

17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLÁN"**

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE ESTRUCTURAS
DE CONCRETO REFORZADO EN AMBIENTE MARINO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL**

258852

P R E S E N T A

DIANA BERENICE OSORNIO SALDAÑA



ASESOR DE TESIS:

ING. CARLOS ARCE LEÓN





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

TITULO	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO UNO	
1. Problemas en las estructuras de concreto reforzado	3
1.1. Propiedades y características del concreto y acero de refuerzo	4
1.1.1. Propiedades y características del concreto	
1.1.2. Propiedades del acero de refuerzo	
1.1.3. Historia del concreto	
1.2. Patología del concreto	8
1.2.1. Definición estudio y aplicación	
1.2.2. Etapas en las que se presenta	
1.3. Vida útil	11
1.3.1. Durabilidad y criterios de proyecto	
1.3.2. Mecanismos de envejecimiento	
1.4. Mecanismos de Daño	16
1.4.1. Asentamiento plástico	
1.4.2. Contracción plástica	
1.4.3. Contracción térmica inicial	
1.4.4. Contracción hidráulica	
1.4.5. Cambios de color	
1.4.6. Intemperismo	
1.4.7. Congelamiento y deshielo	
1.4.8. Contaminación atmosférica	
1.4.9. Daño o ataque instantáneo	
1.4.9.1. Fuego	
1.4.9.2. Sismo	
1.4.9.3. Efectos meteorológicos	
1.5. Efectos no deseados en una estructura	27
1.5.1. Agrietamiento	
1.5.2. Deformaciones	
1.5.3. Efectos químicos en el concreto	
1.5.4. Corrosión	
1.5.5. Reacción álcali – agregado	
1.5.6. Acción de los ácidos	
1.5.6.1. Ácidos inorgánicos	
1.5.6.2. Ácidos orgánicos	
1.5.7. Aceres, bases y sales	
1.5.8. Sustancias que dañan el concreto	
1.6. Daños generales en el concreto	39
CAPITULO DOS	
2. Las estructuras de concreto reforzado en ambiente marino.	42
2.1. Ubicación de las estructuras de concreto de acuerdo al ambiente expuesto	42
2.1.1. Características del ambiente marino	
2.1.2. Características de estructuras de concreto reforzado en ambiente marino	
2.2. Daños causados en el concreto debidos a la exposición en ambiente marino	50
2.2.1. Zonas de exposición	

INDICE.

TITULO	PÁGINA
CAPITULO DOS	
2.2.2. Daños causados por la exposición	
2.2.3. El agua de mar	
2.3. Cloruros	53
2.3.1. Ataque	
2.3.2. Manifestaciones	
2.4. Sulfatos	55
2.4.1. Ataque	
2.4.2. Manifestaciones	
2.5. Erosión	57
2.5.1. Ataque	
2.5.2. Manifestaciones	
2.6. Corrosión	58
2.6.1. Ataque	
2.6.2. Manifestaciones	
2.7. Reacción álcali – agregado	60
2.7.1. Ataque	
2.7.2. Manifestaciones	
2.8. Ataque de organismos vivos	61
2.8.1. Biodegradación	
2.8.2. Concretivoros	
2.8.3. Biocorrosión	
2.8.5. Crecimiento marino	
CAPITULO TRES	
3. Evaluación preliminar	64
3.1. Propósito de la evaluación	66
3.2. Revisión de documentos y datos históricos	66
3.3. Inspección en sitio	67
3.3.1. Características del inspector	
3.3.2. Equipo y material de apoyo	
3.3.3. Mediciones realizadas durante la inspección nomenclatura de los elementos	
3.3.3.1. Dimensiones generales de la estructura	9
3.3.3.2. Medición de desplomes desniveles y deflexiones	
3.3.3.3. Medición de grietas	
3.3.3.4. Medición de crecimiento biológico	
3.3.3.5. Estado General de los elementos	
3.3.3.6. Localización de la zona dañada	
3.4. Análisis preliminar	79
3.4.1. Criterios de carga y funcionamiento	
3.4.2. Elementos estructurales y no estructurales	
3.4.3. Evaluación estructural	
3.5. Lista de comprobación	82
3.6. Emisión del informe	84

INDICE.

TITULO	PÁGINA
CAPITULO CUATRO	
4. Evaluación detallada	86
4.1. Descripción de la construcción	86
4.1.1. Documentos históricos	
4.1.2. Inspección detallada	
4.1.3. Mediciones realizadas durante la inspección	
4.2. Criterio de funcionamiento	89
4.3. Estimación de la seguridad estructural	89
4.3.1. Análisis de esfuerzos	
4.3.2. Establecimiento y estimación de los coeficientes	
4.3.3. Elementos estructurales y elementos no estructurales	
4.3.4. Evaluación estructural y clasificación de daños	
4.4. Pruebas no destructivas	91
4.5. Pruebas destructivas	101
4.6. Lista de comprobación	103
4.7. Emisión del informe	105
CAPITULO CINCO	
5. Diagnóstico	107
5.1. Análisis del informe de evaluación en sus diferentes etapas	108
5.1.1. Revisión de la lista de comprobación	
5.1.2. Comparación de los informes	
5.2. Análisis de riesgo	111
5.3. Programa de pruebas	113
5.4. Monitoreo	119
5.5. Formato para emitir el diagnóstico	120
5.6. Emisión del diagnóstico	123
CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	125

INTRODUCCION

La presente tesis se realiza en su totalidad como una investigación documental. Este trabajo esta dirigido a los alumnos de licenciatura en Ingeniería Civil, Arquitectura y a los profesionales que se dedican a la construcción de estructuras de concreto, cuya finalidad principal es informar el comportamiento del concreto como material.

En la formación como ingenieros civiles, el plan de estudios de la Universidad Nacional Autónoma de México esta diseñado para cubrir las áreas que estudian al concreto como un elemento estructural, es decir que describen el comportamiento mecánico del concreto, pero este plan no habla o abarca sobre el comportamiento como material y su interacción con el medio ambiente, así como todos aquellos agentes que pueden ser dañinos en su desempeño como elemento estructural y como material.

El concreto, es el material de construcción más utilizado en nuestro país y por ello es importante que como estudiantes y profesionistas de la industria de la construcción, se conozca todo aquello que afecte el comportamiento de este material, por esta razón la tesis titulada. "Evaluación y diagnóstico de estructuras de concreto en ambiente marino", describe todos aquellos elementos que pueden dañar al concreto (patología), así como su comportamiento en un ambiente agresivo como lo es el ambiente marino y todas aquellas herramientas que puede utilizar un Ingeniero Civil o profesional de la construcción para detectar algún daño y evaluarlo adecuadamente.

La *Patología* dentro de la Ingeniería Civil tiene por objeto dar una explicación científica del comportamiento anómalo de las estructuras ya sea durante su construcción ó en condiciones de servicio. El estudio de este comportamiento abarca sus causas, la gravedad de su evolución y su repercusión en cuanto a la seguridad en general, para de esta manera, poder estimar su vida de servicio y decidir en cada caso, la reparación, el refuerzo ó la demolición de la estructura. De esta manera, se puede garantizar tanto la estabilidad como la durabilidad.

La *Patología del Concreto* es un tema poco exporado en nuestro país, sin embargo, tal especialidad es de gran ayuda para el desarrollo de las obras de infraestructura, pues gracias a los estudios que realiza, se previenen posibles fallas durante la selección de los materiales, la ejecución de la ingeniería de proyecto, la construcción y el servicio. Con mayor frecuencia es en esta última etapa, cuando se presentan lesiones patológicas en el concreto reforzado

En la mayor parte de los casos cuando se presenta algún tipo de deterioro en estructuras de concreto reforzado, principalmente en un medio marino, no se da el mantenimiento adecuado y las reparaciones se llevan a cabo varias veces. Sin embargo, no es posible hacer tales reparaciones sin conocer la fuente real del daño, para ello se requiere desarrollar toda una metodología, que permita emitir un diagnóstico del deterioro. Es aquí donde la realización de evaluaciones de las condiciones de servicio y la obtención de un diagnóstico son de gran importancia

En el medio marino, existe una gran cantidad de estructuras construidas a base de concreto reforzado, las cuales se dividen en tres grandes grupos. las estructuras costa dentro, en la costa y costa fuera, que requieren de un programa de mantenimiento constante, debido a que se encuentran sujetas por condiciones de servicio a vibración continua, a grandes esfuerzos, a cargas móviles, a cargas accidentales, a la acción de gases, de ácidos, y por condiciones del medio ambiente en el que se encuentran a temperaturas extremas. de alta salinidad, oleaje, intemperismo, vientos considerables, sismos, etc Todas estas acciones conjuntas van degradando lentamente a las estructuras y pocas veces llegan al final de su vida útil en condiciones aceptables

Actualmente existen estudios sobre la *Patología del Concreto*, sin embargo, no se cuenta con alguno que presente una metodología para la detección de las fuentes reales del deterioro que presentan las estructuras construidas a base de concreto reforzado en el ambiente marino

La propuesta que plantea esta investigación es describir los agentes y acciones por las que se deteriora el concreto reforzado y las manifestaciones principales como son: fallas, fisuras, agentes, acción química, etc., en el ambiente marino destacando, el papel que tiene la evaluación, ya sea preliminar, que consiste en el análisis del entorno en el que se encuentra la estructura y la evaluación detallada que involucra pruebas destructivas y no destructivas, para detectar las zonas de daño y realizar un diagnóstico que determine la raíz del problema.

El desarrollo del presente trabajo es en cinco capítulos los cuales describen lo siguiente:

Capítulo I: Problemas en las estructuras de concreto reforzado Investigación de las características físicas y químicas del concreto y de los principales problemas por los cuales se deteriora el concreto en losas, muros, trabes y columnas.

Capítulo II: Las estructuras de concreto reforzado en ambiente marino. Definir las características de una estructura en ambiente marino, además de conocer los daños específicos que este medio ocasiona en el concreto reforzado.

Capítulo III: Evaluación preliminar Describir los trabajos que se deben realizar en esta etapa de inspección, como son: , recopilación de información existente, planos, diseño de los materiales, realización de un plan de inspección, inspección visual en el sitio, descripción de pruebas complementarias que se realizan en esta etapa de evaluación

Capítulo IV. Evaluación detallada. Describir los trabajos necesarios para la evaluación e inspección, así como investigar y describir las pruebas destructivas y no destructivas que existen, analizar su aplicación

Capítulo V Diagnostico: Planteamiento y descripción de las acciones para dar un diagnostico Análisis de la información recopilada durante la evaluación preliminar y la evaluación detallada, para establecer la gravedad de la situación y la posible evolución de la misma.

CAPITULO UNO:
**PROBLEMAS EN LAS ESTRUCTURAS DE
CONCRETO REFORZADO**

1. PROBLEMAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Para poder entender cuáles son los problemas que afectan a las estructuras de concreto reforzado, es necesario saber qué es el concreto, qué es el refuerzo y qué características tiene

Definición.- El concreto es una mezcla, que consta esencialmente de dos componentes: los agregados y pasta de cemento hidratado. Puede ser definido como un aglomerado de agregados pétreos inorgánicos y no reactivos como grava y arena cohesionadas mediante algún aglutinante hidráulico (agua + cemento). La mezcla íntima de los componentes del concreto produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad, gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de una hora se toma rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse en el material mecánicamente resistente que es. Figura 1.1.

Los agregados en el concreto debido a su dureza y baja porosidad pueden ser considerados como el componente duro y discontinuo, por que son piezas individuales y generalmente no están en contacto unos con otros pues se encuentran separados por la pasta de cemento. El cemento y el agua son el elemento continuo de la pasta porque envuelven a los agregados y está en continuo contacto con la misma pasta, además dan al concreto su fluidez y trabajabilidad en la etapa de mezcla y colocación.

El concreto es un material esencialmente heterogéneo puesto que en él coexisten 3 fases: la sólida (agregados y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire incluido), resistente a la compresión, sin embargo, frente a esfuerzos de tensión, el concreto no puede oponer mayor resistencia que la unión superficial entre el cemento aglomerante y los agregados que lo conforman, lo que limita su aplicación o funcionalidad como elemento estructural, la solución a este problema es transferir los esfuerzos de tensión a otros materiales más resistentes tales como el acero.

El concreto reforzado es aquel en el que en su interior están dispuestas varillas de acero destinadas a resistir esfuerzos de tracción o de flexión.

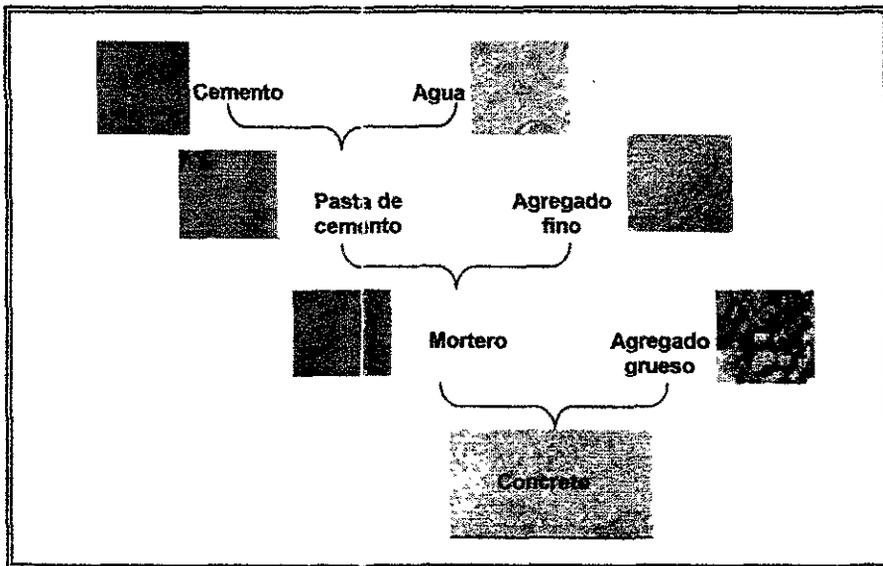


Figura 1.1. Componentes esenciales del concreto simple

1.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO Y ACERO DE REFUERZO

El concreto fresco y endurecido tienen diferentes propiedades y características, que pueden variarse en un grado considerable mediante el control de la calidad y cantidad de sus ingredientes, del medio ambiente y del elemento que se trate. A continuación se mencionan las propiedades más relevantes del concreto.

1.1.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Químicas:

Acidez.- El concreto es químicamente una base, tiene un pH alrededor de 13 y por lo tanto puede ser atacado por sustancias ácidas, disminuyendo su pH a valores menores de 7.

Reacción con los sulfatos.- Reacción producida entre las soluciones de sulfatos y la pasta de cemento endurecida provoca expansión y agrietamiento del concreto.

Reacción álcali – carbonato.- Reacción entre los álcalis (sodio y potasio) en el cemento portland y ciertos agregados de rocas carboníferas, tales como las calizas dolomíticas y dolomitas calcicas, en presencia de humedad presenta una reacción que causa expansión y el agrietamiento del concreto. Esta reacción ocurre tanto en el interior como en el exterior del concreto.

Reacción álcali – sílice.- Reacción entre los álcalis del cemento portland y ciertos agregados que contienen sílice tales como el ópalo, la calcedonia y la trífinita, esta reacción causa expansión anormales y agrietamiento en el concreto durante su servicio. Esta reacción ocurre tanto en el interior como en el exterior del concreto.

Mecánicas

Resistencia a la compresión.- Medida máxima de resistencia a una carga axial que actúa a compresión, se expresa como kg/cm^2 .

Módulo de elasticidad.- Es la relación entre el esfuerzo y la deformación que sufre el concreto

Módulo de ruptura.- Magnitud de la fuerza a flexión (tensión) que resiste el concreto.

Esfuerzo de tensión a la ruptura.- Mide la capacidad a la tensión diagonal y el esfuerzo a la tensión hasta llega a la ruptura del concreto.

Elongación.- Incremento de la unidad de longitud de la masa como un porcentaje de la longitud original.

Relación agua cemento.- Relación en volumen de la mezcla entre el agua y el cemento, este es un índice de la resistencia del concreto y la durabilidad.

Físicas

Trabajabilidad.- Es la facilidad con la cual puede mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad.

Uniformidad.- Se refiere a la homogeneidad de la mezcla: cemento, agregados y agua y a su dispersión cuando es colocado.

Impermeabilidad.- Es la propiedad de no dejar penetrar o atravesar sustancias ajenas como agua, humedad, bacterias a través de la masa del concreto.

Permeabilidad.- Es una medida de la capacidad del movimiento del agua a través del concreto

Densidad.- Propiedad de la materia que expresa el peso por unidad de volumen.

Contenido de Aire.- Es el volumen de aire contenido en los poros, se expresa como un porcentaje del volumen total de la pasta

Contenido de humedad.- Porcentaje de peso del agua libre contenida en los poros de la masa del concreto, factor que afecta el cambio del volumen de concreto

Cambio de volumen.- Diferencial de volumen debido a reacciones químicas internas o externas, cambios de temperatura, contracciones por pérdida de agua y aire

Durabilidad.- Propiedad del concreto para ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos, el desgaste, a los cuales estará sometido el concreto en servicio.

Resistencia al congelamiento y deshielo.- Medida que depende de la durabilidad y es usado para determinar la resistencia del concreto a desintegrarse por expansiones y contracciones internas ante los ciclos de congelamiento y deshielo.

Generación de calor.- Es la temperatura que alcanza la pasta de concreto al reaccionar el cemento con el agua

Factores que afectan las propiedades del concreto

Contenido de cloruro.- Es el peso de cloruro libre en el concreto expresado en kg/m^3 , la presencia de una cantidad considerable de cloruro provoca corrosión en el acero de refuerzo

Contenido de cemento.- Peso del cemento contenido en el concreto se expresa usualmente en kg/m^3 , y el contenido de dicho material en la mezcla influyen en la generación de calor durante la hidratación que genera agrietamientos si no se controla

Contaminación de agregados.- Presencia de impurezas orgánicas o inorgánicas, las cuales pueden interferir con la reacción química de la hidratación y de la resistencia.

