que intenta arrancar - de su sitio los trozos reblandecidos de concreto, exponiendo a la acción química de las aguas las nuevas partes que quedan al descubierto.

También tiene importancia la influencia de la temperatura. Creemos poder afirmar que la resistencia a la congelación es el factor decisivo de la duración de las construcciones marítimas de concreto que se encuentran en las zonas polares, mientras que la resistencia a la agresión es el factor -

decisivo en las zonas tropicales.

5.1.4 EL COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS CEMENTOS FRENTE A LAS AGUAS DE MAR

Según los resultados de los ensayos llevados a cabo por investigadores alemanes, los concretos fabricados con cemento Portland, que contenían mayores cantidades de óxido de aluminio y hierro, presentan resistencias menores. Los concretos fabricados con dosificaciones de cemento Portland, si derúrgicos y de horno alto, comprendidos entre los 400 y 500 kg/m³, relaciones agua/cemento entre 0.35 y 0.50, con o sin adición de trass, han permanecido durante más de 50 años bajo la acción del agua de mar, sin presentar desperfectos - - (Seidel 1959). Los concretos no siempre resisten la acción química del agua de mar en cuando la relación agua/cemento es excesivamente elevada, o cuando el concreto no es impermeable.

E. Ferret publicó en 1922 los resultados de los ensayos realizados en Francia. Según ellos, el empleo de cemento -- Portland de trass es más conveniente que el de cemento Portland. Los ensayos Italianos corroboran dicha información.

Según los investigadores norteamericanos deben existir - en el cemento Portland pequeñas cantidades de Al_2O_3 y CaO , - lo que equivale a afirmar que el cemento Portland corriente. Es conveniente que el concreto éste expuesto al aire después de un tratamiento de curado húmedo.

Según el Comité de Concreto del Congreso de Navegación, que tuvo lugar en el año de 1949 en Lisboa, son apropiados pa ra las construcciones marítimas tanto el cemento Portland nor mal como el cemento de alto horno, con adición de puzonías. No se han obtenido resultados favorables del empleo del cemen to aluminoso en las obras marítimas realizadas en la isla de Helgoland, mediante el empleo de cemento siderúrgicos pobres en cal, resistirían satisfactoriamente la acción de las - - aguas.

El posible proceso de la corrosión producida por el agua de mar, según Moskwin. Inicialmente el agua penetra desde la derecha de la figura se libera de su ácido carbónico agresivo, formando una capa en el concreto, en la que la cal se disuelve en forma de bicarbonato. La acción de las sales de -- magnesio de la solución que continua introduciéndose crea una corrosión del tipo II, haciendo que la cal se transforme bien en cloruro fácilmente soluble, o en sulfato poco soluble. La segunda capa se caracteriza por su carencia de cal, o porque

esta se encuentra en forma de yeso. En ésta zona tiene lugar reacciones de intercambio, resultando que en la fase sólida se forma hidróxido magnésico y en la fase líquida, cloruro -- cálcico. Se trata, pues, en esta zona de una corrosión típica de tipo II.

También se libera hidróxido de magnesio. Los sulfatos -- sobrantes se siguen introduciendo y forman en una tercera zona, de acuerdo con la corrosión del tipo III, yeso y bacilos del cemento. Debe tenerse en cuenta que tanto en la zona segunda, como en su límite con la zona tercera, la presencia -- del magnesio hace que sólo se forme yeso y no se formen bacilos del cemento. El agua liberada del ácido carbónico agresivo, de las sales magnésicas y de los sulfatos, continua penetrando en el interior del concreto, en el que, por lixiviación -- ción, produce una corrosión del tipo I.

Los límites de estas zonas no permanecen fijos, sino que varían constantemente al progresar la destrucción del concreto, desplazándose hacia el interior, pero manteniendo su ordenación. (Ver Figura No. 13)

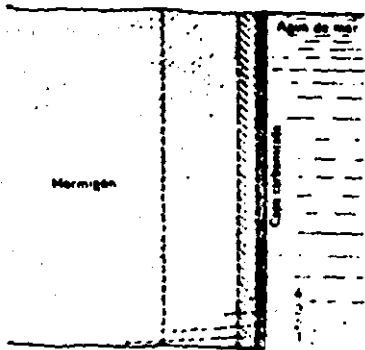


Figura No. 13

Debe indicarse, además que también factores físicos, especialmente la estructura, la compacidad e impermeabilidad del concreto influyen temporalmente en la marcha de los fenómenos de la corrosión, así como en la resistencia del concreto a los agentes agresivos.

Un gran número de ensayos realizados con probetas de concreto, tomadas de obras marítimas de 5 a 60 años de antigüedad muestran que la absorción de agua (considerada como medida de la compacidad), de concretos sanos no era, en general, superior al 5 o 6% después de 6 horas. Un concreto de esta compacidad permanece en las obras marítimas durante mucho tiempo en buen estado, mientras que la resistencia de los agentes agresivos de concreto, cuya absorción del agua es superior al 6%, son considerablemente menores. En igualdad de condiciones, un concreto que tuviera una absorción superior al 10%, sería destruido en un plazo de varios años.

En algunas islas oceánicas podemos encontrar condiciones que no sólo favorecen la corrosión de cimientos y otras obras subterráneas, sino también la de la construcción sobre la tierra. Mientras que los cimientos son atacados por las subterráneas, las partes de las edificaciones situadas por encima del nivel del terreno sufren el ataque provocado por el ambiente marítimo. El aire, que posee una considerable riqueza de - -

sales, penetra en los muros porosos de los edificios y destruye en el mortero de cemento de las juntas.

Bajo la acción del aire, la corrosión tiene lugar como resultado de la formación del sulfualuminato de cálcico. El viento deposita nuevas dosis de sales agresivas en la superficie del concreto. El proceso de corrosión provocado por ellos va acompañado de la formación de cristales, lo que intensifica su acción, resultando una rápida destrucción del mortero y muro.

La alteración cuya causa es una cualquiera de las anteriores puede ser impedida disponiendo una cubierta de 5 cm. o más sobre las armaduras y utilizando una mezcla rica (no inferior a 1:1 1/2: 3), bien compacta a fin de conseguir un concreto denso e impermeable. No se recomienda el agua de mar para construcción de estructuras de concreto armado debido al riesgo de corrosión de las armaduras. Resulta, sin embargo, satisfactoria para concreto en masa.

La erosión a nivel de la playa a consecuencia de las piedras arrastradas por las olas puede ser severa. Es fácil conseguir una protección considerable acumulando concreto en masa o cascotes alrededor de los puntos vulnerables.

5.2 ACIDOS ORGANICOS

El ataque por ácidos orgánicos puede tener lugar si su concentración es elevada, como por ejemplo, en aguas pantanosas o en desperdicios orgánicos descargados en ríos o en el mar.