Contaminación del agua de mezclado.- Las impurezas que contenga el agua de mezclado pueden interferir con la reacción química de la hidratación, esto provoca efectos diversos en la resistencia del concreto causando manchas en la superficie o corrosión en el acero de refuerzo

Proporcionamiento de los agregados - Son las proporciones respectivas que deben tener el agregado fino y el grueso en el concreto de acuerdo a su peso, un mal proporcionamiento en el concreto puede causar disminución en la resistencia, problemas de adherencia con el acero, mala trabajabilidad, etc.

Cemento defectuoso - Un cemento contaminado, pasado, mal fabricado, etc., afecta el comportamiento del concreto al 100%, pues no se alcanza la resistencia requerida, o al momento del fraguado total se fractura, esto se debe a la lenta hidratación de la cal, el magnesio y el sulfato de calcio

1.1.2. PROPIEDADES DEL ACERO DE REFUERZO

Prueba del doblado.- Requisito para los alambres y varillas de acero usado en el concreto donde se establece su capacidad al doblar sin que se rompa.

Resistencia a la ruptura - Es la resistencia promedio a la ruptura que alcanzan varias varillas de diferentes calibres.

Ductibilidad.- Es una propiedad mecánica que representa la deformación que puede sufrir el acero antes de romperse.

Contenido de carbono.- Es un indicador de las propiedades de las varillas de acero usadas para reforzar el concreto, puede ser usado para determinar la resistencia a la corrosión de las varillas de refuerzo, así como sus propiedades mecánicas.

Composición química - Es un indicador de las propiedades del metal las cuales pueden evaluar la posibilidad de que el acero sufra corrosión y algunas de sus propiedades mecánicas.

Deformación.- De acuerdo a los requisitos de espaciamientos, longitud y otras características físicas las varillas se deforman en el concreto reforzado, por lo que se tiene que ratificar la capacidad de dicho acero para soportar los esfuerzos requeridos.

Módulo de elasticidad.- Porción tangente de la curva de esfuerzo correspondiente a la tensión en el rango elástico lineal de la curva esfuerzo - tensión.

Elongación.- Es el incremento de la longitud que sufre una probeta de acero a tensión después de su falla, representada por un porcentaje de dicho incremento con respecto de la longitud original.

Esfuerzo de tensión.- Es la fuerza calculada a partir de una carga máxima aplicada a una probeta (varilla) durante la prueba de tensión dividida entre el área original de su sección transversal.

Propiedades del recubrimiento. - Se refiere a dos características del concreto y el acero en conjunto: al recubrimiento que el concreto proporciona al acero como protección contra el medio ambiente y a la adherencia que tienen ambos en función de la trabajabilidad

Reducción del Area.- Se refiere a la reducción del área de la sección transversal que sufre una probeta de acero a tensión después de llegar a la falla, se representa como un porcentaje del área original.

1.1.3.HISTORIA DEL CONCRETO

Siendo el elemento más versátil el concreto, puede moldearse en cualquier forma, no daña el ambiente, ya que todo es natural, es reciclable y es el material que se usa más frecuentemente en la construcción. Existen estadísticas que muestran que se produce una tonelada de concreto cada año por persona en el planeta, aproximadamente 6 billones de toneladas al año, dos terceras partes de las estructuras que hoy conocemos están hechas de concreto como; caminos, puentes, canales, presas, postes, tanques de almacenamiento, tubos para agua y drenaje, túneles, edificios, etc.

El cemento ha estado presente por lo menos desde hace 12 millones de años desde que la tierra experimentaba un intenso cambio geológico. Existe una formación que data de 3000 años a.C., donde las reacciones entre la caliza y la pizarra formaron un depósito natural de cemento durante la combustión espontánea ocurrida en Israel.

Las antiguas civilizaciones elaboraban sus propios morteros, por ejemplo, los egipcios usaron todo con paja para crear ladrillos, además de utilizar morteros de yeso y cal en las pirámides. Los Chinos utilizaron cementantes como la cal y la pizarra en la Gran Muralla.

Los griegos (300 a.C.) en la ciudad de Creta, usaron morteros de cal que era más resistente que todos los anteriores. Los primeros en inventar el cemento hidráulico o concreto como lo conocemos hoy en día, fueron los romanos utilizando caliza como cementante, sangre de animales, y grasa eran utilizados como agregados, dicha mezcla se utilizó en la construcción de los Baños romanos, el Coliseo, el Partenon.

De 1700 a la fecha se considera la época moderna del concreto, en la siguiente cronología se observan sus avances y su introducción en México:

Cronología de la época moderna del concreto	
Año	Avances
1793	John Smeaton descubrió que de la calcinación de la caliza que contenía ciertas arcillas se producía cal que endurecía debajo del agua. Smeaton uso esta cal para reconstruir un Faro en Cornwall, Inglaterra y escribió un libro sobre este trabajo.
1818	Maurice St Leger emitió una patente para morteros hidráulicos
1824	Joseph Aspdin inventó el cemento portland, quemando polvo de caliza con arcilla del terreno en un horno, tomando su nombre de la Isla de Portland en Inglaterra, pues el cemento al endurecer producía una piedra con propiedades muy semejantes a las rocas de dicha isla
1828	I.K. Brunel se acredita el diseño del primer concreto para reparar una oquedad en el túnel de Thames.
1830	se produce la primera cal y cemento hidráulico comercial en Canadá
1836	Se realizan las primeras pruebas de tensión y compresión en Alemania
1867	Jhosep Monier introdujo la idea del refuerzo para el concreto con barras de acero, realizando las primeras pruebas en jardineras
1869	Se introduce maquinaria para producir un cemento más fino.
1870	Se importa de Inglaterra Canadá y los Estados Unidos el primer cemento Portland
1880	Se analizaron los elementos clave del concreto para tener un proporcionamiento de la mezcla.
1885	El ingles Ertnest Ransome inventa la primera revolvedora para el concreto
1886	En Inglaterra se introduce el horno rotativo.
1889	Se construye el primer puente reforzado.
1891	Se construye la primera calle de concreto en Ohio en E.U.
1920	Comienza el uso extensivo del cemento en la construcción en Estados Unidos y México. En este último se construye con concreto Hidráulico el Camino al Desierto de los Leones y la avenida Reforma.
1923	En México se crea el Comité para la propagación del uso del Cemento Portland, se construyen el Instituto de Higiene y el Hospital para tuberculosos de Huipulco.
1925- 1930	Se construyen la Secretaria de Salubridad y Asistencia y el primer rascacielos de México.
1936	Se construyen los primeros diques de concreto en el mundo
1953	Se impulsa el desarrollo de la infraestructura en México a base de concreto Hidráulico.
1959	En México nace el IMCYC como el primer y único instituto especializado en el cemento y concreto
1967	La primera estructura de concreto abovedado se construye en la Universidad de Illinois.
1975	Se introducen los aditivos y agregados de tipo plástico en el concreto.
1997	Cemex crea el CIDITEC Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología del Concreto.
1999	Cemex produce 90 millones de toneladas anuales a nivel mundial.

1.2.PATOLOGÍA DEL CONCRETO

1.2.1. DEFINICION, ESTUDIO Y APLICACIÓN

La *Patología* dentro de la Ingeniería Civil tiene por objeto dar una explicación científica del comportamiento anómalo de las estructuras ya sea durante su construcción o en condiciones de servicio. El estudio de la patología en estructuras de concreto abarca las causas, la gravedad de su evolución, su repercusión en cuanto a la seguridad en general y definir en cada caso, la reparación, el refuerzo o la demolición de la estructura para garantizar tanto la estabilidad como la durabilidad.

La mayor dificultad del estudio de la patología del concreto radica en establecer de manera efectiva cuando una estructura presenta un mal comportamiento, no existe ningún método directo y simple para determinarlo, si no que es necesario recorrer un camino que suele ser bastante complejo:

- a) Detectar evidencias o síntomas de un posible mal comportamiento.
- b) La intervención de un experto que deberá establecer de acuerdo con sus conocimientos y experiencia en las evidencias mostradas, si corresponden a un mal comportamiento o no. No es fácil detectar las anomalías pues pueden encontrarse ocultas. Por ello es importante hacer distinción entre los siguientes términos:
 - Defecto: Situación en la que uno o más elementos de una construcción no cumplen con la función para la que han sido diseñados.
 - Falla: La finalización de la capacidad de un elemento para desempeñar la función para la cual fue diseñado.
 - Anomalía: Indicación de una posible falla
- c) Determinar el alcance del estudio que se realizara estableciendo objetivos.
- d) Definir una metodología y desglosar las actividades por ejecutar.
- e) Establecer la secuencia, duración y prever en forma global los resultados.

Saber buscar y/o cómo buscar, requiere conocer y entender el origen del daño, por ello el estudio de la patología del concreto involucra:

- a) Descubrir el daño.
- b) Determinar la causa o fuente.
- c) Evaluar la estabilidad que ofrece la construcción en su estado actual.
- d) Determinación de tipo de reparación aplicable.
- e) Proyecto de reparación.

El estudio del comportamiento de una estructura existente requiere realizar una investigación diferente de la que se utiliza en el diseño de una obra nueva, por tal motivo esta actividad necesita de la participación de diferentes especialistas: como topógrafos, químicos, arquitectos, etc. Fig. 1.2.

La *Patología del Concreto* es un tema poco explorado en nuestro país, sin embargo; tal especialidad es de gran ayuda para el desarrollo de las obras de infraestructura, pues gracias a los estudios que realiza, se previenen posibles fallas durante la selección de los materiales, la ejecución de la ingeniería de proyecto, la construcción y el servicio. Con mayor frecuencia es en esta última etapa, cuando se presentan lesiones patológicas en el concreto reforzado.

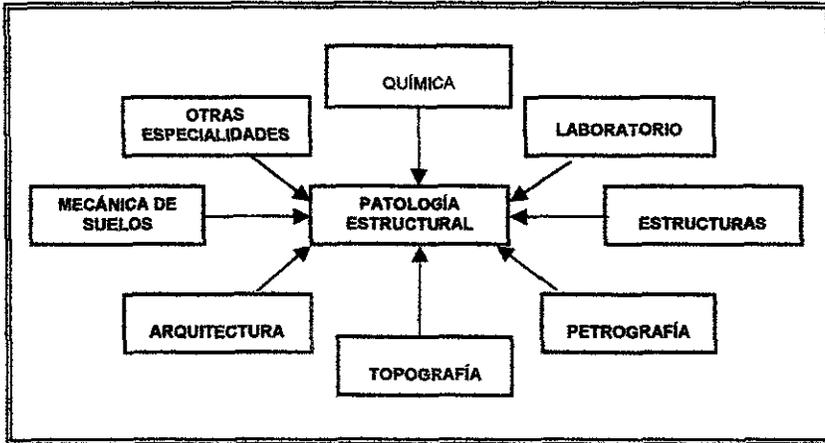


Figura 1.2. Patología estructural: interrelación con diferentes especialidades

Entre los síntomas patológicos más importante se encuentran:

- La aparición de grietas superficiales.
- La formación de una película superficial adherente o no, constituida por la reacción química entre agentes agresivos y el concreto endurecido, los cambios de coloración.
- Escamación y astillamiento, que es la separación de capas delgadas de la superficie del concreto.
- La aparición de grietas profundas.

Sin embargo independientemente de la causa que genere el daño, es el tiempo en que se detecta por primera vez el defecto, puesto que cualquier tipo de defecto en el concreto se puede identificar en dos etapas principales:

- La iniciación, la cual es lenta, y en donde se generan nuevos productos en la masa de concreto o se hace presente la lixiviación y agrietamiento, dichos defectos pueden ser detectados a simple vista
- La propagación del daño, la cual se desarrolla con mayor rapidez y presentan síntomas que pueden ser identificados tan sólo con métodos más sofisticados tales como la reacción álcali agregado o la presencia de cloruros.

Por ello es importante que una estructura cuente con un programa de mantenimiento durante su vida útil a fin de detectar cualquier daño o anomalía desde su etapa inicial

Cada problema en el concreto tiene un origen particular, un síntoma específico y consecuencias bien definidas, por lo que cada problema tendrá que ser resuelto con un tratamiento determinado siendo un error frecuente tratar de generalizar los métodos y pruebas para evaluar el daño y dar un diagnóstico

1.2.2. ETAPAS DE PROYECTO EN LAS QUE SE PRESENTA

Desde hace algunos años existe un acentuado interés en conocer dentro de un proyecto de ingeniería civil como cada etapa. Diseño, elección de los materiales, construcción y servicio, inflúa en la inestabilidad de la construcción, en especial de las estructuras de concreto

Este interés tiene diferentes orígenes, por un lado el asegurar las estructuras con pólizas de seguros razonables, por otro la investigación y normalización de técnicas para evaluar y diagnosticar los daños, el creciente número de estructuras que se reparan (comparadas con las que se construyen es mayor) y la actuación de los diseñadores, los constructores e inspectores implicados en el proyecto.

Errores en la etapa de diseño:

La falta de detalle en el diseño de los proyectos estructurales, tiene su origen en varias causas algunas de las más notorias son debidas a un diseño elaborado por personas que desconocen la normatividad y reglamentación, premura por la entrega de trabajos o capital insuficiente para efectuar el diseño profundo y detallado. Esto trae como consecuencia errores como los que se mencionan a continuación:

- a) El tipo de estructura no es adecuado para la clase de suelo, existe una mala geometría de la estructura, planta, elevaciones, etc..
- b) Elección inadecuada de los materiales. resistencia, modulo de elasticidad, rigidez, durabilidad, peso, incompatibilidad de materiales.
- c) Mal diseño de elementos estructurales: anclajes y juntas mal detalladas, cambios bruscos de sección, falta de refuerzo.
- d) Consideración inadecuada de elementos estructurales: mal ubicadas, exposición o ambientes severos.
- e) Errores de dibujo.
- f) Errores de cálculo.
- g) Errores de evaluación de refuerzo: mala estimación de cargas, efectos de contracción y fluencia no considerados.

Defectos de los materiales de construcción:

Para la construcción de cualquier tipo de estructura de concreto o de acero se debe de definir en la etapa de diseño, que tipo de materiales se utilizarán en dicha construcción y que cumplan con los requerimientos del proyecto, tipo de elemento que se trate, al Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas que correspondan:

- a) Acero.
- b) Concreto.
- c) Madera.
- d) Mampostería.
- e) Acero y concreto.
- f) Acero y mampostería.
- g) Concreto y mampostería.

Teniendo en cuenta que existe la posibilidad de que los materiales de construcción no están al 100% de las características por las cuales fueron elegidos como:

- Propiedades y características: mecánicas, resistencia al ambiente y uso
- Material y contenido: impurezas, incompatibilidad, fragilidad

Errores en la etapa de construcción:

Dentro de los más importantes:

- a) Aspectos geométricos. elementos horizontales y verticales, desniveles o desplomes, dimensiones fuera de tolerancia.
- b) Equipo, maquinaria y herramienta: mal calibrado, rendimiento y capacidad.
- c) Errores operacionales: incumplimiento de especificaciones, cuadrilla o personal no capacitado o especializado para colocar, manejar o instalar equipos, mal cimbrado, mal curado, retiro antes de tiempo de la cimbra, asentamientos o desplazamientos, juntas mal colocadas, no se respeta el recubrimiento, omisión de varillas o la colocación fuera de sitios indicado en planos, deficiente supervisión, concretos elaborados en obra con baja resistencia, etc.

Uso de la estructura:

- a) Cambios hechos en la estructura no considerados en el proyecto: ampliaciones, eliminación o adición de muros
- b) Cambios de uso: habitacional a comercial, comercial a habitación, educación, centro de recreación, etc.
- c) Cambios en la vecindad de la estructura: excavaciones, construcciones de nuevas estructuras circundantes a la existente, proliferación de fauna, etc.
- d) Exposiciones a condiciones ambientales: humedad, calor, temperaturas bajo cero, concentración de sales, efectos meteorológicos.

De las fallas que se presentan en una estructura de concreto reforzado aproximadamente el 45 % se detectan durante la construcción, un 17% antes de que expire la garantía y el resto posteriormente a este plazo. De este 38%, el mayor porcentaje se presenta entre los 7 a 10 años. A partir de los 20 años, no suelen aparecer daños motivados por razones de proyecto, ejecución y materiales y sí los debidos al mal uso de la estructura o al aumento de la agresión ambiental o al propio envejecimiento de la misma.

1.3. VIDA UTIL

Por vida útil de proyecto se entiende el periodo de tiempo durante el cual las estructuras de concreto mantienen sus características de seguridad, estabilidad, uso, apariencia con un mantenimiento previsto También se puede definir como el periodo en que la estructura es capaz de desempeñar bien o en forma eficaz las funciones para las cuales fue proyectada.

Dentro del tiempo en que transcurre la vida útil de una estructura se pueden definir diferentes etapas representadas en la figura.1. 3.

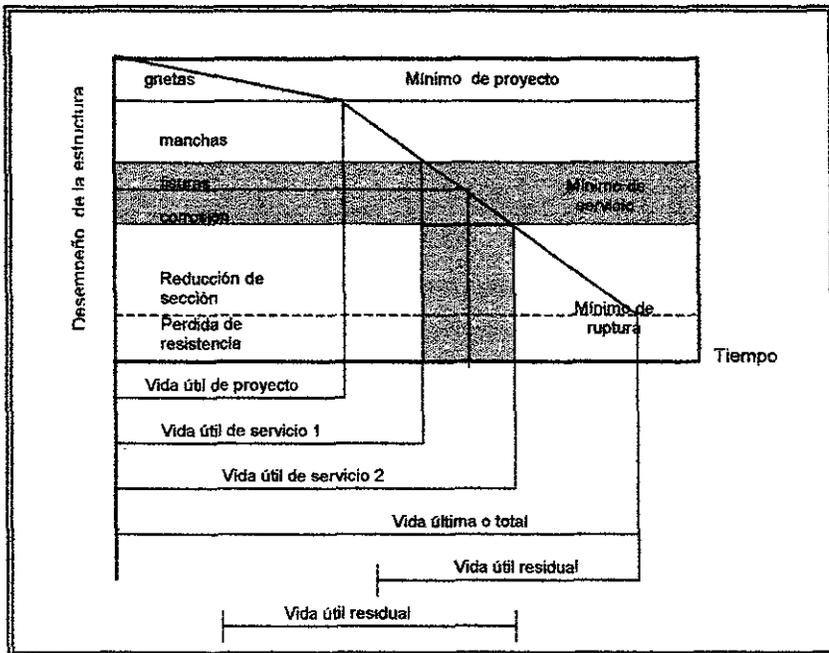


Figura 1.3. Concepto de la vida útil de una estructura.

Vida útil de proyecto: Es el tiempo necesario para que se presente algún deterioro o falla que se detecte como grietas o manchas.

Vida útil de servicio o utilización: Periodo donde la estructura de concreto presenta grietas, como por ejemplo las ocasionadas por corrosión.

Vida última o total: Corresponde al periodo donde se presenta una reducción en la resistencia o adherencia entre el concreto y el acero provocando un colapso total o parcial de la estructura.

Como puede observarse en la figura 1.3. un cambio en el comportamiento de la estructura hace que la línea que representa desempeño descienda y al interceptarse con la línea del tiempo, simbolizan una etapa en la vida útil de la estructura. Es importante señalar que el periodo de tiempo todas las etapas de la vida útil del proyecto se cuentan a partir del momento en que la estructura presta servicio y hasta el momento en que dicha estructura presenta un comportamiento anómalo específico que es lo que diferencia una etapa de otra.

Recientemente fue introducido el concepto de Vida útil residual: periodo de tiempo que la estructura dañada será capaz de desempeñar sus actividades, contando en este caso a partir de una visita o inspección donde se detecte el daño y hasta el momento en el que se rebasa o el estado límite de servicio o de falla.

En obras de carácter provisional se puede recomendar como vida útil un año por lo menos. Para estructuras de carácter permanente el ACI recomienda periodos de más de 50 años al igual que el Comité Euro-Internacional du Beton (CEB)

De acuerdo con el concepto de vida útil residual, es necesario definir los conceptos de estado límite de falla y estado límite de servicio conforme al reglamento del Departamento del Distrito Federal:

El Art. 182, establece que toda estructura y cada una de sus partes deberán diseñarse para cumplir contra la presencia del estado límite de falla y no rebasar el estado límite de servicio.

El Art. 183, define que el estado límite de falla será cualquier situación que rebase la capacidad de carga de cualquier elemento de la estructura o cuando ocurran daños irreversibles

El Art. 184, define que el estado límite de servicio es cualquier tipo de desplazamiento, agrietamiento, vibración o daño que afecte el funcionamiento de la estructura, pero que no perjudique su capacidad de carga.

La vida útil de una estructura depende tanto del desempeño de los elementos estructurales propiamente dichos como de los que no lo son, pero forman parte de la estructura. Todos los elementos y componentes incorporados a la estructura como drenajes, juntas, instalaciones eléctricas, sanitarias, especiales, impermeabilizaciones, aplanados, revestimientos, etc., generalmente tienen una vida útil más corta que el concreto por eso, necesitan inspecciones y mantenimiento mucho más continuo, que las estructuras de concreto

Las estructuras se diseñan para que al final de su vida útil posean una capacidad resistente de servicio superior a los mínimos establecidos. Si por razones de falta de resistencia, motivada por errores de proyecto, ejecución o deficiencia en los materiales, agresividad del medio ambiente, por excesos de cargas o acciones accidentales, por ejemplo la vida de una estructura puede definirse como una curva descendente cuya pendiente será menor a la estimada si se produce su agotamiento antes de lo previsto. Como ingenieros se puede intervenir para desplazar la curva en sentido positivo, haciendo que la estructura alcance su vida útil sin agotarse mediante inspecciones, mantenimientos y reparaciones. Figura 1.4.

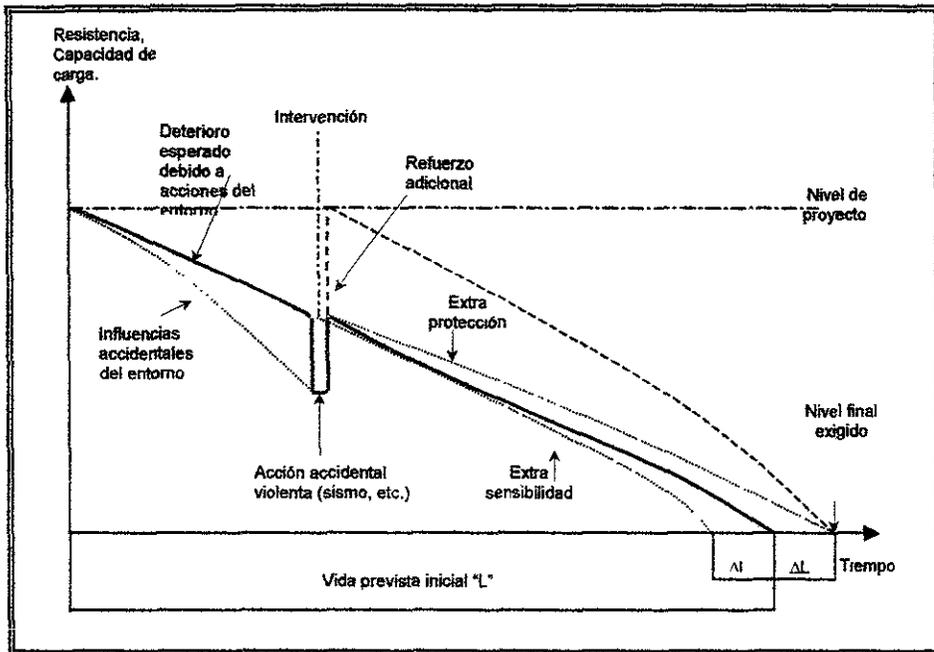


Figura. 1.4. Curva de la vida útil de una estructura de concreto reforzado.

Concluyendo, el tiempo que una estructura de concreto puede durar desempeñando el servicio requerido depende de numerosos factores relacionados con las condiciones de exposición y servicio, con el correspondiente comportamiento del concreto, el diseño, la construcción, inspección y mantenimiento.

1.3.1. DURABILIDAD Y CRITERIOS DEL PROYECTO

La durabilidad se puede definir como la capacidad de un material de resistir los cambios impuestos por los agentes agresivos que se presentan en condiciones de servicio; de igual forma la "durabilidad del concreto" es la propiedad que tienen las estructuras de concreto armado, de mantener sus facultades de resistencia y servicio, para las cuales han sido proyectadas, a lo largo de su vida útil. La durabilidad varía con el tiempo y depende mucho de las características microfísicas y químicas, más que de la resistencia mecánica a compresión del concreto.

El concepto de durabilidad del concreto implica el desarrollo de nuevas tecnologías de materiales, sistemas legislativos y normativos para el uso de las estructuras, búsqueda y predicción del comportamiento de las estructuras en condiciones de servicio y ambientales diversos, con la finalidad de que el desempeño que tenga la estructura en su vida útil, sea el adecuado en función de la seguridad, estabilidad y sin que exista un deterioro significativo.

Por ello las estructuras de concreto deben de ser protegidas, construidas y utilizadas de modo que resistan las condiciones ambientales previstas, tener un mantenimiento preventivo especificado desde el proyecto, conservar la seguridad, estabilidad y apariencia durante un periodo determinado de tiempo (vida útil), sin exigir medidas extras de mantenimiento y reparación.

Para lograr que el concreto en una estructura sea durable se requiere la cooperación y esfuerzo coordinado de por lo menos cinco responsables que definan las condiciones y criterios de proyecto:

1. El propietario: Debe definir sus expectativas presentes y futuras de uso para la estructura.
2. El responsable del proyecto arquitectónico: debe definir detalles, especificar materiales y mantenimiento preventivo.
3. Los responsables del proyecto estructural: deben de definir geometría, detalles estructurales y especificando la resistencia de los materiales y mantenimiento preventivo.
4. El responsable de la construcción: define el modo de ejecución y debe de respetar el proyecto.
5. El usuario: debe obedecer las condiciones de uso, de operación y de mantenimiento especificado.

Para evitar el envejecimiento prematuro y satisfacer las exigencias de durabilidad deben ser observados los siguientes criterios de proyecto:

- a) Diseño de un drenaje eficiente.
- b) Evitar formas arquitectónicas y estructuras inadecuadas.
- c) Garantizar que el concreto tenga la calidad apropiada, particularmente en zonas donde los elementos estructurales se encuentren expuestos
- d) Garantizar que el recubrimiento sea el adecuado para el acero
- e) Detallar adecuadamente el acero de refuerzo.
- f) Controlar las grietas y fisuras que se formen con el tiempo.
- g) Proteger con revestimientos especiales las estructuras en regiones donde existan condiciones ambientales agresivas.
- h) Definir un plan adecuado de inspección y mantenimiento preventivo.

Los criterios de proyecto que aquí se citan tienen como referencia una vida útil de proyecto de 50 años conforme lo establecen el ACI y el CEB.

En la figura 1.5. se ilustra la relación que existe entre la durabilidad del concreto y su desempeño. Antes de llevar a cabo un proyecto se define el diseño, los materiales a utilizar, el forma de ejecución y el medio ambiente, para que el concreto que se utilice satisfaga todas las necesidades, con ello la estructura tendrá un desempeño adecuado, será resistente, segura. Una vez establecidas las necesidades se diseña el concreto adecuado, si alguna de estas necesidades no es tomada en cuenta el concreto no tendrá el desempeño que se espera. La matriz del concreto (agregados, agua cemento) no será la adecuada y por su naturaleza porosa si existen los medios (mecanismos de transporte) y el ambiente necesano ocurrirá un deterioro ya sea en la pasta del concreto o en el acero de refuerzo que afectarán directamente en el desempeño esperado en la estructura.

El diseño deficiente se refleja en la durabilidad, mediante el deterioro físico y químico de la estructura de concreto. Este deterioro o disminución de su capacidad funcional, se debe básicamente al ataque de factores internos y externos que alteran la estructura. Estos factores pueden clasificarse en tres grandes grupos: físicos, químicos y mecánicos.

Sin embargo, el fenómeno más dañino desde el punto de vista de la durabilidad, es el de la corrosión del acero de refuerzo. Este fenómeno electroquímico, tiene su origen en la disminución de la capacidad del concreto de proteger las varillas de acero frente a la corrosión, esta disminución puede deberse a varios factores, pero los dos más importantes son la carbonatación y el ataque por cloruros.

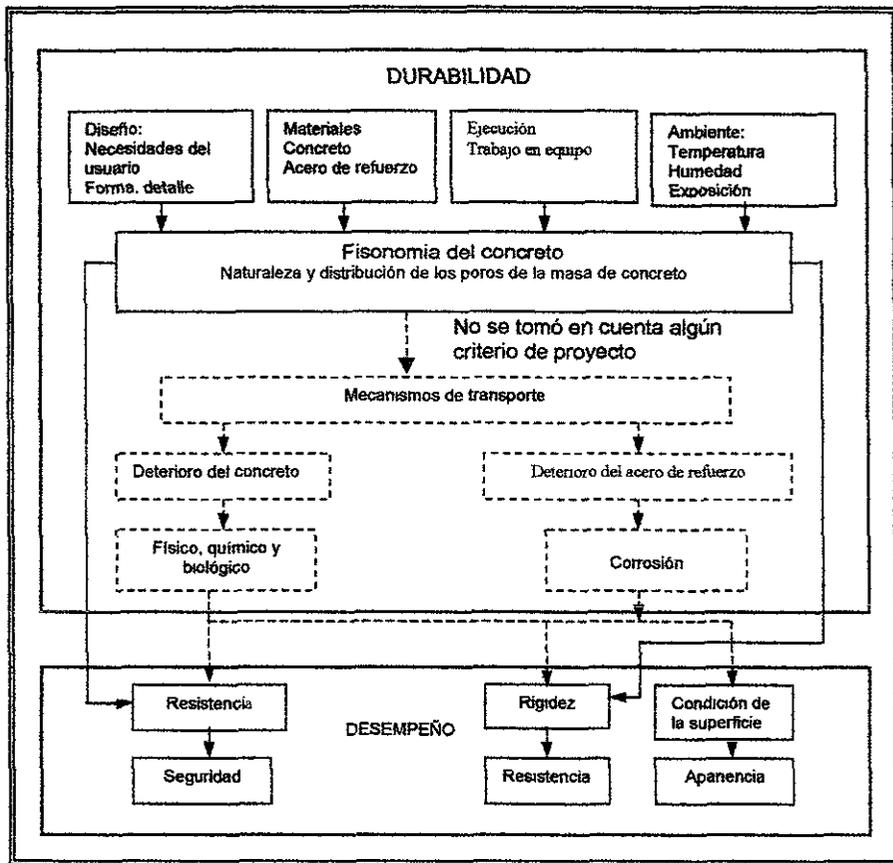


Figura 1 5. Relación entre durabilidad y desempeño.

1.3.2. MECANISMOS DE ENVEJECIMIENTO

El envejecimiento en el concreto se define como el deterioro gradual de la estructura y propiedades mecánicas, incluso en ausencia de agentes agresivos reconocibles

Los mecanismos más importantes y frecuentes de envejecimiento de las estructuras de concreto son

Lixiviación: es el proceso mediante el cual un líquido como el agua (carbonatada y ácida), al penetrar a través de los poros del concreto, disuelve y extrae las substancias solubles o compuestos hidratados de la pasta de cemento. Este fenómeno se produce cuando por condiciones de operación existe sobre la superficie del concreto cierta presión hidráulica, ciclos de saturación y secado. Las características básicas cuando ocurre lixiviación son, una superficie donde los agregados están expuestos, florescencia de carbonato, reducción del ph del agua contenida en los poros, exposición del acero de refuerzo provocando con el tiempo corrosión.

- Expansión por acción del agua y sulfatos que reaccionan con el aluminato tricalcico de la pasta del cemento hidratado. Cuando este fenómeno ocurre en la superficie del concreto se presentan grietas ramificadas, desgaste, reducción significativa de la dureza y resistencia superficial de concreto, reducción del ph del agua contenida en los poros superficiales.

- Expansión debido a la reacción entre el álcalis del cemento y ciertos agregados reactivos como los que contiene ópalo, calcedonia, sílice, compuestos calcarios, en presencia de humedad y temperatura que favorezcan dicha reacción. Cuando ocurre una reacción álcalis agregado el concreto presenta grietas generalizadas en una parte o en toda su superficie.

- Reacciones superficiales de ciertos agregados con material nocivo, tales como la piritita que pueden ocasionar manchas, cavidades o protuberancias debidas a transformaciones de productos féreos presentes en la constitución mineralógica del agregado.

Mecanismos de envejecimiento relativos al acero de refuerzo:

Desintegración por carbonatación: debida a la acción del gas carbónico de la atmósfera que penetra por difusión y reacciona con los hidróxidos alcalinos del agua y aire contenido en los poros del concreto reduciendo su ph. La presencia excesiva de CO₂ reduce la impermeabilidad de la pasta por la formación bicarbonato de calcio que es soluble y puede salir del concreto por lixiviación, ampliando los poros y motivando la formación de grietas. Ocurre en ambientes con humedad relativa de 40% al 98% o en ambientes sujetos a ciclos de congelación y deshielo, sus consecuencias son la reducción de la resistencia del acero de refuerzo en el concreto y aumenta su dureza superficial, en el acero puede ocasionar corrosión severa con presencia de manchas en la superficie del concreto, grietas, deterioro de la capa superficial del concreto y en la sección donde ocurre la corrosión el acero pierde adherencia provocando que la estructura o una de sus partes lleguen a su estado límite de falla.

Desintegración por un elevado contenido de iones de cloro: penetran a través de propagación o absorción capilar del agua, que tiene mayor contenido del cloro que el concreto. En ocasiones este daño ocurre desde el mezclado del concreto debido al exceso de aditivos y acelerantes para endurecer la pasta, reduce la resistencia del concreto y altera su aspecto superficial, puede provocar corrosión si existe una humedad considerable en el ambiente, presencia de manchas, grietas y disgregar a pedazos del concreto.

Como se observa el agua y las condiciones de humedad controlan y determinan el tipo y forma de deterioro que presenta el concreto

1.4. MECANISMOS DE DAÑO

En todo proceso químico y físico que afecta la durabilidad del concreto existen tres factores dominantes:

- El transporte de materiales, sustancias, gases.
- La acumulación de productos químicos que existe dentro de los poros de la masa de concreto
- El daño físico debido a las reacciones químicas.

1.4.1. ASENTAMIENTO PLASTICO

El asentamiento plástico se experimenta en el concreto durante las tres primeras horas, variando este lapso de tiempo con la temperatura ambiente. Se produce debido al sangrado que es el ascenso del agua contenida en el concreto hacia su superficie. Este fenómeno ocurre por el acomodo de los componentes del concreto de acuerdo con sus densidades por acción de la gravedad, ocurre una

consolidación de los materiales. En climas fríos el agua que asciende se puede ver sobre la superficie, en climas cálidos el agua se evapora más rápido de lo que llega a la superficie.

En la figura 1.6. se muestra una losa de concreto armada y deformada en dirección vertical. Durante el asentamiento plástico, la masa de concreto se encuentra en tensión donde se hallan colocadas las varillas del acero de refuerzo, debido a que son un obstáculo para que el asentamiento diferencial que ocurre sea igual en toda la superficie, cuando la pasta se empieza a secar, provocando grietas o fisuras adyacentes a las varillas, las grietas se incrementan con el diámetro de las varillas.