Una tubería de aguas residuales instalada en una zona pantanosa, cerca de la ciudad de Osnabrück, el año 1904, mostró fuertes síntomas de destrucción a los seis meses de su instalación.

Este hecho fue la causa de que dentro de la Comisión Alemana para el estudio del concreto armado se constituyera, en 1908 una comisión de pantanos (Comisión de Trabajos II), que se ocupó del comportamiento del concreto en las aguas pantanosas y, posteriormente, en el agua de mar. Para ello, se fabricaron probetas de concreto de distintas dimensiones, con y sin adición de impermeabilizantes, de diferentes dosificaciones, que se expusieron a la acción del agua pantanosa y de mar y, posteriormente, a la de las aguas residuales industriales. Las probetas de concreto se prepararon de acuerdo con las normas de la tecnología de la época, pudiendo descubrirse con gran sorpresa que algunas de estas probetas, preparadas hace casi 50 años, habían resistido el ataque de estas aguas, pese

a que en el momento de su fabricación era relativamente poco lo que se sabía sobre las propiedades esenciales de un buen concreto o de un buen conglomerante.

Sobre las ensayos que esta Comisión de Pantanos llevó a cabo, han aparecido varios informes en los que recogen las observaciones practicadas. Los resultados fueron resumidos en 1935 por F. A. Finger y K. Seidel en el informe número 134 - - " El concreto en las aguas químicamente agresivas ", publicado por la editorial de la Comisión Alemana para el Estudio del Concreto Armado. Estos experimentos fueron realizados, como los de la segunda serie, en el pantano de Pressel. Aún hoy -- son válidas las conclusiones de entonces pudiendo incluso servir de modelo de realización de los ensayos.

Los daños del concreto pueden ser producidos también por la acción de los seres vivos y de innumerables especies vegetales.

Plantas. Las plantas de orden inferior, las algas, no se asientan en las superficies secas de concreto situadas por encima del nivel del terreno, pues para su vida precisan una humedad permanente o por lo menos una atmósfera saturada de humedad. Sólo tienen importancia en los concretos sumergidos en cuyos poros forman un recubrimiento de filamentos mucosos - -

marrones o verdes que taponan dichos poros. La acción obturadora de los poros del concreto, producida por las algas, aminora la acción perjudicial de los gases, así como la cantidad de agua que se infiltra en el concreto. El concreto de los depósitos, cubas, tinas, toneles y galerías de captación de aguas subterráneas, pozos, etc., si se impermeabiliza paulatinamente si es recubierto por algas. Durante el invierno, la acción de las heladas produce la muerte de éstas, renovándose al comenzar la primavera.

Debido al mayor contenido de oxígeno del agua de mar, las algas y microorganismos se depositan en los puntos de la superficie del concreto en los que la temperatura es favorable, impidiendo de esta suerte el intercambio de iones en ambas direcciones. Por lo tanto, su presencia es favorable para una mayor vida útil del concreto.

Las plantas de orden superior, los musgos y líquenes sólo provocan en el concreto desperfectos sin importancia. Estas plantas precisan menores cantidades de agua que las algas, asentándose en las superficies del concreto expuestas al aire y recubriendo los costados húmedos o temporalmente húmedos de las construcciones que, generalmente son las de orientación -- Norte.

Inicialmente, la disolución alcalina de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cuyo

pH está comprendido entre 10 y 11), liberada en el concreto fresco, impide que las plantas arraiguen. Posteriormente, al penetrar la carbonatación en las capas internas del concreto, el pH de la solución disminuye, pudiendo producirse el crecimiento. Puesto que, como alimento de las plantas, sólo disponen del polvo arrastrado por el viento y de los componentes mineralógicos de la pasta endurecida de cemento, poco asequibles y de escasa solubilidad en el agua, los musgos y líquenes deben disolver estos componentes mediante ácidos débiles segregados por las raicillas capilares. Bajo los abutamientos verdinegros formados por los viejos musgos, se ven frecuentemente superficies de concreto de colorados por estos ácidos y bajo las cuales, en una profundidad de algunos milímetros, el concreto se desmorona, exfoliándose. Esta acción perjudicial de intensidad media, es incrementada por el ácido carbónico procedente de la materia orgánica descompuesta de las plantas.

Si el concreto se pone en contacto con maderas en putrefacción, las radículas y filamentos de los hongos penetran en el concreto, gracias a la acción ácida de sus extremos, y arraigan en él. Se conocen casos en los que los filamentos de los hongos destructores de la madera (*Herillus lacrimans* y *Poria Vaporaria*), atravesaron, al crecer, concretos flojos de cemento Portland de 50 cm. de espesor.

Las raíces de las plantas de orden superior pueden destruir el concreto, de una parte, por su acción física disgregante y, de otra, por su capacidad de producción de ácido carbónico y otros ácidos orgánicos. Pueden taladrar concretos de consistencia floja y así, por ejemplo, penetran en las delgadas paredes de las tuberías de concretos enterrados. Esta penetración tiene lugar preferentemente en el sentido de la humedad creciente.

5.2.1 PROTECCION CONTRA ACIDOS EN LOS TERRENOS PANTANOSOS Y DE TURBAS

En determinadas condiciones del subsuelo, los terrenos pantanosos pueden estar totalmente libres de cal, por lo cual las aguas pantanosas pueden ser del tipo de aguas que contienen ácidos libres (ácido sulfúrico), las cuales no abundan en la Naturaleza.

La agresividad de las aguas y los terrenos pantanosos depende, naturalmente de la concentración de las diferentes sustancias perjudiciales, así como de que las aguas fluyan o permanezcan en reposo.

Las aguas pantanosas se caracterizan, desde el punto de vista de su análisis químico, por las tres propiedades siguientes:

- 1.- Extraordinaria pobreza en sales y cal
- 2.- Fuerte reacción ácida producida por ácidos libres - ácido sulfúrico, ácido carbónico agresivo, ácido sulfhídrico - y diversos ácidos orgánicos;
- 3.- Gran contenido de humus.

El agua de los terrenos pantanosos y de turbas puede ser pobre en cal, de mediano contenido de cal y rica en cal. El incremento del contenido de cal representa una reducción del grado de acidez.

Respecto a la capacidad de resistencia del concreto a -- los agentes agresivos, es mayor la influencia ejercida por -- una mayor dosificación de cemento que la de iones agresivos. Este hecho solo es aplicable estrictamente al caso de los elementos de concreto de paredes finas; en los grandes bloques de concreto, las variaciones de la relación disminuyen en función de las dimensiones.

Un resultado adicional es la comprobación exacta, y muchas veces repetida, del hecho de que el concreto compacto es esencialmente más capaz de resistir las acciones de los agentes químicos que el concreto poroso. De los resultados de -- los ensayos se deduce que el factor más importante para la -- composición de la mezcla de grava - arena y cemento, y, por --

lo tanto, para la compacidad, es la distribución granulométrica, y sólo en segundo lugar interviene la dosificación del cemento.