Las formas de grietas son muy variadas pueden presentarse longitudinalmente en dirección de refuerzo, siguiendo la dirección y profundidad del refuerzo en columnas y losas, en donde se encuentre colocados los estribos en las columnas, cuando el espacio entre las barras de acero es mínimo las grietas se producen en manera horizontal y en toda la longitud del refuerzo.

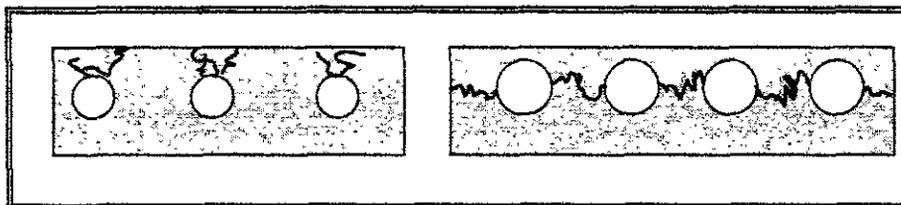


Figura 1.6. Daños ocasionados por el asentamiento plástico del concreto.

El grado de asentamiento, puede incrementarse debido a un mal diseño, deficiente vibrado, inadecuado recubrimiento para el diámetro de las varillas o elementos de refuerzo. Los casos más frecuentes donde se presenta el asentamiento plástico son: losas y pavimentos de concreto reforzado.

1.4.2. CONTRACCIÓN PLÁSTICA

La contracción plástica ocurre entre la primera hora y las siguientes seis a partir del momento de la colocación del concreto, ocurre cuando la evaporación del agua es más rápida que la velocidad de ascenso del agua contenida en los poros a la superficie, ocasionando que las fuerzas de capilaridad en los poros desarrollen un esfuerzo de tensión mayor al resistente.

Si el concreto no está en un ambiente permanentemente húmedo, va perdiendo el agua capilar, lo cual origina una contracción en los meniscos, que es la causa de la contracción, figura 1.7. En el concreto existen conductos capilares con canales de diámetro muy fino y las sustancias que se encuentran en la masa los saturan y avanzan a través de ellos. El agua por ejemplo sube por los conductos según su diámetro:

- 1.0 mm de diámetro sube 15 mm.
- 0.01 mm de diámetro sube 150 mm.
- 0.0001 mm de diámetro sube 150,000 mm.

Es una característica típica del concreto en climas secos, con viento o en época calurosa. El riesgo de que ocurra es mayor cuando el curado es deficiente. Las grietas por contracción plástica son poco profundas, tienen poca trascendencia estructural, se presentan con mayor frecuencia en estructuras de tipo superficial como losas y muros. Figura 1.8.

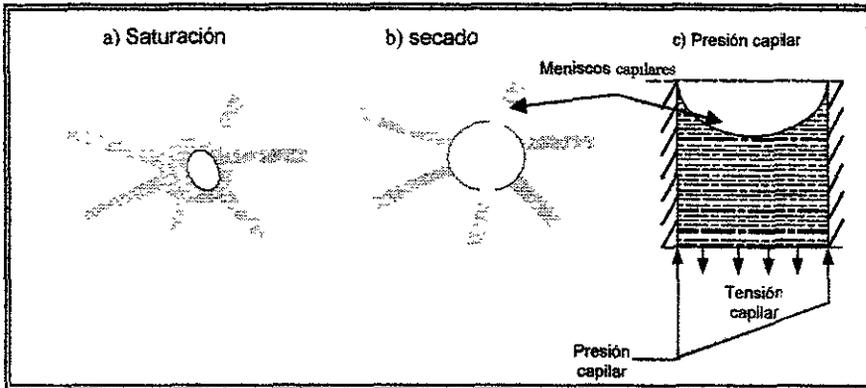


Figura 1.7. Comportamiento del agua en los poros del concreto.



Figura 1.8. Daños en el concreto por contracción plástica.

1.4.3. CONTRACCIÓN TÉRMICA INICIAL

Es producida por el calor de hidratación del cemento. En condiciones normales una pieza de concreto no disipa el calor a suficiente velocidad y alcanza temperaturas más altas que el medio ambiente. El concreto tarda varios días en disipar el calor por ejemplo un concreto con un $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, desarrolla una temperatura de 30°C y aproximadamente tarda 4 días en igualar su temperatura con la del medio ambiente, ocasionando en la masa saltos térmicos. Figura. 1.9.

Sí la contracción térmica se detiene, existe riesgo de que exista agrietamiento del concreto entre el primero y quinto día de edad, esto ocurre por una de las dos razones siguientes:

- Coacción interna:** la zona próxima a la superficie se enfría, como es natural, más rápidamente que la zona interior del núcleo, ocasionando un estado de tensión en la zona superficial y un estado de compresión del núcleo. El esfuerzo de tensión ocasiona grietas superficiales.
- Coacción externa:** Es la que se crea en el concreto recién vaciado por el concreto existente o por el terreno.

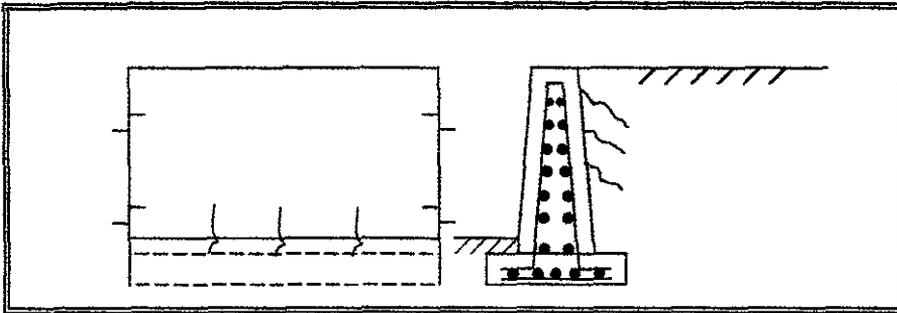


Figura 1.9. Daños por contracción térmica.

1.4.4. CONTRACCIÓN HIDRÁULICA

Consiste en una disminución del volumen que experimenta el concreto a medida que endurece; que es ocasionado por la pérdida de agua en la pasta debido al secado, evaporación e hidratación del cemento. Este fenómeno tiene que ver con la relación agua cemento, a medida que aumenta esta relación se incrementa la contracción. Cuando los agregados no tienen una buena graduación y el agua queda atrapada en los poros se produce también una severa contracción, por último la humedad y la temperatura del ambiente tienen gran influencia para que ocurra este daño.

Como se explicó en el inciso 1.4.3, al evaporarse el agua de los poros, origina esfuerzos de tensión, que pueden provocar grietas, sin embargo este tipo de daño es más severo porque al estar seco el concreto, el agua sale desde el interior de la masa de concreto ocasionando grietas desde el núcleo hacia ambos extremos, dañando más la parte que se encuentre expuesta. Las grietas debidas a la retracción hidráulica se producen en un período de 15 días a 1 año o en épocas de verano cuando el calor aumenta. Las estructuras más propicias a sufrir daños por contracción hidráulica son aquellas que presentan simultáneamente un volumen importante de concreto y una relación superficie libre a volumen relativamente alta como pavimentos, zapatas de cimentación, muros de contención. Figura 1.10.

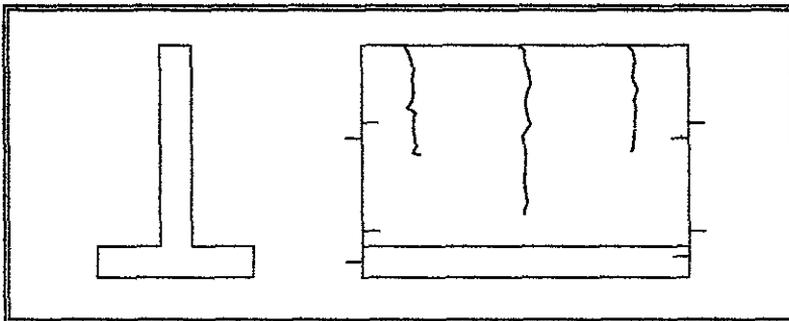


Figura.1.10. Daños por contracción hidráulica en un muro de contención.

1.4.5. CAMBIOS DE COLOR

La superficie del concreto sufre a lo largo de su vida cambios de color por causas muy diversas figura 1.1.0, que pueden representar una posible anomalía o algún defecto ocasionado por.

- a) Decoloración debida a la acción solar.
- b) Cambio de color entre las partidas de cementos.
- c) Depósitos de polvo, arenas, aceite, etc.
- d) Corrosión del acero de refuerzo.
- e) Ataque de microorganismos, plantas.
- f) Reacción álcali – agregado.
- g) Reacción de cal sobre elementos de concreto.
- h) Curado inadecuado.
- i) Efecto de aditivos.
- j) Contaminación de agregados y agua de mezclado.
- k) Cimentaciones en contacto con suelos agresivos

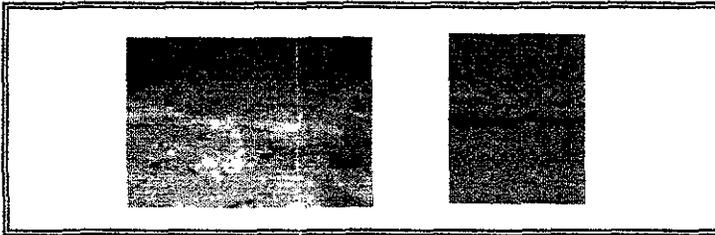


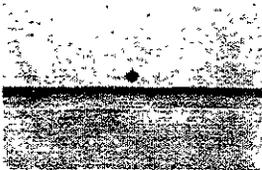
Figura. 1 10. Manchas en el concreto.

Por ejemplo al principio los depósitos, sólo dañan por lo regular el aspecto de concreto, pero no reducen directamente la capacidad, la resistencia, ni su durabilidad. Sin embargo estos depósitos con el tiempo provocan manchas que pueden contener materias contaminantes que dañan el recubrimiento del acero de refuerzo, las manchas que tienen más tiempo pueden extenderse en la superficie o penetrar con profundidad.

En cambio las manchas ocasionadas por humedad, por reacciones entre los componentes del concreto, oxidación por corrosión de acero de refuerzo, avanzan a la inversa del centro hacia a fuera y van acompañadas de desintegración, una cubierta de polvo muy fina, manchas de color café, agrietamientos profundos y considerables

Las siguientes imágenes muestran diferentes tipos manchas en la superficie del concreto que se observan comúnmente.

a)



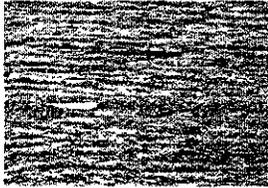
La diferencia de color que se aprecia entre las dos losas es ocasionada porque el cemento que se utilizo provenia de diferentes plantas. Un efecto similar se obtiene cuando existe diferente relación agua/cemento en la mezcla del concreto.

b)



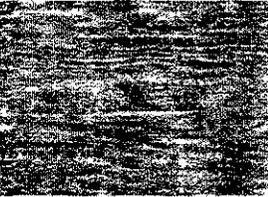
Las áreas oscuras que producen un efecto moteado corresponden a los agregados que se encuentran cerca de la superficie. Esto ocurre cuando el concreto no es bien vibrado o la pasta endurece muy rápido

c)



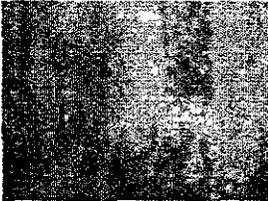
En esta ilustración se observa una pérdida de sedimentos entre juntas, resultado de la hidratación de la arena de la superficie, si la pérdida es más severa se extiende una mancha oscura en toda la junta.

d)



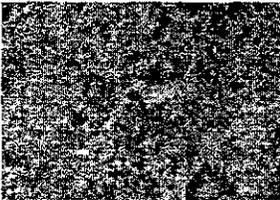
La pérdida de humedad cuando se retira la cimbra por secciones causa oscurecimiento en la superficie del concreto. Las zonas más oscuras corresponden a áreas donde hubo más absorción de agua

e)



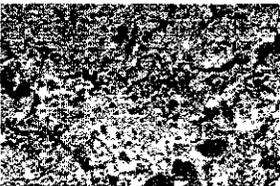
En esta ilustración la variación de color fue causada por la presión durante la colocación. Cuando se coloca el concreto confinado en un molde, la presión interna de la masa causa mayor absorción agua, siendo mayor en la base que en la superficie.

f)



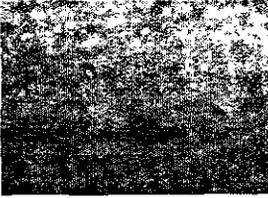
La decoloración en este caso es causada por el óxido que provoca la lluvia en la superficie del concreto, cuando este se está secando, se observan claramente la posición de cada barra de acero

g)



Decoloración por grasa es causada por una aplicación excesiva de aceite en la cimbra, dando como resultado una ruptura en la capa superficial del concreto, dejando expuestas, la arena y los agregados

h)



Estas manchas blancas son ocasionadas por diferentes condiciones de curado. Por la forma de la mancha se aprecia que al momento de curar el concreto se dejó una franja por donde la humedad escapó más rápidamente ocasionando esta diferencia de color.

1.4.6. INTEMPERISMO

El intemperismo se refiere al conjunto de acciones deteriorantes derivadas de las condiciones atmosféricas a la que se halla expuesta una estructura de concreto en el transcurso de su vida. Las acciones inherentes a tales fenómenos pueden ser defectos físicos y químicos. Atendiendo en este inciso a los de carácter físico como la abrasión mecánica y la erosión, ya que de las de carácter químico serán descritas en los incisos 1.5.3, 1.5.4, 1.6 y 1.7 del presente capítulo.

Tomando como base el ACI -116 que define a la abrasión como un desgaste provocado por acciones de frotamiento y fricción en las estructuras de concreto y la erosión como la deterioración superficial debida a efectos abrasivos o de cavitación ocasionado por la acción de gases, líquidos y sólidos en movimiento. Se puede distinguir que en la abrasión intervienen movimientos de partículas sólidas y no producen tanto daño como ocurre en la erosión, que interviene la acción directa de fluidos y producen desintegración.

La abrasión mecánica suele producirse en superficies de pisos y pavimentos de concreto hidráulico, como consecuencia del tránsito de personas y/o automóviles. Figura 1.11.

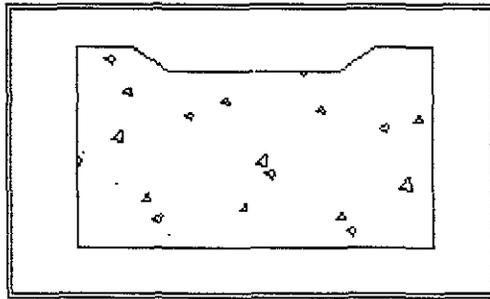


Figura 1.11 Abrasión mecánica en una losa de concreto

Las estructuras de concreto que se encuentran en contacto con un flujo de agua, están frecuentemente expuestas a sufrir erosión hidráulica consecuencia de los siguientes procesos:

Erosión por abrasión: Es el desgaste en la superficie del concreto que producen los diversos materiales que son arrastrados por el agua, hasta dejar parcialmente expuesto el agregado.

Erosión resultado del fenómeno de cavitación: De manera general se produce cuando la corriente de agua tiende a separarse de la superficie en ciertas zonas, creando áreas de baja presión, que traen consigo deterioro en esta zona ocasionando picaduras y desprendimiento del concreto.

1.4.7. CONGELAMIENTO Y DESHIELO

La exposición del concreto a condiciones climáticas en que su temperatura desciende por debajo del punto de congelación del agua, suele ser una fuente importante de daño prematuro de las estructuras expuestas.

El daño ocasionado por congelación y deshielo es consecuencia de las presiones internas que se originan por fenómenos relacionados con la congelación de agua que ocupa sus poros. Para que ocurra este daño se requieren tres condiciones básicas: uno que el concreto tenga suficiente agua (un grado de saturación crítico del 80 a 90%), dos que la temperatura sea lo suficientemente baja para provocar la congelación del agua interna del concreto (menor a 0°) y tres que el fenómeno se repita consecutivamente.

En el norte de la república mexicana las estructuras de concreto reforzado tienen un alto riesgo de congelación, para mayor detalle puede verse la figura 3.68 de la referencia 1.

El deterioro ocurre en superficies verticales que se encuentran expuestas al medio ambiente y en superficies horizontales en la línea de sumersión del agua.

El agua entra por los poros capilares o grietas que tenga la matriz del concreto, o en ocasiones penetra en los agregados por absorción, al congelarse el agua ocupa mayor volumen ocasionando fuerzas de tensión interna, que provocan agrietamiento. Al descongelarse el agua incrementa la porosidad de la masa del concreto y si existe un número considerado de ciclos de congelación y deshielo la superficie expuesta se va deteriorando lentamente. Figura. 1. 12.

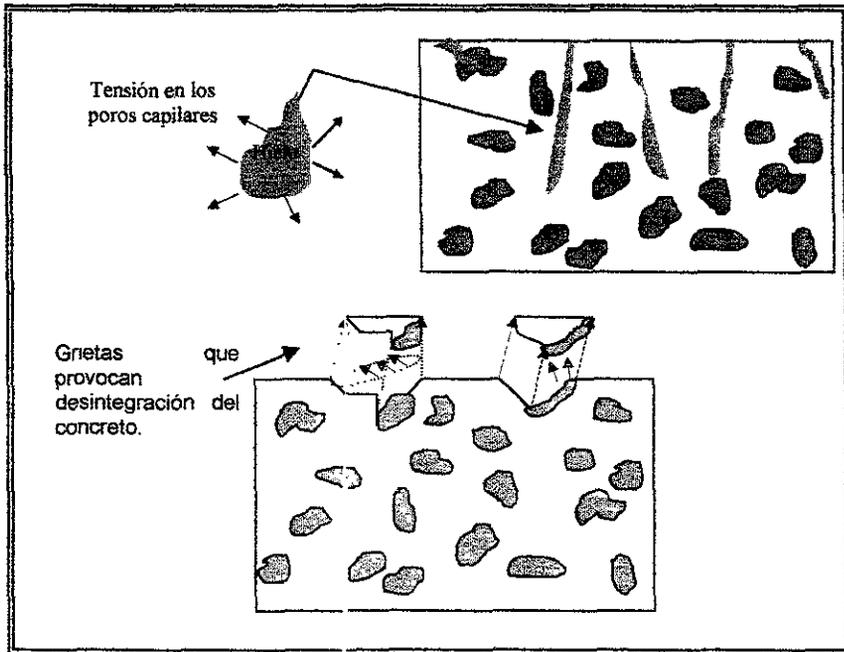


Figura 1.12. Acción del congelamiento y deshielo en el concreto

1.4.8 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: AIRE Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL

El aire atmosférico contiene en diferentes porcentajes gases como: oxígeno, bióxido de carbono y nitrógeno, que en concentraciones normales no causan algún daño al concreto. Sin embargo en zonas industriales, zonas costeras o en sitios con las características del Valle de México (que no permite la disipación de los gases producidos por la combustión) el aire atmosférico tiene concentraciones muy altas de Bióxido de Carbono (CO_2) producto de la contaminación atmosférica, dicho gas tiene efectos perjudiciales al reaccionar con el hidróxido de calcio de la pasta de concreto, disminuyendo el pH aumentando el riesgo de carbonatación y producir con el tiempo corrosión en el acero de refuerzo.

En combinación con el aire contaminado, el agua de lluvia que en teoría debe de estar libre de impurezas, encuentra en la atmósfera sustancias ajenas a la composición natural del aire. las recolecta y trasmite al tocar la superficie del concreto. El grado de contaminación del agua depende de la cantidad y clase de sustancias que hay en el aire. El daño que causa el agua de lluvia en el concreto es muy variable y depende de la zona donde se encuentre, por ejemplo el agua de lluvia de la zonas rurales y urbanas poco pobladas no se encuentra tan contaminadas como el de las zonas urbanas densamente poblada o industrializadas.

La sustancia más dañina para el concreto es el dióxido de azufre (SO_2), encontrándose en concentración más alta en la atmósfera en áreas industriales, con el agua de lluvia forma ácido sulfúrico que al reaccionar con el concreto forma sulfato de calcio y se deposita en la superficie o cerca de ella, cristaliza formando una capa, si existe algún movimiento diferencial entre esta capa y el concreto, se desprende la parte más superficial, se desintegra poco a poco (disminuyendo el recubrimiento) y puede ocasionar pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, ocasionando más adelante corrosión.

Si bien el deterioro que causa la contaminación atmosférica por medio del y la lluvia es lento, pero a largo plazo constituyen un medio de envejecimiento por intemperización de las estructuras de concreto.

1.4.9. DAÑO O ATAQUE INSTANTANEO.

Todos los mecanismos de daño mencionados son controlables en cierto modo, en una estructura de concreto. Sin embargo existen otros sucesos como son los eventos meteorológicos, sismos o incendios, que por su magnitud y ocurrencia, no se pueden controlar y dañan severamente al concreto.

1.4.9.1. FUEGO.

Al iniciarse un incendio los elementos estructurales sometidos a un sistema de cargas, comienzan a incrementar su temperatura hasta un cierto nivel que depende de las características del incendio y exposición al fuego de cada elemento.

Si la temperatura máxima es suficientemente alta y dura el tiempo necesario, el concreto y/o el acero de refuerzo pueden experimentar un cambio en sus características físicas, tal que lo haga bajo la acción de cargas de servicio.

Si el elemento no falla, al consumirse el incendio comienza a descender su temperatura, comienza a recuperar el equilibrio con el medio ambiente, aparentemente resistió el incendio, pero la estructura puede haber sufrido daño severo no aparente.

En un elemento de concreto reforzado expuesto al fuego, el concreto es más susceptible de sufrir daño que el acero de refuerzo por varias razones: la acción del fuego es directa sobre el concreto, en tanto que el acero de refuerzo es amortiguado por el espesor del recubrimiento; la disminución en la

resistencia del concreto al calentarse es irreversible lo que no ocurre con el acero cuando se calienta a menos de 800°C o enfría pues recupera gran parte de sus propiedades.

Si la temperatura supera los 300°C se produce una disminución en la resistencia del concreto a partir de la superficie expuesta al fuego. Se requieren pocos minutos para que en un incendio el concreto alcance esa temperatura, pero se requiere algo más de una hora para alcanzar temperaturas más elevadas para penetrar el recubrimiento y llegar al acero de refuerzo.

En la figura 1 13 se muestra el tiempo que tarda una estructura de concreto reforzado en calentarse de una temperatura ambiente de 21°C a 870°C y sus efectos.

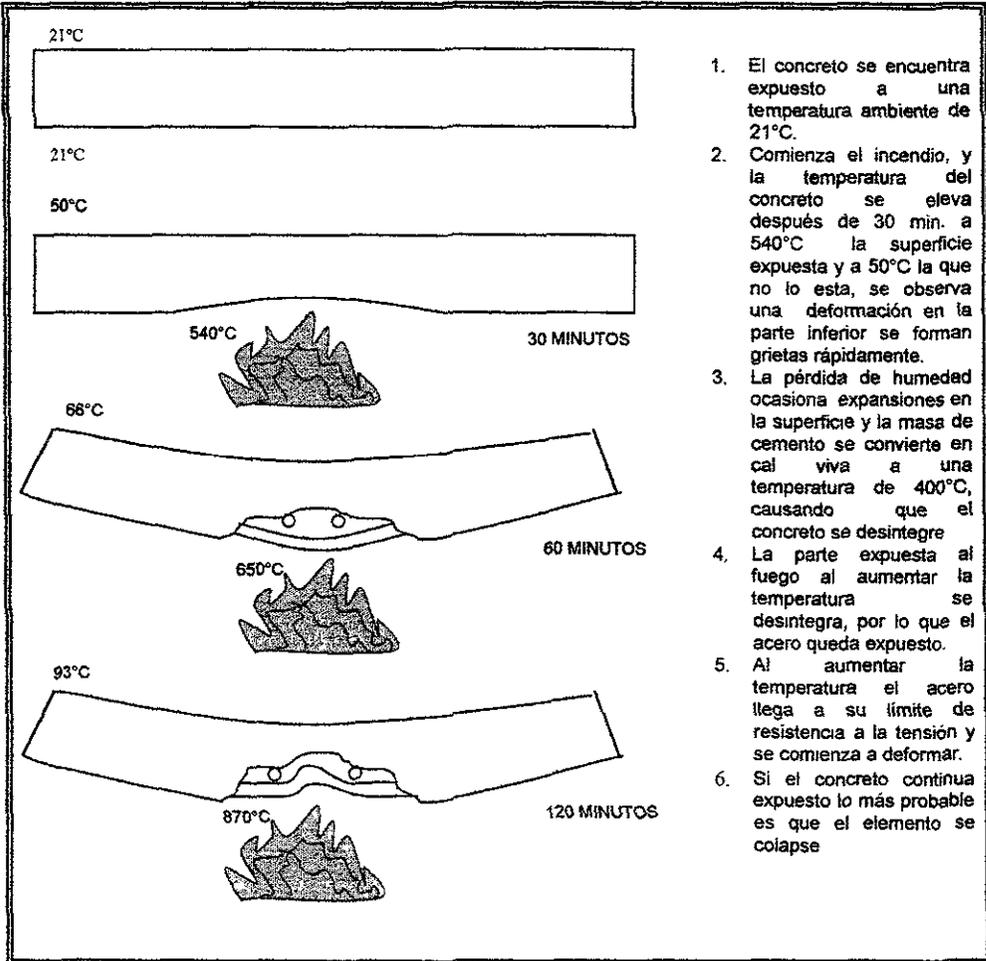


Figura 1 13. Daños debido al fuego.

1.4.9.2. SISMO

Cuando ocurre un sismo los daños son instantáneos e irreversibles, generalmente los sismos son débiles pero cuando no, tienen un efecto devastador sobre la infraestructura que se encuentra en la región donde ocurren. Por ejemplo en el sismo de 1985, existían alrededor de 800,000 edificios en la Ciudad de México, datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM; revelaron que 179 edificios se derrumbaron y otros 85 más estaban gravemente dañados y en peligro de caerse.

Las características de los daños causados por un sismo en las estructuras de concreto son únicas, pues dependen de gran variedad de factores como son el tipo de estructuración, tipo de suelo, intensidad y duración del telúrico. Figura 1.14.

A continuación se enuncia una lista de los daños que dejó el sismo de 1985 en las estructuras en el Valle de México:

- Derrumbes en los pisos inferiores de edificios muy altos por efecto de resonancia, que condujeron al subsecuente derrumbe total de la estructura.
- Volcamiento de cimientos.
- Desarticulación total entre columnas y losas de concreto
- Daño en fachadas
- Agrietamiento en juntas de contracción al nivel de pisos
- Fallas en la base de las columnas por fracturas de las varillas verticales
- Choque entre edificios
- Etc.



Figura. 1.14. Daños debidos a Sismo.

1.4.9.3. EFECTOS METEOROLÓGICOS

En ellos incluimos a las depresiones tropicales, tornados, trombas, tormentas que causan estragos y daños muy severos en las estructuras de concreto reforzado.

Cuando llega una tormenta a tierra con velocidades de 74 m/h y más, son detectadas entre 3 y 4 días antes, cubren un área circular entre 200 y 480 millas de diámetro. Con lluvias de 15 millas de diámetro. En estos casos la mayor parte de la gente es evacuada y los daños ocasionados por los vientos, la subida de mareas y las crecidas torrenciales son incalculables.

En el caso de un huracán tiene un alcance de 50 millas tierra adentro, erosiona las costas, dejando una gran devastación. Mientras mayor sea la fuerza del huracán y menos prolongada sea la costa, los vientos pueden alcanzar hasta 200 m/h. Los daños más significativos en las estructuras de concreto los techos (derrumbes), levanta pavimentos, dobla varillas de refuerzo, arranca postes de concreto, etc.



Figura 1.15. Daños causados por un Huracán

1.5. EFECTOS NO DESEADOS EN UNA ESTRUCTURA

Con el tiempo y debido a las condiciones de exposición, temperatura, medio ambiente, humedad, condiciones de servicio, etc., las estructuras de concreto sufren efectos o cambios no deseados como:

- a) *Agrietamientos*
- b) *Deformaciones*
- c) *Reacciones químicas:*
 - *Corrosión*
 - *Reacción álcali agregado*
 - *Reacción con ácidos (origen natural y químico)*
 - *Por sulfatos*
 - *Por cloruros*
- d) *Ataque de organismos vivos*

Cada uno de los incisos arriba mencionados, tiene características de manifestación diferentes y consecuencias que se traducen en daños como la reducción de la resistencia del concreto, exposición y desintegración de los agregados, pérdida de sección de acero, pérdida de la resistencia del acero a tensión, etc.

El ataque de organismos vivos se describirá en el capítulo dos con detalle pues es en estructuras de concreto en ambiente marino donde atacan con mayor frecuencia.

1.5.1. AGRIETAMIENTO

En los incisos anteriores se describió cómo muchas de las grietas se forman por el endurecimiento natural de la pasta de concreto, mientras que otras se forman por efectos térmicos y otras indican que los esfuerzos de tensión de la estructura los está soportando el concreto y manifiestan una posible falla.

En la figura 1.16, de acuerdo con el CEB (Comité Euro-Internacional du Beton) y el ACI, se muestra un cronograma de cómo se agrieta el concreto.

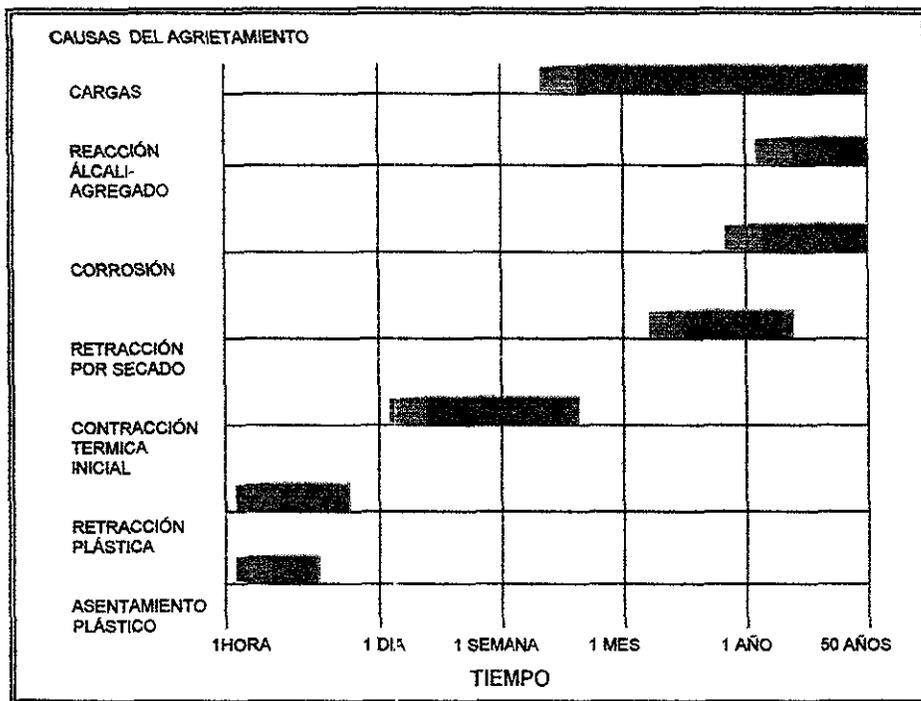
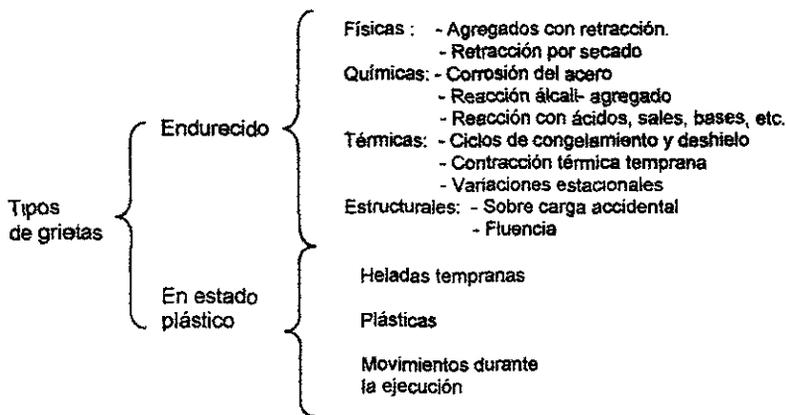


Figura 1.16. Tiempo en el que aparecen las grietas en el concreto desde el instante de la puesta en obra.

Dentro de las grietas o fisuras, existen dos tipos, las que se encuentran estabilizadas y que se denominan grietas muertas, estas no tienen influencia en la resistencia o durabilidad de la estructura y aquellas otras que están en continuo movimiento y que forman las grietas vivas. Al primer grupo pertenecen las debidas a retracción plástica, asentamiento plástico, movimiento de cimbras, cargas accidentales, al peso propio de la estructura, etc. Al segundo grupo pertenecen las de tipo térmico, acciones dinámicas, corrosión en acero, reacción álcali - agregado, etc. En todo proceso de agrietamiento es importante conocer la posición de las grietas con respecto a las cargas actuantes, su espesor, trayectoria y desarrollo en el tiempo.

De igual manera el CEB ha realizado una clasificación de las grietas de acuerdo con su origen, que es muy similar a la que se menciona en el párrafo anterior.



El agrietamiento puede ocurrir siempre y cuando la resistencia del concreto sea menor a los esfuerzos que esté sujeto. Existen diferentes mecanismos por los cuales los esfuerzos pueden ser generados:

- a) Movimientos generados dentro de la masa de concreto, como por ejemplo los debidos a la retracción por secado, expansión o contracción ocasionados por los cambios de temperatura, que causan esfuerzos de tensión. Por ejemplo el acero de refuerzo causa restricción local cuando ocurre una contracción en la masa de concreto.
- b) Expansión por el material que forma parte del concreto por ejemplo expansión por corrosión o reacción álcali agregado. Las grietas se desarrollan lentamente entre el agregado que contiene sílice y la masa alcalina del concreto, esta reacción ocasiona expansión local.
- c) La presencia de sulfatos contenidos en el agua, ocasiona grietas y expansiones. Al penetrar el sulfato en el concreto y entrar en contacto con el aluminato de calcio reacciona y forman sulfo aluminato de calcio, dicho producto cristaliza incrementando el volumen en la masa del concreto provocando esfuerzos de tensión y con ello agrietamiento.
- d) Los cambios climáticos, ciclos de congelamiento y deshielo, o ambientes húmedos en una época del año y secos en otro, provocan cambios en le volumen del concreto (por cristalización, saturación y evaporación del agua), la diferencia de temperatura dentro de la estructura y el ambiente.
- e) Condiciones externas impuestas, errores de diseño, detallado del refuerzo, cargas accidentales, deformaciones impuestas, etc.

En la siguiente tabla se describen el tipo de grieta, sus características típicas, periodo de formación, tipo de actividad y posibles consecuencias Tabla 1.1.