El grado de acidez, según Baumann - Gully, nos indica la cantidad de centímetros cúbicos de ácido decinormal libre existente en 100 g., de tierra cuando se tratan con 200 cm³. de solución normal de acetato sódico neutro.

Para obras de concreto de grandes dimensiones, pueden incrementarse estos límites al poseer ya los elementos constructivos fuertes espesores.

Además de las sustancias citadas, el agua de terrenos pantanosos y de turberas contiene debido principalmente a los procesos de descomposición producidos por microorganismos, ácido sulfhídrico que, aunque es un ácido débil, ejerce una acción corrosiva, que se manifiesta principalmente por su transformación, al oxidarse, en ácido sulfúrico y, por lo tanto, en sulfatos, que en un medio ácido serán principalmente sales ácidas

En los terrenos pantanosos de naturaleza orgánica, los daños más importantes son los producidos por iones sulfatos o magnesio. En los terrenos pantanosos calizos se encuentra a menudo agua totalmente saturada de CaSO₄ que puede destruir --

totalmente el concreto. Según G. Wiegner el yeso ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), puede ser perjudicial para el concreto si está presente en las tierras en cantidades superiores al 0.5%. El agua de los pantanos puede ser perjudicial si es blanda y simultáneamente contiene ácidos libres, el metano o gas de los pantanos no es nada peligroso.

A. Kleinlogel recomienda la adopción de las siguientes - medidas de seguridad para el empleo del concreto en terrenos pantanosos.

- 1.- Obtención de un concreto compactado;
- 2.- Empleo de arenas ricas en cuarzo como áridos;
- 3.- Empleo de cementos pobres en cal;
- 4.- Conveniencia de la adición de trass (puzolanas);
- 5.- Empleo de cementos Portland siderúrgicos o aluminosos, si el terreno no presenta un gran contenido en sulfatos;
- 6.- El inerte se comporta bien como pintura e impermeabilizante ;
- 7.- Es favorable la carbonatación del concreto;
- 8.- La superficie expuesta debe ser recubiertas al ataque con una capa protectora de arcilla plástica por ejemplo.

Las medidas de protección proyectadas deben ser comparadas con las normas de los distintos países en los que respecta a pH, sulfatos, etcétera.

5.2.2 PROTECCION CONTRA LOS ACIDOS ORGANICOS

Las grasas y aceites son ésteres de la glicerina con distintos ácidos grasos, tales como el palmítico, esteárico y -- oleico. El grado de acidez de los aceites de buena calidad es alrededor de 0.5%, mientras que los aceites de pescado llegan hasta un 20% de ácido graso que puede perjudicar al concreto. Además del peligro que representa su ataque químico, los aceites penetran fácilmente en el concreto seco, causando disminución de su resistencia, debido a su acción lubricante. Las resistencias mecánicas vuelven a aumentar cuando se elimina el aceite. -

Las grasas y aceites actúan de diferente forma sobre el concreto, según su origen, composición química y viscosidad.

Los aceites y grasas son productos viscosos sólidos, o líquidos, más o menos lubricantes de origen vegetal o animal. Desde el punto de vista químico están formados por diversos ésteres de la glicerina con los ácidos grasos: pesan menos -- que el agua; son insolubles en ella, pudiendo disolverse - -

fácilmente, por el contrario, en el éter, gasolina, benzol, - cloroformo y tricloroetileno, y con más lentitud en el vina - gre. Los aceites y grasas más importantes son los que destruyen lentamente la superficie del concreto: Los aceites de ri cino, de linaza, colza, oliva, almendra, palma, adormidera, girasol, coco, soya, la grasa de cerdo, el aceite de pescado, la matequilla, etc. El aceite de trementina (aguarrás), -- aparte de su considerable poder de infiltración en el concreto, no ejerce sobre este acción alguna.

Los más agresivos aceites, son el aceite de hígado de ba caiao y el aceite de ballena; entre los aceites vegetales, lo son el aceite y la manteca de cacao, y los aceites de ricino, coco, mostaza.

Según experimentos nos muestran que las probetas de mortero cemento Portland no resisten la acción de los aceites ve getales, mientras que las de cemento aluminoso sí las resisten.

Como medidas de protección puedan adoptarse las siguientes:

- 1.- Empleo de cementos pobres en cal (ciment fondo); - adición de trass o puzolanas.

- 2.- Compactación a fondo
- 3.- Una silicatación que puede tener como resultado la formación de una capa impermeable de ácido silico.
- 4.- Fluatación tras un secado a fondo.
- 5.- No son convenientes los recubrimientos con preparatos bituminosos, pues son destruidos por los aceites y grasas.
- 6.- En caso de que la acción agresiva sea más intensa, puede ser apropiado el empleo de un revestimiento de PVC.
- 7.- Si se trata de aceites comestibles de buena calidad, debe realizarse un revestimiento con vidrio, con juntas estrechas y bien reposadas mediante un mortero resistente a ácidos.

Ahora con respecto a los aceites y grasas minerales, puede decirse que los productos obtenidos por destilación del petróleo, no atacan al concreto siempre que no contengan ácidos o fenoles, o que no puedan acidificarse. Los productos obtenidos por destilación del carbón de piedra, tales como la alizarina, antraceno, izopropil benzol, cumol, parafina, alquitrán tolueno, etc., son inofensivos para el concreto. Por el contrario la creosota, el fenol y el cresol, atacan, aunque muy lentamente al concreto.

5.3 PRODUCTOS DE DESECHOS QUÍMICOS E INDUSTRIALES

5.3.1 PROTECCION CONTRA LOS ACIDOS INDUSTRIALES

En las instalaciones y construcciones de la industria, - el efecto destructor no es debido única y exclusivamente a la acción de los ácidos y lejías sino que simultáneamente colaboran con estos agentes otras acciones térmicas, mecánicas y dinámicas. Los distintos tipos y sistemas de revestimiento que reciben el nombre abreviado de construcción antiácida - protegen contra estas causas. De la construcción antiácida se han ocupado entre otros muchos, B. G. Thiel (1951), Schuching (1958), S. Reuss (1962). La construcción antiácida constituye, por el momento, el tema más detalladamente tratado dentro del campo de la corrosión del concreto.

De acuerdo con el procedimiento empleado en la formulación de la capa protectora contra el ácido, se pueden agrupar los distintos métodos empleados según se trate.

1° Revestimiento de Concreto

Puede fabricarse un concreto resistente a los agentes químicos empleando betunes o adiciones de resinas sintéticas. Los concretos y morteros, con adiciones de resinas sintéticas

deben emplearse en las puntos en los que se concentran los es fuerzos mecánicos, tales como soleras que han de resistir - fuertes cargas, los depósitos, almacenes y silos en los que se precisa un concreto sin juntas, que pueden complementar in cluso con un recubrimiento externo protector.