Tipo de grieta	Características	Periodo de formación	Situación probable de actividad de la grieta ³¹	Localización más común
Asentamiento plástico	Grietas diagonales en la superficie del elemento, se presentan a lo largo de las armaduras (> 1mm)	De 10 minutos a 3 horas	Inactiva	En cambios de secciones, en la parte superior de las columnas y losas.
Retracción plástica	Forman grupos de grietas ya sean paralelas entre sí o en forma de mapa(2-4mm)	De 30 minutos a 6 horas	Inactiva	Se presentan losas de concreto reforzadas o en pavimentos
Contracción térmica	Son grietas paralelas y separadas entre sí por distancias más o menos iguales, corren a lo largo de la superficie (<0.4 mm)	A partir de 1 día a 2 ó 3 semanas	Inactiva	Se presentan principalmente en las juntas de los muros o en donde existe una junta fría o en cimentaciones
Retracción	Grietas finas, pero de profundidad que afectan a las piezas	Después de una semana hasta un año	Inactiva Activa	Juntas de pavimentos y losas.
Corrosión	Grietas a lo largo del refuerzo, inicialmente pequeñas, donde existan manchas de óxido y exista abombamiento.	* más de 2 años	Activa	Miembros expuestos a medio ambiente agresivo: columnas y vigas.
Álcali agregado	Mapa de grietas en la superficie y a los lados del elemento cubiertas con un gel o con cal	* más de 5 años	Activa	Estructuras que hayan sido construidas con agregados reactivos
Grietas debidas a: Tensión Corte Cargas concentradas	Grietas generalmente pequeñas donde se presenta la acción de las cargas. Grietas grandes generalmente indican un mal diseño de la estructura	Depende de la acción de la carga	Su actividad y localización y distribución, dependerá del uso del elemento o estructura, además de la frecuencia y la magnitud de la carga.	
* Depende de las condiciones de exposición y servicio.				

Tabla 1.1 Clasificación del agrietamiento.

1.5.2. DEFORMACIONES

La deformación del concreto a esfuerzos constantes que se desarrollan a lo largo del tiempo se conoce como fluencia y es diferente a la deformación que se produce instantáneamente o en pocos minutos, produciéndose tanto en esfuerzos de tensión como de compresión. El concreto presenta problemas de astillamiento o descascaramiento, debido a deformaciones excesivas causadas por una sobre carga, por cambios de volumen o por efectos de tensión o compresión. Fig. 1.17.

Por ejemplo:

Vigas: en una viga simplemente apoyada, al aplicar una carga uniformemente repartida, se forman dos zonas la de compresión y la de tensión. Las barras de acero en la zona inferior se extienden, el concreto a su alrededor es sujeto a esa tensión y extensión. Cuando la tensión es excesiva en el concreto se forman grietas transversales cerca del acero de refuerzo, dañándose más severamente al centro.

Columnas: en las conexiones de columnas con losas y vigas, experimentan esfuerzos de cortante considerables. El esfuerzo excesivo produce grietas diagonales en la viga y alrededor de la losa.

En columnas se forman grietas de cortante en las uniones o juntas, ocasionadas por movimientos horizontales ocasionados por cambios de temperatura o sismos.

En el caso donde las columnas soportan cargas verticales, el concreto sufre cierta deformación vertical y se comprime ante el esfuerzo vertical y se abulta ante esfuerzo horizontal. El abultamiento genera fuerzas de tensión que son soportadas por el acero de refuerzo, mientras que el acortamiento de las columnas se debe básicamente a tres componentes: 1. El acortamiento elástico ocurre tan pronto como las cargas son aplicadas. 2. La contracción progresiva a través de los años, incrementada por la acción de las cargas y por pérdida de humedad en diferentes ciclos del año. 3. Contracción por secado

Los miembros en cantiliver son soportados, generalmente por un solo lado, como por ejemplo las losas de balcón. Las fuerzas de tensión actúan en la parte superior, ocasionando un momento negativo, si el acero de refuerzo es colocado apropiadamente el momento lo absorbe, sino es así, se desarrollan grietas donde se almacena la humedad y puede causar corrosión y pérdida en la capacidad de resistencia a la tensión.

Las deformaciones excesivas originan problemas en el concreto, como las flechas horizontales ocasionadas por viento y que desarrollan las estructuras altas y esbeltas, flechas verticales en elementos no estructurales y estructurales como: vigas / losas. La longitud de la flecha permisible es especificada por el diseño y estado limite de servicio.

En cualquier sección donde existan uniones, arreglos de acero de refuerzo y sean más o menos perpendiculares a la dirección de los esfuerzos, el agrietamiento debido a cualquier tipo de deformaciones (por acción de cargas de servicio) será relativamente pequeño. Cuando ocurre un agrietamiento extenso bajo la acción de cargas provocando una deformación excesiva, indica que el cálculo de diseño es inadecuado.

Otras deformaciones en los elementos de concreto son causadas por diferentes temperaturas como por ejemplo en las chimeneas, reactores, cuartos de explosivos. Debido a las variaciones de temperatura de la cara expuesta y el medio ambiente, la distribución de la temperatura no es lineal, induciendo esfuerzos de tensión en el interior del concreto suficientes para generar deformaciones que generan grietas.

El asentamiento o consolidación propia del terreno, si es excesivo causa deformaciones en la estructura, como flechas o pandeos en elementos continuos, como los marcos, en vigas y losas.

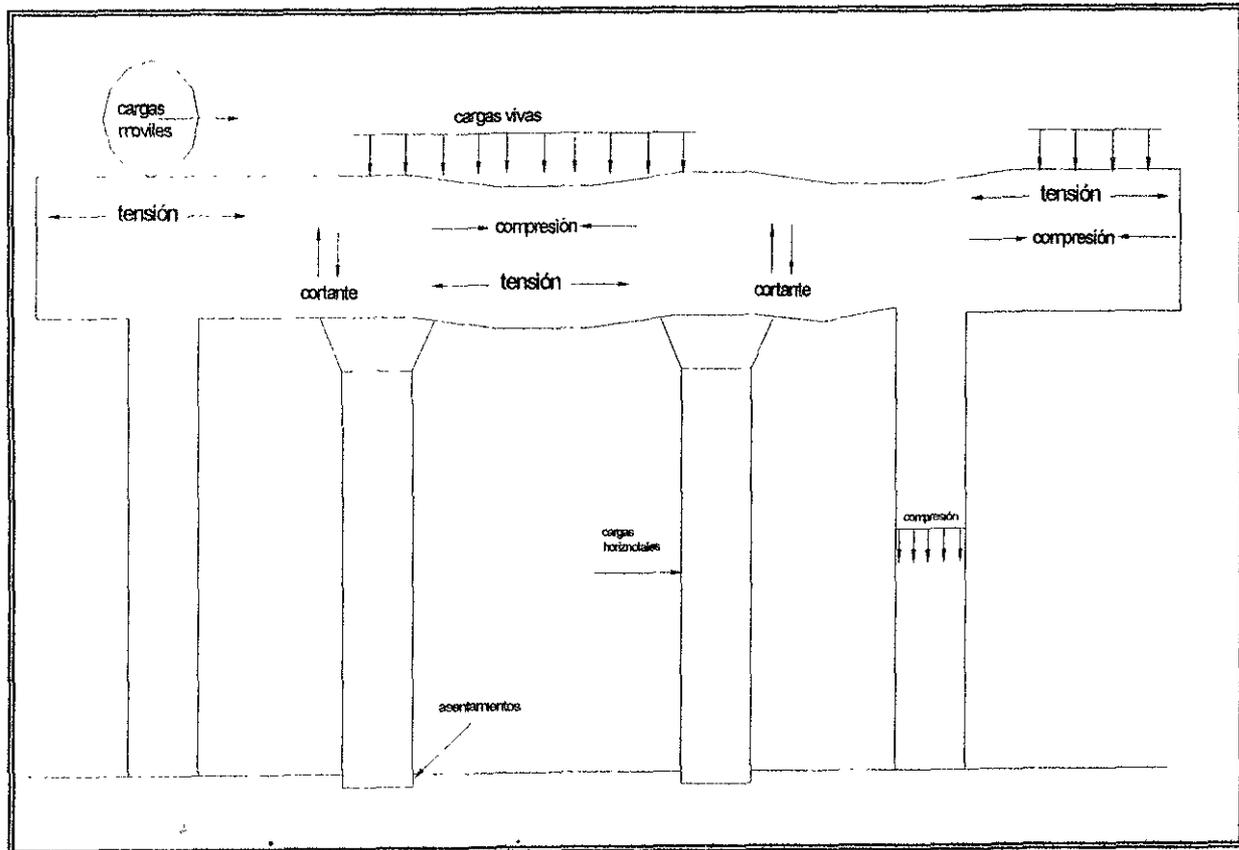


Figura 1.17. Ejemplo de deformaciones que sufre el concreto.

1.5.3. EFECTOS QUÍMICOS EN EL CONCRETO

El concreto químicamente es básico, tiene un pH alrededor de 13 y después de que ocurre algún tipo de reacción baja a 7 o sube a más de 13. Por ello el ataque de las sustancias químicas es variado. Cuando el concreto es atacado por una solución química la ruta y la extensión del deterioro dependen de la naturaleza y concentración de sustancias, la temperatura, la presión y lo más importante la calidad del concreto. El concreto endurecido es generalmente inmune al ataque debido a sustancias químicas de origen vegetal y animal. Sin embargo, existe un número considerable de soluciones químicas que pueden causarle daño y deterioro lentamente. Son pocas las soluciones químicas que se encuentran en la naturaleza como: agua ácidas, soluciones de sodio, sulfato o magnesio y el agua de mar, las restantes provienen de procesos de combustión, transformación, desechos, etc.

Las reacciones que se producen en el concreto pueden ser de carácter.

Extrínseco.- Ocurren cuando sustancias provenientes del medio ambiente entran en contacto con la masa de concreto, como las reacciones con los ácidos, las grasas, los sulfatos, etc

Intrínseco.- Ocurren con sustancias que se encuentran dentro de la masa del concreto como el sílice, los carbonos y silicatos de los agregados, que producen la reacción álcali - agregado

1.5.4. CORROSIÓN

La corrosión es el ataque destructivo de un metal y otros materiales, ocurre por agresión química directa o como un proceso electro - químico.

El concreto proporciona en condiciones normales al acero de refuerzo una adecuada protección contra la corrosión, esta protección se atribuye a la alta alcalinidad del concreto (12.5 pH) y a su resistencia eléctrica específica, que es relativamente alta en condiciones de exposición atmosférica. Con un contenido O_2 (oxígeno) normal dentro del concreto, el acero se recubre de una capa de óxidos muy adherente, compacta e invisible (capa de óxido de hierro pasivo) que lo preserva de cualquier signo de corrosión, mientras el concreto sea de buena calidad, no se encuentre agrietado y no cambien sus características físicas o químicas por agresiones exteriores Fig. 1.18

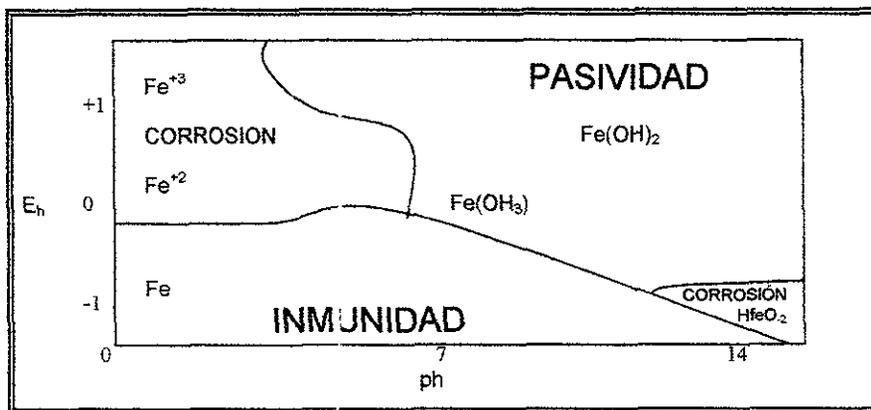


Figura 1.18 Diagrama de equilibrio potencial (Eh) - pH para el acero (Fe - H₂O) a 25°C.

De la figura anterior cabe destacar el significado de las zonas que más nos interesan:

Pasividad: Zona que representa al metal cuando posee películas oxidadas o hidróxidos sobre su superficie que inhiben la corrosión.

Corrosión: Región donde el metal se disuelve activamente, para valores de Eh alto el hierro se corroe en forma de iones de ferrato y para valores bajos en forma de iones de hidróxido ferroso.

Inmunidad: En esta zona el metal se encuentra perfectamente preservado y estable bajo ciertas condiciones muy especiales de potencial y ph

ph: Es el logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno, significa que "n" iones gramo de hidrogeno por litro de solución, un ph bajo representa una solución ácido y un ph alto una solución alcalina.

Eh: Equilibrio de reacciones entre el metal y el agua, es la tendencia a formar óxidos o hidróxidos

Cuando ocurre corrosión en el acero por ataque químico directo, las sustancias que dan origen a este fenómeno son:

- a) Los álcalis del cemento.
- b) El cloruro del calcio (presente en los agregados).
- c) Sulfatos
- d) CO_2 (bióxido de carbono).
- e) Disipación de iones de cloro
- f) Carbonatación.

La oxidación directa por la reacción o acción de átomos que penetran al acero de refuerzo como el oxígeno, ocurren generalmente entre un gas y un ion metal. Las sustancias mencionadas destruyen la capa pasiva del acero, que puede ser destruida localmente o en toda el área. Provocando una disolución de los álcalis, si el ph del concreto baja a menos de 7.5 se forma una película continua y uniforme de óxido de corrosión, el proceso ocurre lentamente en temperaturas uniformes, sin embargo en climas extremos donde ocurre saturación y luego pérdida de humedad la corrosión es acelerada, si además existen grietas por donde penetre el oxígeno y el agua, el daño es más severo.

La corrosión electro - química ocurre en presencia de un electrolito, se basa en la polarización entre el acero y el oxígeno. El acero se encuentra inmerso en un ambiente donde el líquido encerrado en los poros del concreto constituyen los electrolitos, formados principalmente por iones de OH^- (alcalinidad elevada con un ph entre 12 y 14) Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y SO_4^{2-} , cuyas cantidades varían dependiendo del diseño de la mezcla, la humedad, contenido de oxígeno, condiciones de exposición. Si las condiciones de humedad y temperatura lo permiten ocurre un flujo de electrones, del ánodo al cátodo, siendo el acero el conductor. La reacción que resulta incrementa el volumen del metal "Fe" en un óxido $\text{Fe}(\text{OH})_{2y} \text{Fe}(\text{OH})_3$ y precipitarse a un HFeO_2 . El daño más grave ocurre en el ánodo.

Como observamos para que ocurra la corrosión siempre deben de estar presentes: el oxígeno humedad relativa alrededor el 50% y valores próximos a la saturación. Ambos factores tienen un carácter ambivalente pues cuando el acero se encuentra pasivado, una mayor capa de oxígeno y/o humedad pueden servir para engrosar la capa pasivante y cuando las varillas se corroen activamente, actúan acelerando notablemente el ataque o en su ausencia lo detiene completamente.

Consecuencias

1. Reducción de la sección de las varillas de acero, merma la adherencia con el concreto, degradándose sus propiedades mecánicas, demeritando el desempeño de la estructura con el tiempo
2. Origena productos cuyo volumen es varias veces superior al de los elementos originales, ocasionando tensiones y agrietamiento, severos en elementos estructurales.
3. Presencia de picaduras y deslaminación en capas de la cubierta del concreto

1.5.5. REACCIÓN ALCALI – AGREGADO

La reacción álcali - agregado se identifica como un proceso físico - químico en el cual intervienen principalmente los minerales que constituyen la roca utilizada como agregado, según sea su naturaleza cristalina o amorfa y una solución alcalina o hidróxidos alcalinos contenidos en el concreto aportados por el cemento, por los agregados o algún agente externo.

Una solución alcalina es aquella que tiene cal hidratada (hidróxido de calcio) y contenidos variables de iones de sodio y potasio, como la que se encuentra en los poros del concreto. El sílice, los silicatos y el carbonato contenidos en los agregados pueden reaccionar con las soluciones alcalinas. Se identifican tres tipos de reacción álcali – agregado:

- álcali - carbonato
- álcali - silicato
- álcali – sílice

Pueden ocurrir varios tipos de interacciones en cada clase y no todas son necesariamente expansivas o dañinas

Reacción álcali - carbonato: los álcalis son aportados por el cemento en la fase líquida de concreto y las rocas carbonato (caliza). se produce en presencia de agregado fino o arena dolomítica, la cual contiene calcita y arcilla. Produce expansiones dañinas

Reacción álcali - silicato: ocurre en concreto ricos en álcalis, las cuales contienen argilita y rocas del tipo gravaca en el agregado. La reacción es lenta

Reacción álcali – sílice: en ella intervienen los hidróxidos de cal y el material sílice o de los agregados del concreto, sus efectos se manifiestan lentamente

Para que estas reacciones ocurran se deben de conjuntar los siguientes elementos:

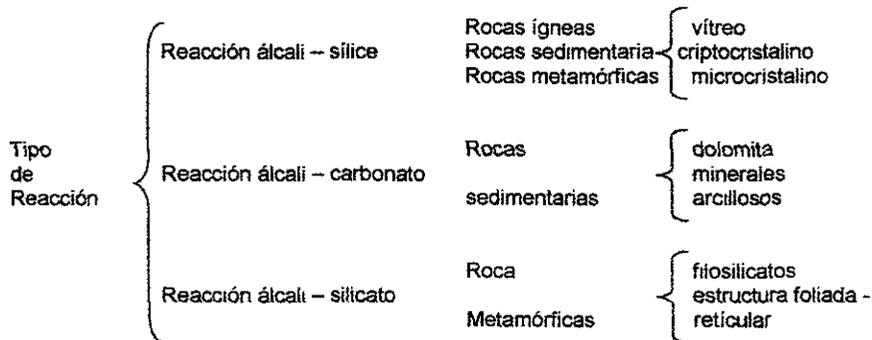
1. Los agregados deben de contener rocas y minerales reactivos con los álcalis.
2. La solución de poro de concreto debe contener suficiente proporción de álcalis (mayor al 0.6% de Na_2O en peso)
3. La estructura debe prestar servicio en condiciones ambientales tales que se presente un contenido de humedad del 80% aproximadamente y una temperatura ambiente de 21°C a 24°C .