2° Concretos de Mástic

El concreto de mástic sirve para recubrimiento de las -- bases de las columnas de concreto armado y metálico, de los macizos de cimentación de máquinas, del propio suelo, etc.

El concreto de mástic contiene como conglomerante una so lución de vidrio soluble que puede ser sódico o potásico y un material de relleno formado por áridos de 0.2 hasta 25 mm., - de tamaño. El concreto de mástic endurece - a diferencia de lo que sucede con el concreto normal en ambiente cálido y seco.

3° Piedra Natural

De entre las piedras o rocas naturales, pueden emplearse para formar revestimientos protectores contra la corrosión ácida, aquellas que no sólo resistan la acción de los ácidos, sino que puedan ver fácilmente labradas y fijadas mediante --

mortero.

La piedra caliza neutraliza la acción de los ácidos, aunque sus efectos neutralizadores se disipa al cabo de un cierto tiempo.

El mortero para colocar rocas naturales, según el tipo de agresión química que haya de resistir, puede ser preparado con una base de cemento y vidrio soluble o con una base resinas sintéticas. En los casos de ataque ácidos intensos se emplea un mortero de vidrio soluble, así como un rejuntado con mástico o masilla de vidrio soluble, pero únicamente cuando no es preciso una absoluta estanquidad. Estos medios no pueden ser utilizados para sustancias neutras o alcalinas. El empleo de resinas sintéticas no es aconsejable por razones económicas, dado su elevado precio.

4° Revestimiento de Grafito

Los revestimientos de grafito están constituidos por placas o piezas de las más variadas formas. Su solubilidad en los ácidos es inferior al 1% y su resistencia a la compresión superior a los 300 Kg/Cm².

Las piezas y placas de grafito resisten incluso a los álcalis muy concentrados y a los ácidos, especialmente el ácido nítrico concentrado. Excepto ácido fluorhídrico.

Juntamente con todas sus ventajas, presenta, el defecto de ser muy porosas, lo cual puede corregirse mediante una impregnación con resinas sintéticas.

5° Recubrimiento Asfáltico Resistente a los Acidos

Los revestimientos asfálticos se emplean en los casos en que la acción química no es soportada por ningún otro tipo de revestimiento. Para la construcción de revestimientos asfálticos se emplea a betunes, asfálticos, cuyo punto de reblandecimiento sea superior a la temperatura del líquido agresivo.

6° Revestimiento Cerámico

En muchos casos de ataques químicos a elementos estructurales, cimientos o depósitos, pueden emplearse revestimientos formados por placas o baldosas. Entre los materiales de este tipo de mejor resultado y uso más generalizado, figuran en primer lugar los materiales cerámicos, pues resisten igualmente bien la acción de los ácidos y álcalis, poseen unas buenas resistencias, tanto mecánicas como a la abrasión, soportan --

los esfuerzos mecánicos y térmicos y su adherencia a los morteros es también satisfactoria. El campo de empleo de los recubrimientos cerámicos es tan amplio, que los casos de corrosión existentes pueden resolver casi siempre mediante el empleo de algún tipo de material cerámico ácidosresistente.

No es suficiente proteger la superficie del suelo y las de los cimientos, si no que, en el caso de que el proceso químico que se realiza en el local de cuya protección se trata, se desarrolle por vía húmeda, es decir, mediante el empleo de líquidos, es necesario proteger pilares, y muros hasta una cierta altura. Las distintas normas, instrucciones y recomendaciones indican los métodos a emplear en los diversos casos.

7° Revestimiento con Materiales Sintéticos

El empleo de recubrimientos plásticos, es aún más caro en muchos países europeos, que el del impermeabilizante negro, -- aunque puede estimarse económico su empleo si se tiene en cuenta su alta calidad, su largo período de vida útil y su eficacia, sin contar con que los defectos de construcciones y ejecución, en el caso de los impermeabilizantes bituminosas, pueden no presentarse en el caso de los plásticos.

Tanto para la protección contra la corrosión provocada -- por los ácidos, como para aislamientos de fondos de depósitos y torres de almacenaje o de sedimentación, instalaciones de neutralización o lixivización, etc., se emplean, hoy en día materiales sintéticos, tales como hojas y láminas de cauchos de policloropreno, de polietileno (PVC), cloruro de polivinilideno (PVD), y placas de cloruro de vinilideno copolimerizado. Otros tipos de productos fabricados son los cauchos neopreno -- (policloropreno), y el caucho artificial Buna, y el Saran (una mezcla de polímeros de cloruro de polivinilideno).

Los productos químicos agresivos presentes en el terreno en trabajos químicos o en basureros, originan los problemas de más dificultad para proteger las estructuras de cimentación.

5.4 ACCION DEL HIELO

El concreto hecho en obra a unos 30 cm., o más bajo el nivel del terreno en Gran Bretaña no es probable que sufra alteración alguna por parte del hielo. Sin embargo, en condiciones de severa exposición debe ponerse cuidado, al proyectar la mezcla y poner en obra el concreto. El efecto disgregador del hielo es debido a la expansión del agua mientras se congela en los poros del concreto. El efecto es más severo si la congelación tiene lugar rápidamente antes de que el agua haya tenido tiempo de ser expulsa da de la superficie o llevada al interior

de la masa.

Si las condiciones son severas, Hurdock recomienda utilizar la relación agua - cemento más baja posible compatible con una trabajabilidad suficiente para la compactación. Sostiene que una relación agua - cemento inferior a 0.5 puede -- considerarse segura contra el daño del hielo; entre 0.5 y 0.6 existe un cierto riesgo en casos aislados, y por encima - de 0.6 el riesgo se hace progresivamente mayor. Los agentes aireantes suelen aumentar la resistencia del concreto al hielo.

5.5 OTRAS FORMAS DE PROTECCION

5.5.1 CEMENTACION, SILICATACION, OBSTRUCCION DE LOS POROS CON ARCILLA.

Cementación: Mediante inyección de cemento puede incrementarse considerablemente la resistencia a los agentes agresivos y al mismo tiempo, la impermeabilidad de concretos, fabrica de ladrillos y muros de piedra. En esencia, el método consiste en inyectar a presión en el interior de el elemento a través de taladros previamente practicados. El mortero rellena poros y grietas, se endurece y forma un conjunto monolítico con la estructura tratada. Para acelerar el fraguado --

del mortero, puede agregarse hasta un 2% de CaCl_2 referido a peso de cemento. Naturalmente, es conveniente emplear para esta operación cemento resistente a los sulfatos. Si existen -- grandes grietas puede agregarse a la mezcla un 25% de cal apagada y un 2 a un 3 % de plastificante - porcentajes todos - - ellos referidos al peso del cemento -. No se recomienda el -- empleo de caseína.

Para eliminar las infiltraciones de agua en el terreno -- puede inyectarse a presión através de una serie de taladros, muy próximos entre sí, una emulsión de cemento que forma una pantalla de este material.

La cementación ha de realizarse, en general, con suspensiones muy diluidas, por lo que la parte de cemento fraguado forma un conjunto poroso y de fácil corrosión. El agua subterránea corrosiva y con frecuencia a presión, ataca inmediatamente la pasta de cemento aún plástica, lo que pone en peligro la capacidad de resistencia de dicha pantalla.

La disolución del CaO se produce, por lo tanto, con distinta intensidad según la edad de la estructura de la pasta - endurecida de cemento, y disminuye con el tiempo.

En la ejecución de una pantalla impermeable conviene tener presentes las siguientes recomendaciones:

- 1° Empleo de cementos de fraguado rápido y acelerados de fraguados;
- 2° Empleo de cementos que liberen poco Ca(OH)_2 ;
- 3° Empleo de relaciones agua/cemento tan bajas como sea posible.

Silicatado.- Además de la cementación, puede realizarse la inyección de silicatos. Este método consiste en esencia - en forma parecida a la empleada para la consolidación de suelos - en inyectar primero una solución diluida de vidrio soluble y luego otra de cloruro cálcico. La viscosidad de estas soluciones es considerablemente más reducida que la de la pasta de cemento, pudiéndose así rellenar los menores poros existentes. Al ponerse en contacto, las dos disoluciones reaccionan con rapidez, produciéndose silicatos cálcicos hidratados y un gel de ácido silícico que tampoco es soluble en agua, ejerciendo todos ellos una acción obturadora de los poros. Los productos de la reacción también se introducen en las grietas capilares, formando en ellas una película protectora, que aumenta la impermeabilidad.

Al aumentar la impermeabilidad de la superficie mediante el silicato, también aumenta la resistencia de la construcción respecto de los agentes neutros y alcalinos, mientras que el - gel de ácido silico aumenta la resistencia a los agentes débilmente ácidos. También la dureza, y con ella la resistencia a la abrasión y al desgaste, experimentan un aumento. Los concretos resistentes pueden endurecerse de esta manera por silicatado, empleando primero una solución diluida de silicato potásico, y luego una solución de cloruro cálcico.

Este tratamiento es relativamente barato, puesto que no precisa formación técnica especial diferente a la estricta observación de las instrucciones.

Obstrucción de los poros con arcilla.- Para impermeabilizar un concreto poco deteriorado puede emplearse, desde el exterior, una suspensión diluida de arcilla. Para ello, se utiliza una arcilla cuyas características mecánicas sean análogas a las del terreno. Esta suspensión de arcilla sirve para rellenar unas zanjas excavadas cerca del elemento de concreto a proteger, penetrando en éste y obstruyendo sus poros. No conviene emplear suspensiones densas porque entonces sólo se cigrran los poros de la superficie y no los del interior del Concreto.

5.5.2 IMBIBICION CON BETUN

Puede ser aplicado en forma de emulsiones. Sin embargo se ha podido determinar que, los recubrimientos realizados con este sistema, no son equivalentes a los empleados en recubrimientos en caliente.

La principal ventaja de las emulsiones consiste en la facilidad de su aplicación. En general, contienen un 45% de betún finamente dividido, además de diversas emulsionantes - estabilizadores - y materias de relleno, tales como arcilla, bentonita y, en algunos casos, también jabones. Las emulsiones bituminosas deben ser de fácil aplicación, sin grumos o separaciones, y con un contenido de sustancias minerales inferior al 8%. La capa protectora formada por las emulsiones, debe secar rápidamente y presentar gran adherencia. Una vez seca, debe permanecer sin grietas resistiendo una presión de 0.2 Kp/Cm^2 , durante 24 h. Otra ventaja de las emulsiones es que pueden aplicarse sobre concretos húmedos, lo que las hace muy apropiadas para el pintado de cimentaciones, pueden mezclarse con agua en cualquier proporción.

Para obtener una capa impermeable, es preciso también extender varias capas de emulsión bituminosa. La primera capa

ha de ser dada con un material menos viscosos que las siguientes. Es muy importante el que la capa anterior esté bien seca antes de aplicar la siguiente. El secado de una capa dura unas 3 h. en verano y de 5 ó 6 días en tiempo frío y húmedo - en invierno.

5.5.3 MATERIALES CERAMICOS Y PETREOS ACIDORRESISTENTES PARA REVESTIMIENTO DEL CONCRETO

Los edificios y obras expuestos a los agentes agresivos deben estar contruidos o recubiertos con materiales naturales o sintéticos resistentes a la corrosión.

Los revestimientos resistentes a los ácidos pueden ser ejecutados con rocas naturales, con ladrillos clinkerizados, placas cerámicas o un asfalto.

Los materiales naturales resistentes a los ácidos son, - entre otros, el cuarzo, la andesita, el asbesto y amianto, el granito, la cuarcita, el pórfido, etcétera.

Los revestimientos resistentes a los ácidos deben reunir las siguientes cualidades:

- 1.-Ser totalmente impermeables
- 2.-Acompañar elásticamente y sin agrietarse a las deformaciones de las estructuras.
- 3.-Adherirse bien a los elementos de la construcción que les sirven de base.

En el caso de que los agentes agresivos sean ácidos, no pueden realizarse revestimientos de concreto, por lo que los elementos expuestos a los ácidos deben protegerse con ladrillos clinkerizados, placas de keramit o ladrillos ácidosresistentes.

El keramit es un material muy duro, vítreo y, por lo tanto, sin poros, con el que se fabrican baldosas y ladrillos. Su color amarillo se debe a los silicatos férricos cálcicos. Su resistencia a los ácidos es excelente, empleándose por ello para la ejecución de revestimientos antiácidos.

Presentan los inconvenientes de ser poco resistentes a los álcalis y su escasa adherencia al material rejuntado, defecto este último que puede evitarse en parte sacrificando sus caras de asiento.

El campo de empleo de los materiales cerámicos compactados es muy amplio y, en la lucha contra la corrosión, no pueda

decirse que existan casos - a excepción de aquellos en que intervienen temperaturas muy elevadas -, en lo que no puede - - aplicarse un revestimiento antiácido de material cerámico.

Los ladrillos clinkerizados se obtienen mediante calcina ción de la arcilla a temperaturas de 1100 a 1200° C, hasta su vitrificación. Su resistencia a la compresión es de 350 Kg/ Cm². Este tipo de ladrillos constituye el material más apropiado para la construcción de muros de carga que resistan a los ácidos. Su capacidad de absorción de agua puede alcanzar el 8%. La pérdida de peso que experimentan en el ensayo de resistencia a los ácidos, mediante una mezcla de ácido sulfúrico y nítrico, no debe ser superior al 8%.

Los muros de contención colocados como aislamiento, respecto a las aguas subterráneas, pueden ser construídos con la drillos clinkerizados asentados con mortero bituminoso cuando dichas aguas subterráneas presentan contenidos de sulfatos inferiores a los 3000 mg/l.