El mecanismo de la reacción álcali agregado por lo general es el siguiente: el agente reactivo entre en contacto con los iones de hidróxido de cal, reacciona formándose un gel, que en condiciones de humedad propicia puede cristalizar, generando una expansión interna en la masa del concreto que produce un agrietamiento y con ello una destrucción de la superficie. La expansión se desarrolla en la dirección de menor resistencia generalmente paralela a la superficie o a la trayectoria de los esfuerzos

En zonas donde el concreto se encuentra expuesto, cuando ha ocurrido la reacción álcali agregado la superficie presenta un agrietamiento continuo, que hace más fácil la penetración de la humedad en las grietas y con ello se acelera el proceso de deterioro

La reacción álcali agregado puede ser confundida por grietas provocadas por esfuerzo y puede no llegar a reconocerse incluso en un año, sin embargo, con el tiempo alrededor de estas grietas se forma un gel en forma de perlas con diferentes composiciones que hace más fácil identificar a qué se debe el agrietamiento

En el cuadro siguiente se ejemplifica el tipo de reacción que cada clase de roca puede tener al entrar en contacto con una sustancia alcalina como el concreto



En la tabla 1.2 se mencionan las rocas potencialmente reactivas que se encuentra en México, el componente reactivo, la reacción que producen y su existencia.

Tipo de reacción	Nombre de la roca	Componente reactivo	Existencia
Álcali -- sílice	Riolitas Dacitas Latitas Andesitas Toba andesítica Basaltos	Sílice amorfa	Muy frecuente
Álcali -- sílice	Orticuarcita Areniscas Granito microcristalino Ciertos tipos de Esquistos	Cuarzo microcristalino y muy deformado	Regular
Álcali -- carbonato	Calizas dolomíticas Arcillosas Dolomitas	Dolomita meta-estable Calcita microcristalina	Regular
Álcali -- silicato	Grauvacas Argilitas Filitas Algunos esquistos y Pizarras	Ilita	Regular
Álcali -- sílice	Calcedonias Calizas silíceas Pedernales Pizarras Areniscas	Opalo tridimita	Reducida

Tabla 1.2 Componentes reactivos de las rocas que se encuentran en México.

1.5.6. ACCION DE LOS ÁCIDOS

El concreto tiene un carácter alcalino (básico) y al entrar en contacto con una sustancia ácida reacciona con ella y tiende a neutralizarse, dando como resultado sales cálcicas solubles en agua.

Los compuestos de calcio hidratados (S-C-H), como los hidróxidos de calcio, silicato de calcio, aluminato de calcio, que constituyen el gel de cemento, son solubles a los ácidos, por ello la pasta pierde coherencia y se desintegra. Si el concreto contiene agregados constituidos por rocas que no reacciona con los ácidos, el ataque se concentra en la pasta del cemento y conforme ésta se desintegra, las partículas de los agregados quedan expuestas hasta que por falta de aglutinamiento se desintegran. Los agregados calcáreos (calizas, dolomitas), sí reaccionan con los ácidos de modo que en su presencia el ataque se produce tanto en la pasta como en los agregados y el deterioro se manifiesta con mayor regularidad.

El ácido es capaz de penetrar por los poros del concreto y alcanzar el acero de refuerzo, ocasionando corrosión por reacciones químicas que con el tiempo causan manchas, agrietamientos y destrucción de la superficie del concreto. La pérdida de las sales de calcio que son solubles, hacen que el concreto pierda su efecto pasivante en el acero y por ello se corroe.

La intensidad con que una sustancia ácida causa deterioro al concreto depende del grado de solubilidad en agua de las sales que se forman como consecuencia de la reacción, tabla 1.3. La profundidad del daño varía no sólo con el tipo de ácido, sino también de la continuidad con que ocurra su aportación.

Nombre del ácido	Grado de agresividad	Sales que forman	Grado de solubilidad
Ácido carbónico	Muy agresivo	Carbonato de calcio	Alto
Ácido clorhídrico	Muy agresivo	Cloruro de calcio	Alto
Ácido sulfúrico	Medianamente agresivo	Sulfato de calcio	Moderado
Ácido húmico	Poco agresivo	Humato de calcio	Reducido
Ácido fosforico	Nulo	Fosfato de calcio	Insoluble
Ácido oxálico	Nulo	Oxalato calcio	Insoluble

Tabla 1.3 Agresividad de los ácidos en el concreto.

Los ácidos pueden provenir de:

- Producto debidos a la combustión
- Drenajes
- Partículas sólidas con iones de sulfato
- Agua que contiene dióxido de carbono libre
- Industria alimenticia
- Granjas
- Procesos naturales.

1.5.6.1. ÁCIDOS INORGÁNICOS

A continuación se enuncian algunos de los ácidos inorgánicos que atacan comúnmente al concreto:

Los productos debidos a la combustión en zonas industriales, en muchas ocasiones contienen gases de sulfuro (H_2S) que al ser diluidos en el agua forman ácidos débiles y al entrar en contacto con la masa del concreto causan pérdida de pasivación y con ello corrosión ligera. Si bajo ciertas condiciones estos ácidos se oxidan por la acción de bacterias en ácido sulfúrico. Este ácido es la más importante en cuando al daño que puede causar en el concreto, porque si bien forma sulfatos de calcio que son sales que tienen una solubilidad moderada, con el tiempo se puede llegar a incrementar la cantidad de sulfatos y provocar otras reacciones más severas que deterioran al concreto.

El drenaje de industrias contiene ácidos que atacan al concreto, dichos ácidos pueden provocar diferentes reacciones y formar productos solubles, que con el tiempo producen sulfatos agresivos, el ejemplo más claro es el dióxido de carbono que si se encuentra mezclado en el agua, reacciona con ésta y produce ácido carbónico (H_2CO_3), que al entrar en contacto con el concreto produce carbonato de calcio que es muy soluble, este compuesto puede llevar a otra reacción con la pasta hidratada de cemento y formar hidróxido de calcio, que es el principal causante de la carbonatación y lixiviación en el concreto.

El ácido oxálico y el fosfórico son sus excepciones porque al reaccionar con el calcio forman sales que son insolubles en el agua y no se mueven hasta la superficie del concreto.

1.5.6.2. ÁCIDOS ORGÁNICOS

Los ácidos orgánicos generalmente se forman en: granjas, procesos alimenticios como el cervecero, el lechero, de conservas y sus daños en el concreto son generalmente extensos en la superficie.

Los ácidos lácteos son los más destructivos dentro de este grupo y son comúnmente asociados con el manejo de leche y queso: producción y almacenamiento, se encuentra también en algunos procesos de fermentación.

El ácido láctico cuando se combina con el cemento forma un material que disuelve o remueve fácilmente la superficie del concreto, provocando pequeñas depresiones en las losas. Si además existen condiciones de abrasión o erosión del concreto donde el acero se encuentra expuesto, el ácido láctico puede causar corrosión en el acero.

El ácido acético se encuentra en lugares donde procesan la comida, papel, granjas. Este ácido combinado con el concreto endurecido forma compuestos solubles en la superficie, que desintegran lentamente al concreto y dejan expuestos a los agregados. El grado de abrasión al que este sometido la estructura influye en el daño causado por este ácido.

Si la estructura se encuentra expuesta a ambos tipos de ácidos, se desintegran lentamente, con exposición de los agregados y corrosión simultanea.

1.5.7. ACEITES, BASES Y SALES

Aceites

Los aceites vegetales y animales, pueden provocar serios problemas de deterioro en el concreto en superficies expuestas como losas, donde se realizan procesos que involucran grasas para elaborar tocinos, manteca, pan, jabones, etc. Estos aceites contienen cierta cantidad de ácido, que al entrar en contacto con el aire se incrementa y al entrar en contacto con la pasta del concreto endurecido reaccionan en forma de compuestos solubles.

El tipo de ataque de los aceites depende como en los casos anteriores de la penetración en el material, de la permeabilidad, del tipo y viscosidad del aceite.

Los aceites minerales y animales son más agresivos que los aceites vegetales, porque los primeros solidifican cuando están a temperatura ambiente. Los aceites minerales como la gasolina, los lubricantes y la nafta, generalmente no tienen efecto en el concreto si tienen sus compuestos originales, cuando se encuentran combinados con aceites vegetales el daño se debe a la combinación de los aceites minerales y animales con los vegetales.

Sales.

Las sales son compuestos químicos que se forman por la reacción entre los ácidos y las bases, la más conocida es el cloruro de sodio. No atacan químicamente (por reacción), pero contribuyen a la corrosión del acero de refuerzo.

Las sales que más dañan al concreto son los sulfatos principalmente los sulfatos de sodio, calcio y magnesio, que se encuentran en todos los lugares tanto en la tierra, en el ambiente y el agua. El ataque de los sulfatos se produce por expansión del concreto, debido a la formación de productos sólidos, que causan un cambio de volumen. Generalmente las sales entran en forma de líquidos al concreto, al subir la temperatura el agua se evapora cristalizando las sales en los poros o huecos donde se encuentren, ocasionando un incremento de volumen, generando presiones internas y con ello progresivo agrietamiento

Los casos más severos se presentan en cimientos, losas y muros de contención que estén en contacto con el suelo y todas aquellas estructuras que se encuentren en un medio agresivo como el ambiente marino

Bases

Una base es una sustancia con un pH valorado alrededor de 7.0 (neutra) que desarrollan los iones de hidróxido cuando son disueltos en agua. Cuando el concreto es de buena calidad y es elaborado con agregados no reactivos, es altamente resistente a las bases incluyendo a los hidróxidos de calcio, amoníaco, bario y estroncio. Sin embargo, si el concreto no es fabricado con los materiales adecuados las bases pueden reducir el pH, ocasionando corrosión

1.5.8. SUSTANCIAS QUE DAÑAN AL CONCRETO

En la tabla 1.4 se encuentran las sustancias químicas, sean ácidos, bases, sales, aceites, compuestos, etc. que dañan al concreto y el efecto que tienen sobre él

SUSTANCIA	EFEECTO EN EL CONCRETO
ÁCIDO HUMICO	DETERIORO LENTO
ÁCIDO ACETICO	DETERIORO LENTO
CLORURO DE ALUMINIO	DETERIORO RÁPIDO
SULFATO DE ALUMINIO	DETERIORO
CARBONATO DE AMONIO	INOFENSIVO
CLORURO DE AMONIO	DETERIORO LENTO
FLUORURO DE AMONIO	DETERIORO LENTO
NITRATO DE AMONIO	DETERIORO
HIDRÓXIDO DE BARIO	INOFENSIVO
ÁCIDO BORICO	EFEECTO INSIGNIFICANTE
BISULFATO DE CALCIO	DETERIORO RAPIDO
ÁCIDO LACTICO	DETERIORO LENTO
NITRATO DE PLOMO	DETERIORO LENTO
CLORURO DE MAGNESIO	DETERIORO LENTO
NITRATO DE MAGNESIO	DETERIORO LENTO
MERCURIO	DETERIORO LENTO
BISULFATO DE SODIO	DETERIORO
ÁCIDO OXALICO	INOFENSIVO
SULFATO DE CALCIO	ATAQUE MODERDADO
CLORURO FERRICO	DETERIORO LENTO
NITRATO FERRICO	INOFENSIVO
SULFATO FERROSO	DETERIORO
FENOL	DETERIORO LENTO
ÁCIDO FOSFORÍCO	DETERIORO LENTO
CLORURO FERROSO	DETERIORO LENTO
VINAGRE	DESINTEGRACION LENTA
GASOLINA	INOFENSIVO
NITRATO DE SODIO	DETERIORO LENTO
SULFATO DE SODIO	DETERIORO
ÁCIDO SULFÚRICO AL 10%	DETERIORO RÁPIDO

SUSTANCIA	EFEECTO EN EL CONCRETO
ÁCIDO SULFUROSO	DETERIORO RÁPIDO
CLORURO DE ZINC	DETERIORO LENTO
NITRATO DE ZINC	INOFENSIVO
SULFATO DE ZINC	DETERIORO LENTO
CLORURO DE COBRE	DETERIORO LENTO
ACEITES PETROLEO	DEL INOFENSIVO
HIDRÓXIDO DE AMONIO	DE INOFENSIVO
DIOXIDO DE CARBONO	DE PUEDE CAUSAR AGRIETAMIENTO
SULFATO DE POTASIO	DE DETERIORO
FOSFATO DE SODIO	DETERIORO LENTO
NITRATO DE POTASIO	DE DETERIORO LENTO
ÁCIDO TANICO	DETERIORO LENTO, PENETRACIÓN CONSIDERABLE
AGUAS ÁCIDAS (PH 6.5 A MENOR)	DETERIORO LENTO Y ATAQUE AL ACERO DE REFUERZO
HIDRÓXIDO DE CALCIO NITRATO DE CALCIO	DE INOFENSIVO
GRASA S Y ACEITES	VER ACEITES VEGETALES, MINERALES Y ANIMALES
ÁCIDO HIDROBROMITICO	DETERIORO LENTO Y EN COMBINACIÓN CON ÁCIDOS ES MUY AGRESIVO
SULFATO DE MAGNESIO	DE EN SOLUCIONES MAYOR AL .5% PRODUCE EXPANSIÓN
ÁCIDO CARBÓNICO	DETERIORO LENTO EN PRESENCIA DE HUMEDAD, ALTAMENTE CORROSIVO
BISULFATO DE AMONIO	DE DETERIORO
SULFATO DE AMONIO	DE DETERIORO

Tabla 1.4. Sustancias dañinas para el concreto

SUSTANCIA	EFEECTO EN EL CONCRETO
ÁCIDO HIDROFLUORICO	DETERIORO RÁPIDO, INCLUYENDO AL ACERO DE REFUERZO
ÁCIDO NITRICO AL 2% AL 4%	A TEMPERATURAS DE 50° C. CAUSA DESINTEGRACIÓN RÁPIDA
AZÚCAR	SECA NO ATACA, EN SOLUCIÓN PROVOCA DETERIORO
BICARBONATO DE SODIO CARBONATO DE SODIO	INOFENSIVO
CARBÓN	SI REACCIONA CON EL ÁCIDO SULFURICO, PROVOCA LA MISMA REACCIÓN EN EL CONCRETO
AGUA NATURAL	CUANDO CONTIENE ÁCIDO CARBONICO PRODUCE DIÓXIDO DE CARBONO EN SOLUCIÓN. Y REACCIONA COMO ÁCIDO CARBONICO
ÁCIDO HIDROCLORICO	DETERIORA LENTAMENTE AL CONCRETO Y EN COMBINACION CON OTROS ÁCIDOS ES MUY AGRESIVO
ÁCIDO HIDROBROMICO	EN CONTACTO CON SOLUCIONES DURAS, DESTRUYE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO. PURO DETERIORA LENTAMENTE
ÁCIDO SULFÚRICO	EN COMBINACIÓN CON OTRAS SUSTANCIAS ES MUY AGRESIVO CAUSA DETERIORO
LECHE	FRESCA ES INOFENSIVA, FERMENTADA REACCIONA COMO ÁCIDO LACTICO

SUSTANCIA	EFEECTO EN EL CONCRETO
HIDRÓXIDO DE SODIO	INOFENSIVO SI LA CONCENTRACIÓN ES < 10%, SI ES > 10% CONCENTRACIÓN > 20% PROVOCA DETERIORO, SI ES > DE 20% LO DESINTEGRA
ACEITE MINERAL	PURO ES INOFENSIVO, PERO COMBINADO CON ACEITES VEGETALES O ANIMALES CAUSA DETERIORO
CLORURO DE SODIO	NO ES AGRESIVO PARA EL CONCRETO, PERO SI PENETRA POR LOS POROS HASTA EL ACERO DE REFUERZO CAUSA CORROSIÓN
SULFATO DE SODIO	EN PORCENTAJE MAYOR AL 0.5% PRODUCE EXPANSIÓN Y AGRIETAMIENTO
DIÓXIDO DE SULFURO	COMO GAS NO ATACA, EN CONJUNCIÓN CON LA HUMEDAD Y TEMPERATURA PROVOCA DETERIORO
HIDRÓXIDO DE POTASIO	INOFENSIVO SI LA CONCENTRACIÓN ES < 15%, SI 15% > CONCENTRACIÓN > 25% PROVOCA DESINTEGRACIÓN, SI ES > DE 25% LO ATACA RÁPIDAMENTE
GRASAS Y ACEITES VEGETALES Y ANIMALES	ATACAN AL CONCRETO, DEPENDIENDO DEL GRADO DE VISCOSIDAD, TIPO DE ACEITE, SI ESTA EN CONTACTO O NO CON ALGÚN TIPO ÁCIDO

Tabla 1.4 Sustancias dañinas para el concreto (Continuación.)