Piedras Naturales.- Las rocas o piedras naturales, que - poseen una mayor capacidad de resistencia a los agentes agresivos, son la andesita, el basalto, la bestaunita, el granito, el pórfido granítico, las areniscas, la cunta, el asbesto, - la diabasa, la cuarcita, la pizarra y la baritina. Su absor-

ción de aguas varía entre 0.1 y 10%. La solubilidad en ácidos de las rocas citadas es del 15 al 40% (la del granito -- del 15% al 25%). Según estos resultados, las rocas naturales no serían resistentes a los ácidos, pero debido a su gran compacidad (en especial la del granito y basalto), se comportan como ácidos resistentes, de forma que pueden emplearse en la construcción antiácida. Solo la arenisca presenta una baja solubilidad al ácido, pero en cambio posee mayor porosidad y absorción de agua.

Porcelana.- La porcelana es material cerámico cuyo componente principal es el caolín. Es un material muy resistente a los ácidos y de difícil erosión. Existen muchos tipos de porcelana. En la construcción antiácida, la llamada porcelana dura es la que proporciona resultados más satisfactorios. La porcelana blanda resiste peor los agentes agresivos, por lo que es menos utilizada. Este material es impermeable al agua y a los gases.

Su resistencia a los ácidos es buena, y solo regular --- frente a los álcalis. La porosidad de la porcelana esmaltada es nula y la de la porcelana sin esmaltar varía entre el 1 y 8%. Es insoluble en un 99 a 100% en los ácidos y en un 97 a 98% en los álcalis.

La porcelana es el más caro de los materiales empleado en la construcción antiácida, por lo que no se emplea sino para fines muy muy especiales, tales como en la preparación de tintas de colorantes en la industria textil y en las instalaciones de molturación de materiales ácidos, así como para la realización de revestimientos de instalaciones en los que se producen descomposiciones acompañadas de elevadas temperaturas.

5.5.4 CAPA AISLANTE DE ARCILLAS PARA CIMENTACIONES DE CONCRETO

La ejecución de un muro de arcilla constituye el aislamiento exterior más sencillo y más barato, siempre que se disponga de arcillas adecuadas. El espesor que dicho muro debe tener para formar una capa realmente aislante, es como mínimo de 20 a 25 cm.

Para proteger las superficies verticales de concreto en terrado contra las aguas agresivas, puede efectuarse un relleno de arcilla húmeda (barro), que se apisona entre la cimentación de concreto y un tablaestacado hincado paralelamente a ella. El espesor del muro aislante de arcilla así formado debe estar comprendido entre 20 y 50 cm. Constituye una protección suficiente contra la acción de las aguas - -

agresivas, si su ejecución se ha realizado cuidadosamente y, es especial, si el tablaestacado permanece hincado en el terreno.

Las construcciones de concreto ejecutadas en terrenos ricos en carbonato sódico, pueden ser protegidas mediante -- estos muros realizados con arcilla carente de sosa. Es de gran eficacia agregar a la arcilla húmeda una emulsión bituminosa, ya que debe tomarse en cuenta que el muro aislante, aunque protege al concreto contra los agresivos no los aísla de la humedad. El muro de arcilla no sirve como aislante -- cuando existe una presión hidráulica unilateral.

Quando el nivel de la capa freática está situado por debajo de la solera de la cimentación, puede evitarse la ascensión del agua en el terreno por capilaridad, interponiendo entre la cimentación y el fondo de la excavación una capa de grava. Para evitar que el peso de la construcción introduzca la grava en el terreno, lo que produciría asentamientos peligrosos, debe extenderse una capa de arena entre la arcilla y la grava.

5.5.5 CONCRETO EN CAPAS

En los macizos de grandes dimensiones de concreto es suficiente que la capa externa de concreto sea de las características adecuadas, es decir, que dicho concreto haya sido -- fabricado con un cemento de buena calidad que resista los futuros agentes agresivos, con un árido de granulometría adecuada y con una relación agua - cemento reducida, compactando -- dicha capa por vibración. La dimensión máxima del árido empleado en esta capa externa no debe ser superior a 1:5 del -- grueso de dicha capa.

El espesor de la capa externa protectora debe ser como -- mínimo de 20 cm. La realización de esta capa es económica -- cuando el núcleo interno de concreto tiene dimensiones superiores a 1m. El concreto de la capa externa y el del núcleo pueden ser fabricadas con el mismo cemento, aunque con las -- distintas dosificaciones a que obligan sus diferentes finalidades. La capa externa de concreto no debe trabajar mecánicamente pues podría desprenderse del resto del concreto. Para evitar la diferencia de retracciones, el núcleo y la capa externa deben ser realizadas al mismo tiempo, aunque para evitar la separación que pudiera producirse, las dosificaciones de ambos concretos no deben diferir excesivamente. Si existe

la posibilidad de que produzca una infiltración del agua subterránea, no debe emplearse el concreto en capas.

5.6 AISLAMIENTO TOTAL (IMPERMEABILIZACION)

De todos los sistemas existentes, el aislamiento total - contra el agua es el que constituye la protección óptima. Naturalmente, la impermeabilización total es el sistema más costoso.

El aislamiento total puede realizarse mediante el empleo de betón, material sintético o un material apropiado.

a) Aislamiento negro.

El sistema más frecuentemente utilizado para lograr un aislamiento total consiste en pegar, sobre el elemento a proteger, tiras de material aislante. Estas tiras deben ser protegidas, a su vez, por un lienzo de ladrillos pobres en cal y resistentes a las heladas o de ladrillos clinkerizados.

Para la ejecución de la capa aislante, se considera necesario que se observen las cinco normas básicas siguientes, tanto si se trata de un aislamiento interno mediante varias tiras superpuestas, como si se tratara de un aislamiento - -

externo en las mismas condiciones.

1 La impermeabilización debe estar rodeada de elementos sólidos por todas partes, para evitar el deslizamiento de la masa adherente y la formación de bolsas o burbujas.

2 La impermeabilización sólo debe resistir la acción de las fuerzas normales a la superficie, pues de otro modo se -- producirán roturas por corte o arrugas.

3 Las fuerzas que actúan sobre la impermeabilización de ben estar uniformemente repartidas, o con variaciones graduadas. Deben adoptarse las medidas constructivas pertinentes para - que la carga mecánica no presente discontinuidades bruscas, - que podrian hacer que la masa adherente se desplazase huyendo de las zonas de más presión reducida. Los asientos pueden -- llegar a dañar las tiras aislantes.

La superficie a proteger debe ser firme, seca y carente de irregularidades y aristas agudas. Los cantos y vértices - deben redondearse con un radio mínimo de 4 centímetros.

El borde superior del conjunto de la capa impermeabili - zante debe estar situado a 0.5 m. por encima del nivel supe - rior de la capa freática.

b) Revestimientos Metálicos

Revestimiento de Plomo.- Las placas de plomo constituyen un material muy empleado en la protección antiácida. Antes - de la aparición de los plásticos era el material más usado. - Su empleo actualmente se ha reducido a los casos en que no -- pueden utilizarse materiales más baratos y que resistan los ataques previstos, o bien cuando se desea un grado de seguridad muy elevado en el aislamiento. El plomo puede ser doblado, deformado y recortado con gran facilidad, fabricándose -- chapas de distintos espesores, que pueden ser acopladas in - situ. Estas son las ventajas que presenta el plomo para su empleo en la protección y aislamiento de superficies de forma irregular.

El plomo empleado debe ser puro y sin aleación.

El revestimiento con plomo ha sido empleado hace mucho - tiempo como protección contra los ácidos, en especial contra el ácido sulfúrico caliente. Sin embargo, las soluciones áci das muy concentradas atacan al plomo cuando el efecto químico se una acción mecánica de lavado.

Los depósitos se recubren con una capa de 3 mm. de espesor, soldándose las uniones con solape.

Solo los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico muy -
concentrados atacan al plomo, también las soluciones de sal
común (NaCl), producen fuertes corrosiones en el plomo, -
como, en general, ocurre cuando aparece el ión cloro.

Revestimiento de Cobre.- Las aguas de reacción ácida -
(aguas de pantano, etc.), no atacan al cobre que, sin em-
bargo, es atacado por las aguas amoniacales y cloradas - -
(agua de mar, aguas residuales, etc.). Las corrientes --
vagabundas y la corriente alterna no producen efectos perju-
diciales en él, lo cual no ocurre en la corriente continua.
El empleo de revestimiento de cobre puede ser también efi-
caz en el caso de que existan sustancias alcalinas.

Para la protección se utilizan chapas de cobre en tira
continua de 0.1 a 0.2 mm. de espesor, colocándose tiras de
0.4 mm. de espesor en los recubrimientos de las juntas.

Las conducciones de cobre empotradas en el concreto se
oxidán sólo ligeramente, por lo que no precisan protección.

El elevado precio del cobre es el que limita su empleo.

En los revestimientos antiácidos, se emplean con gran -
frecuencia tiras de latón en las juntas de dilatación. Los

componentes solubles de los concretos, mortero de cemento y mortero de cal, dan lugar a un recubrimiento de la superficie del latón que impide anteriores penetraciones. Tampoco las aguas subterráneas de reacción ácida atacan al latón, de forma que la duración de éste, con o sin recubrimiento bituminoso, es prácticamente ilimitada.

Revestimiento de aluminio.- Tanto en la industria de la alimentación, como en el caso de ataques por ácidos oxidantes, el aluminio ha demostrado su eficacia. Sin embargo, el aluminio es atacado tanto por los ácidos no oxidantes como por los agentes alcalinos. Por ello, no se utiliza el aluminio para la ejecución de recubrimientos de concreto.

Aunque el aluminio es atacable por los álcalis, resiste en buenas condiciones al ácido nítrico. El empleo del aluminio sobre el concreto normal o la fábrica de ladrillo no es aceptable, a no ser que se interponga una capa aislante bituminosa o de plástico que la proteja contra los álcalis.

c) Materiales Sintéticos (plásticos).

En la actualidad, además de los materiales clásicos, se emplean cada vez más los plásticos y el caucho para la reali

zación de los aislamientos de las construcciones o para su -
protección. Mediante una adecuada preparación y elaboración
los materiales sintéticos pueden ser apropiados para la im -
permeabilización de construcciones expuestas incluso a pre -
siones hidráulicas unilaterales.

Los materiales sintéticos están formados por cadenas de
gran longitud de moléculas orgánicas. Según la constitución
de las macro moléculas puede distinguirse entre policondensa
sados, polímeros y poliductos, mientras que desde el punto
de vista de la técnica de su mecanización puede distinguirse
entre:

Termoplásticos, es decir, que se ablandan por la acción
del calor:

Termoestables o termoendurecibles, es decir, que resis -
ten y permanecen duros en presencia del calor.

Los plásticos termoestables que se emplean principalmen -
te en la construcción son los fenólicos, los aminoplásticos,
las resinas epoxídicas y alquídicas, el policloro (neopre -
no), el polietileno sulfoclorado (Hypalon), y el caucho
de polisulfuro (Thioplast, Thiokol). En lo que a termo -
plásticos se refiere, las resinas vínicas constituyen apro -
ximadamente el 50% de su totalidad, pudiendo citarse el - -

cloruro de polivinilo (PVC), el cloruro de polivinilideno - (PVD), el acetato de polivinilo (PVA), y el butirato de polivinilo, aunque también las poliofelinas, tales como el polietileno (PE), el polibutileno (PIB), el polipropileno, el politetrafluorietileno (Teflón), y el poliestireno, - representan un importante papel.

Según se trata de láminas de plásticos sueltas sobre la superficie a proteger, a las que solo están firmemente adheridas en determinados puntos, de forma que no exista un contacto ininterrumpido entre concretos y plásticos esté adherido - en forma continua sobre el objeto protegido, podremos hablar de un revestimiento o de un recubrimiento con material sintético.

Los revestimientos de material sintético se realizan mediante bandas continuas de 3 a 6 mm. de espesor. Estas bandas con tirafondos se fijan a la superficie objeto de la protección. Las cabezas de estos tirafondos se protegen con chapas de plástico, y los bordes de las bandas se sueitan entre sí. Este tipo de revestimiento se emplea en los depósitos de techo y fondo plano, especialmente cuando no se han de esperar variaciones bruscas de temperatura.

d) Siliconas

Las siliconas son combinaciones macro moleculares orgánicas de silicio, que presentan un gran parecido, en lo que a su estructura química y propiedades se refiere, con los hidrocarburos (combinaciones orgánicas), y que admiten en su estructura a los llamados radicales orgánicos. Su obtención industrial comenzó hacia 1940. Desde el punto de vista de su grado de polimerización y de su empleo, pueden clasificarse las siliconas en la forma siguiente: materiales sólidos de dureza variable (caucho de siliconas), y materiales untuosos de viscosidad variable (aceites). Todos estos materiales presentan la ventajosa propiedad de ser muy resistentes a) al calor y al agua. Sin embargo, son atacados por los ácidos diluidos. Las películas de siliconas recubren pequeñas grietas que pueden presentarse en las construcciones. En el caso de asentos y movimientos de pequeña magnitud en las cimentaciones, la silicona impide la entrada del agua. Las conducciones eléctricas pueden ser aisladas mediante siliconas, que no, obstante, son atacadas por los ácidos débiles.

El metil - siliconato soluble en agua puede ser mezclado directamente con el concreto o mortero. Según las condiciones impuestas respecto de la capacidad del concreto, pueden emplearse soluciones desde 2 a 20%. Los aceites de metil -

silicona no solamente son hidrófugos, sino que también inertes frente a la mayor parte de los ácidos. No son atacados por disoluciones débiles de los ácidos minerales, el ácido clorhídrico, nítrico y fosfórico; pequeñas cantidades de ácido sulfúrico concentrado y de ácido fosfórico, aumentan la viscosidad del aceite, mientras que en las grandes cantidades producen su despolimerización, terminando por disolverlo. El aceite de silicona es oxidado al cabo de un largo plazo por el ácido nítrico concentrado, mientras que el ácido clorhídrico gaseoso y seco disminuye su viscosidad al cabo de un cierto tiempo.

g) Goma Natural y Sintética

La goma se obtiene del caucho natural o sintético, al que se agregan diversas sustancias químicas, tales como negro de humo, azufre, decolorantes, etc., Una vez que el caucho bruto ha reaccionado con el azufre, se hace poco soluble y al mismo tiempo elástico. Como resultado de esta operación, que recibe el nombre de vulcanizado, se obtiene, en función de la cantidad de azufre agregada, la goma blanda, la semidura y dura.

Debido a sus excelentes propiedades de resistencia a los agentes agresivos, elasticidad y resistencia mecánica, la --

goma es empleada en la construcción como protección contra fluidos y de pavimentos y muros en las viviendas. Para ello se utilizan planchas de 1 a 2 m. de ancho y 3 a 5 mm. de espesor, de longitud arbitraria. Estas planchas se pegan con una solera de concreto o asfalto de 20 a 25 mm. de grosor. Una de las grandes ventajas del caucho es su capacidad de dilatación que garantiza el aislamiento, incluso en el caso de asiento o vibración en la construcción.

El proceso de corrosión del caucho, en la mayor parte de los casos, consiste en una expansión que provoca una reducción de las resistencias mecánicas; en otros casos, tiene lugar la disolución de alguno de los materiales agregados al caucho por el agente agresivo. Otro fenómeno que puede presentarse es la variación de la dureza del caucho, hablandándose o endureciéndose como consecuencia de una reacción química. En los casos peores, puede llegar a producirse la destrucción o la carbonatación del caucho.

También resiste a muchos de los agentes orgánicos, tales como alcoholes, ésteres y otros compuestos oxigenados, pero no puede ser empleado en presencia de hidrocarburos alifáticos y aromáticos (benzol, toluol), así como hidrocarburos clorados (tetracloruro de carbono) o aceites minerales.

C O N C L U S I O N E S

La investigación de la corrosión de los diferentes materiales empleados en la construcción de cimentaciones, y no solo de éstas, sino también estructuras que se encuentran al nivel del terreno normal, intentan resolver mediante ensayos problemas que aún carecen de solución. En los últimos años se han ampliado considerablemente los conocimientos en el campo de la química y los métodos de protección, pretendiendo elaborar impermeabilizantes, betúnes, pinturas y cementos de más alta calidad.

En el campo de las investigaciones a realizar para lograr un incremento de la resistencia de los agentes agresivos es preciso alcanzar una visión más profunda del proceso seguido por los distintos tipos de corrosión, desarrollando la teoría general, y aplicandola a las diferentes clases de protección a adoptar, basandose en fundamentos científicos.

Sin embargo, el técnico se encuentra siempre con grandes problemas que resolver, pues no siempre se puede deducir de los datos disponibles el grado absoluto de la agresividad del agente causante de la corrosión y, por lo tanto, determinar el correspondiente grado de resistencia o devilidad de los materiales componentes en los elementos usados en las cimentaci

nes y, por lo tanto, la protección mínima a utilizar.

Para ello propongo las siguientes alternativas:

- 1º Reunir los datos de todos y cada uno de los países - que disponen información sobre la resistencia real a los agentes agresivos de las construcciones de madera, acero y concreto expuestos en la naturaleza a la acción de dichos agentes, estableciendo un método internacional para investigar en el laboratorio los problemas de corrosión de madera, acero y concreto; unificando los conceptos y puntos de vista de las normas existentes en los distintos países. Permitiendo formular un criterio único y calificar de forma inequívoca el grado de corrosión, reduciendo las grandes diferencias existentes entre las diferentes normas que al --cabo del tiempo han sido publicadas.

- 2º Los métodos expuestos para la protección de cimentaciones y de algunas estructuras contenidos en el interior de esta tesis, a mi criterio son los más apropiados y eficaces que hay hasta la fecha, siendo estos en la mayoría de los casos los más accesibles, - dependiendo de las condiciones y situaciones existentes en cada caso. Es por esto que propongo hacer uso de ellos, esto es, llevarlos a la práctica.

3º Otro punto importante es la normalización de la acción de los agentes contaminadores en industrias, las cuales vierten sus aguas sin ser procesadas a drenajes y rios. Si se considera que un factor determinante en la formación de la corrosión y erosión de las diferentes estructuras son los desechos químicos e industriales se caera en la cuenta de la importancia de normar estos.

4º Para terminar hago notar el cuidado excesivo que de be tener el constructor en la elaboración de concretos en cimentaciones, debido a que de lo contrario, una mala dosificación o una mala calidad en la elaboración del mismo pueden provocar grietas o fisuras en él contaminado el acero de refuerzo con ayuda del medio exterior, teniendo como resultado consecuencias mayores.

Como hemos visto en el desarrollo de este trabajo, las investigaciones acerca de este tema en México son escasas, teniendo que adoptar tecnología extranjera, la cual es de mayor costo y no siempre la óptima, es por esto que uno de los propósitos al realizar esta tesis es la invitación al estudio profundo del tema aquí propuesto.

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

- | | | |
|-------|--|---|
| 1 | Tratado General de Construcción | Karl Esselborn |
| 2 | Diseño y Construcción de Cimientos | Tomlinson |
| 3 | Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos | Donald W. Taylor |
| 4 | Método planeamiento y equipos de construcción. | R. L. Peurifoy |
| 5 | Mecánica de Suelos Tomo I | Eulalio Juárez Badillo
Alfonso Rico Martínez |
| 6 | Corrosiones, Causes and Prevention | Frank Speller |
| 7 | La Corrosión del Concreto y su - -
Protección. | Imre Biczök |
| 8 | Comportamiento del concreto frente a los ataques producidos por sulfatos, cloruros y ácidos. | E. Von Hecker |
| 9 | Capacidad de los cementos a las --
aguas agresivas. | J. Jambor. |
| 10 | Química del Cemento | Kühl H. |
| 11 | Normas para proyectos de obras. | |
| 11 a) | Sistemas de protección anticorrosiva a base de recubrimientos
Norma 2.132.01 | PEMEX |
| 11 b) | Instalación de sistemas para protección catódica Norma 3.135.01 | PEMEX |

- 11 c) Recubrimientos, para protección --
anticorrosiva. Requisitos de cali-
dad Norma 4.132.01 PEMEX
- 12 Diccionario para Ingenieros
Inglés - Español Louise A. Robb
- 13 Diccionario Larousse
- 14 Revistas IMCYC Nos. 162, 177, 182.