1.6. DAÑOS GENERALES EN EL CONCRETO.

En el presente inciso se describen daños que presenta el concreto y qué mecanismo de deterioro propicio el daño

Daño	Característica.	Causa.
Estrellamiento.	Grietas relativamente delgadas con una configuración hexagonal	Contracción del concreto al secarse, por pérdida de humedad.
Polvo.	Polvo muy fino, parece que la superficie sufrió un raspado	Presencia de materiales orgánicos en los agregados, carga prematura (antes de los 28 días).
Aflorescencia	Apariencia de sales cristalinas en la superficie del concreto.	Agua que emigra del interior de la masa del concreto hacia la superficie.
Costras.	Superficie astillada e irregular, pedazos de madera pegados en el concreto.	No se elimina la adherencia entre la cara de la cimbra y el concreto, en consecuencia el concreto se pega a la cimbra cuando esta es retrada.
Incremento de la permeabilidad.	Agrietamiento, presencia de vacíos en la superficie del concreto.	Peralte insuficiente en losas y trabes, falta de vibrado en el concreto, continua ataque de sulfatos y cloruros. Secciones erosionadas.
Vetas de arena	Vetas verticales en la superficie	Concreto con alto contenido de agua
Escamación	Separación de capas relativamente delgadas de la superficie del concreto.	Condiciones severas de congelación y deshielo, humedecimiento y secado repentino del concreto, ataque químico, ráfagas calientes y derrames de combustible.
Astillamiento	Pedazos rotos del concreto que van desde la superficie y son más o menos profundos	Por impactos continuos en la superficie, corrosión del acero de refuerzo
Pérdida de alcalinidad	Incremento en la porosidad y permeabilidad del concreto.	Lixiviación, carbonatación y ataque de ácidos.
Pérdida de masa	Incremento en la porosidad y permeabilidad del concreto	Lixiviación, ataque de ácidos y corrosión.
Caída de resistencia	Incremento en la porosidad, permeabilidad del concreto y en los esfuerzos internos.	Lixiviación, ataque de ácidos y corrosión del acero.
Expansión y deformación	Incremento de los esfuerzos internos de la masa del concreto	Formación de sales expansivas y corrosión

CAPITULO DOS:

**LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
EN AMBIENTE MARINO**

2. LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO EN AMBIENTE MARINO

Las estructuras de concreto reforzado en ambiente marino se podrían definir como aquellas que se encuentran directamente en el mar (off shore), en la costa (shore) o bien en contacto próximo al mismo (on shore).

Estas estructuras pueden ser:

- a) Móviles:
Temporales o de forma permanente como barcos, plataformas de extracción y almacenamiento de petróleo, cajones flotantes, obras de protección como escolleras, barreras, etc.
- b) Fijas.
Todas aquellas estructuras portuarias, muelles, espigones, barreras de protección de fondo, edificaciones como. casas, hoteles, unidades habitacionales, fábricas, elementos de protección, carreteras, equipamiento urbano de concreto, plataformas de extracción, etc

El elemento que hace diferentes a estas estructuras de otras, es lógicamente las condiciones donde prestan servicio o sea su medio ambiente donde existen factores como, la temperatura, el clima y sobre todo el agua de mar (humedad), que en conjunto crean un medio agresivo para la durabilidad del concreto reforzado.

Sin embargo todas estas dificultades potenciales no significan impedimentos de desarrollo, lo cual se ve reflejado en que la mitad de la población mundial vive en zonas costeras, además en los mares y océanos cada día se buscan más recursos, en nuestro país por ejemplo es donde se encuentran las instalaciones petroleras más importantes como las plataformas marinas ubicadas en la sonda de campeche, las estaciones de compresión y recompresión que se encuentran a lo largo de toda la costa del golfo de México.

2.1. UBICACION DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO DE ACUERDO AL AMBIENTE EXPUESTO.

Para dar respuesta a la demanda que existe de estructuras de concreto reforzado en este ambiente es necesario conocer las características del medio en las que se ubican.

Lo primero que se debe tener en cuenta es la agresividad del medio ambiente tiene que ver con las acciones físicas y químicas que actúan sobre las estructuras de concreto, son independientes de las acciones mecánicas previstas en el proyecto, basandose en éstos criterios el Comité Euro – Internacional del Concreto (CEB) y el Instituto Americano del Concreto (ACI) realizan una clasificación de la agresividad del medio ambiente tabla 2.1

Clase de agresividad	Agresividad	Riesgo de deterioro de la estructura
I	Débil	Insignificante
II	Media	Pequeño
III	Fuerte	Alto
IV	Muy fuerte	Elevado

Tabla 2.1 Clases de Agresividad Ambiental

- Macro - clima y micro - clima:

Otro factor importante dentro del ambiente que rodea a una estructura es el clima, el cual en función de su agresividad se divide en dos:

- a) Macro - clima: clima atmosférico general, que será el mismo en toda la vecindad y causa un menor impacto agresivo, en cuanto a la durabilidad del concreto.
- b) Micro - clima: clima que tiene una marcada influencia en la estructura de manera local, pues se encuentra dentro de él o a unos metros, esto se refiere a climas artificiales o a situaciones en las que por procesos de transformación alimenticio o industrial el ambiente local o micro - clima se eleva unos grados o se disminuye en relación con el medio exterior y toda la estructura.⁴

En la tabla 2.2, se ejemplifica la agresividad del medio ambiente en las estructuras de concreto en función del macro - clima y el micro - clima.

Macro - clima	Micro - clima			
	Interior de edificaciones		Exterior de edificaciones	
	Seco ¹ HR ≤ 60%	Húmedo ² o sometido a ciclos de congelamiento y deshielo	Seco ³ HR ≤ 60%	Húmedo ⁴ o sometido a ciclos de congelamiento y deshielo
Rural	I	II	I	II
Urbano	I	II	I	II
Marino	II	III	--	III
Industrial	II	III	II	III
Específico ⁵	II	II o IV	III	II o IV

Tabla 2.2. clases de agresividad ambiental en función de las condiciones de exposición de la estructura. *

No es sencillo identificar las condiciones en las que un ambiente se vuelve agresivo para el concreto, sin embargo existen tres factores que están presentes en el ambiente y por lo menos dos de ellos se necesitan (en el macro o/y microclima) para iniciar un proceso destructivo en el concreto:

- La presencia de humedad

Como ya se indicó todo proceso de deterioro requiere la presencia de humedad. Cuando en el ambiente existen condiciones de humedad de más del 65% el concreto puede tomar el agua del medio ambiente rápidamente, esta a su vez penetra al interior del concreto y conforme aumenta la humedad del ambiente aumentará la humedad del interior de la masa. Bajo este principio se sostiene que donde el concreto se encuentre sujeto a ciclos de humedad y secado (como en regiones donde la marea sube y baja) el concreto se satura y se seca, con el tiempo incrementan la porosidad y la permeabilidad del concreto, lo que significa el inicio de un proceso dañino y progresivo. En la tabla 2.3. se ejemplifica la influencia efectiva de la humedad relativa en diferentes procesos que minan la durabilidad del concreto

* NOTAS

1. Salas, dormitorios, concretos revestido o pintados
 2. Baños, cocinas, garajes, lavanderías
 3. Obras exteriores, partes protegidas de lluvias ambientales y climas predominantemente secos
 4. Fachadas, marquesinas, postes, puentes, viaductos, muros, equipamiento urbano en general (de concreto), pavimentos y todo tipo de obras exteriores
 5. Ambientes químicamente agresivos, tiques industriales, industrias de transformación como celulosa, fertilizantes, industrias químicas, productos químicos, etc
- HR: Humedad relativa

Humedad relativa	Proceso*			
	Carbonatación	Corrosión del acero de refuerzo	Congelamiento	Ataque químico en general
Muy baja (< 45%)	1	0	0	0
Baja (45 - 65%)	3	1	0	0
Media (65 - 85%)	2	3	0	0
Alta (85 - 98%)	1	3	2	1
Saturada (> 98%)	0	1	3	3

Tabla 2.3. Influencia de la humedad en la durabilidad del concreto.

La escala de agresividad de la humedad que existe en el ambiente se define en relación proporcional con el riesgo de daño.

- Presencia de Sustancias agresivas:

Las sustancias más comunes que se encuentra en el ambiente y los efectos dañinos que pueden ocasionar en el concreto en presencia de humedad son:

- a) Dióxido de carbono: causa carbonatación.
- b) Oxígeno: causa corrosión.
- c) Cloruro: promueve la corrosión.
- d) Acido: disuelve los componentes de la pasta de cemento.
- e) Sulfatos: resultan reacciones expansivas con el cemento y componentes que destruyen al concreto.
- f) Álcalis: resultan reacciones expansivas con los agregados.

- Temperatura:

Muchas veces la influencia de la temperatura no se toma en cuenta como un agente agresivo, pero es muy importante porque cuando ocurre una reacción química, se acelera con el incremento de la temperatura.

Una regla práctica de química dice que si se incrementa la temperatura de 10°C en 10°C cuando ocurre una reacción, su actividad incrementa al doble. Este fenómeno sólo ocurre en ambientes extremos y tropicales por ello son considerados más agresivos.

Se puede concluir entonces que la humedad, la presencia de sustancias agresivas, y la temperatura son necesarias para caracterizar un ambiente, pues la interacción entre ellas definen los procesos por los cuales el concreto se deteriora. Actualmente no existe un método general y aceptado para definir la agresividad del medio ambiente en el concreto.

*Nota

- 0 = nulo
- 1 = ligero
- 2 = mediano
- 3 = alto

El CEN (Comité Europeo de Normalización) tienen un modelo, aceptado en Europa que se basa en los tres conceptos mencionados, para definir la agresividad del ambiente en el que se encuentra expuesto el concreto. En este modelo se distinguen tres categorías básicas:

a) Ligera:

- Interiores de edificios habitacionales y oficinas.
- Epocas del año cortas donde la humedad relativa no alcanza niveles altos (tres meses por año).

b) Moderada:

- Interiores de edificaciones donde la humedad es alta, existe riesgo de corrosión.
- Donde existen corrientes, pasos y flujos de agua.
- Donde existe mal tiempo, en atmósferas rurales o urbanas, donde existe condensación de gases.
- Contacto con los suelos.

c) Severa:

- Líquidos que contienen concentraciones de ácidos, sales, sulfatos o aguas altamente oxigenadas.
- Gases corrosivos.
- Ambientes industriales y marítimos que producen corrosión.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE MARINO.

- Distribución de temperaturas:

Las variaciones de temperaturas dentro del ambiente oceánico, son mucho menos extremas que en la atmósfera. En los climas templados, característicos de latitudes medias, las oscilaciones térmicas no son un factor importante en función de la durabilidad de la estructura de concreto, aunque es aconsejable tener en cuenta el régimen de temperaturas en las obras ubicadas en el interior. Sin embargo, en los climas más extremos se pueden producir gradientes térmicos importantes. Por ejemplo, en una estructura en un clima ártico se pueden dar temperaturas inferiores a -50°C que enfrían las zonas exteriores, mientras que las temperaturas por debajo de la línea de inmersión serán aproximadamente de 0°C .

El efecto contrario puede darse en climas tropicales donde una estructura semi-sumergida puede estar sujeta a temperaturas extremas que van de 35°C en las partes sub-aéreas (emergidas), pero relativamente frías (5°C) en zonas sumergidas. En las costas de México del lado del Golfo se presentaron en 1998 una temperatura máxima anual del 29.9°C y una temperatura promedio anual 22.78°C , mientras que en el Océano Pacífico fueron de 29.9°C y 22.5°C respectivamente, según reportó la Comisión Nacional del Agua.

Este factor no tiene tanta repercusión en estructuras terrestres (en la costa), donde las condiciones térmicas serán las atmosféricas, pero puede tener repercusiones en las estructuras mar a dentro (estructuras offshore), es las que se han alcanzado alturas importantes y en consecuencia, elevadas profundidades.

- Salinidad:

El contenido en sales típico del agua oceánica está entre 33 – 35 %, aunque estos valores puedan variar notablemente según su carácter (abierto o cerrado) de la cuenca marina y la latitud a la que se sitúa. Por ejemplo las costas de nuestro país por su situación geográfica la variación de la salinidad del lado del Golfo van de 36-37% y del lado de Pacífico al norte de 34-35 % y al sur 33-34%

Los principales elementos que contribuyen a esta salinidad son el cloro y el sodio. Los efectos agresivos de la salinidad del agua marina sobre las construcciones de concreto se hacen más patentes en las estructuras de concreto armado, en las que el acero es el elemento más susceptible al ataque químico (corrosión) por parte de las sales disueltas en el agua. Los efectos de la corrosión sobre este tipo de estructuras se describirán más adelante. Además, la salinidad es el factor más importante que condiciona la densidad del agua marina, incluso más que la temperatura o la presión.

En mar abierto, los cambios estacionales de salinidad son insignificantes; sin embargo, el agua de las zonas costeras puede sufrir variaciones importantes de salinidad como consecuencia del deshielo y consiguiente aporte de agua dulce, o durante temporadas de elevada precipitación. La variación de salinidad afecta el empuje hidrostático que se ejerce sobre la construcción; de la misma forma, la línea de flotación de estructuras construidas en desembocaduras continentales puede verse alterado en los diferentes periodos estacionales.

- Oleaje.

Es el componente más significativo de los que ejercen acción directa, sobre las grandes instalaciones marinas. El impacto más importante producido por las olas al chocar contra estructuras de concreto tiene lugar en las patas de las plataformas petrolíferas que se encuentran fuera de la costa. Se trata de un impacto bajo y ocurre cuando hay gran oleaje; las olas chocan contra la estructura y rebotan, superponiéndose la onda reflejada a las siguientes olas con lo cual aumenta su altura produciéndose la rotura. Cuando los rompientes se encuentran a una distancia crítica de la pared de la estructura tiene lugar un choque con una fuerza de alta intensidad.

En la ruptura de la ola el hueco que se forma al romper contra la superficie atrapa aire que queda comprimido, especialmente si la superficie es plana y vertical y el aire no puede escapar por los laterales. Este aire produce una compresión adicional sobre el concreto que puede ser considerable. Figura 2.1.

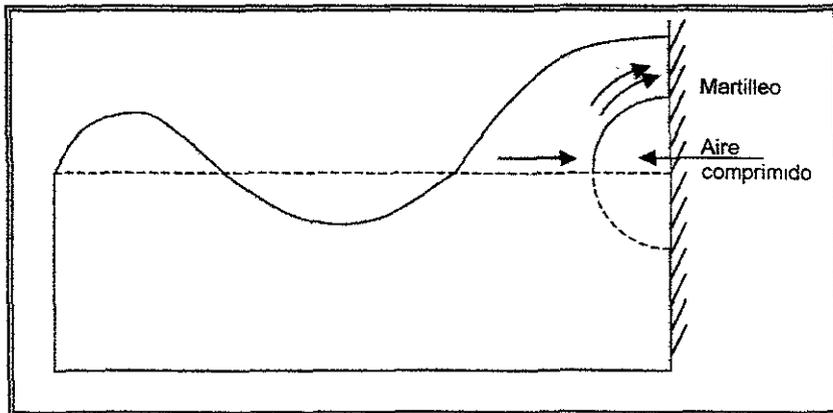


Figura 2.1. Efecto del rompiente de una ola sobre la pared del concreto.

Existen estudios sobre el efecto de las olas en las superficies verticales y horizontales del concreto con los que se pueden determinar las fuerzas tanto dinámicas como hidrostáticas a que se encuentran sometidas

El efecto más grave de las olas, es la repetición de estas fuerzas que llega a crear problemas no sólo de fatiga sino también de erosión.

– Humedad:

Es el contenido de agua en la atmósfera. La cantidad máxima depende de la temperatura y crece al aumentar ésta. El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta y se expresa en kg. de agua por kg. de aire seco, mientras que la humedad relativa, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura. Cuando la atmósfera está saturada de agua, se incrementa el riesgo de que se inicie algún proceso dañino en el concreto, por ello se hace referencia a este parámetro.

– Factores biológicos

El mar como fuente de vida, tiene una gran cantidad de flora y fauna que incide en las estructuras ubicadas en el mismo. La incidencia de estos factores puede ser directa o indirecta. La acción o incidencia directa se refiere a daños físicos que causa la presencia de flora o fauna en las estructuras de concreto y la indirecta se refiere a las acciones mecánicas, como aumento de peso, mayor superficie de rozamiento, etc.

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO EN AMBIENTE MARINO

Como se observa en el inciso anterior, el medio marino introduce factores ambientales agresivos para las estructuras de concreto reforzado, que repercuten de forma importante sobre la durabilidad. Por ello la mayor parte de la investigación sobre el comportamiento del concreto reforzado en ambientes marinos se ha centrado en el análisis de los factores que afectan la durabilidad y vida de servicio de grandes estructuras en mar abierto, fundamentalmente en plataformas de extracción de petróleo y gas. Gracias a estas investigaciones se han podido detectar los procesos característicos que dañan al concreto en ambiente marino. Tabla 2.4

Físicos	Químicos	Mecánicos	Biológicos
– Formación de hielo	– Penetración de sulfatos	– Acción del viento	– Flora
– Evaporación de agua	– Penetración de cloruros	– Acción del oleaje	– Fauna
– Cristalización de sal	– Difusión de CO ₂	– Incremento de peso	
– Erosión	– Corrosión		
	– Reacción álcali agregados		

Tabla 2.4 Principales procesos dañinos que atacan en el concreto en ambiente marino

El concreto reforzado en ambiente marino puede estar sujeto a una gran variedad de ambientes naturales, desde tropicales hasta polares, además de que los usos y aplicaciones de este material varía considerablemente, puede ser usado para construir tanques de almacenamiento de combustibles y gases a bajas temperaturas, hasta paneles de protección contra incendio a temperaturas muy elevadas. Esta variedad de condiciones de servicio requiere que desde el inicio del proyecto se definan y planten factores como

a) Administrativos y legislativos:

- Planteamiento del proyecto en el ámbito nacional e internacional.*
- Aspectos jurídicos y técnicos.
- Garantizar una vida útil de proyecto, bajo condiciones ambientales previamente identificadas.

b) Proyecto:

- Desarrollo del proyecto y cálculo del proyecto, basándose en un método de análisis.
- Diseño de formas geométricas que cumplan con los requisitos de servicio y reduzcan la superficie de penetración de posibles agentes agresivos.
- Selección de una configuración adecuada para satisfacer los requisitos de operación en función del tamaño, capacidad de carga, eficiencia, movilidad, etc.*
- En obras que funcionen o presten servicio a mar abierto se debe considerar factores como:
 - Tamaño y escalas de operación.*
 - Legislación y certificación de la estructura.*
- Comienzo de la instalación, supervisión de los procesos constructivos.
- Revisión de requisitos de flotación, resistencia a presiones hidrostáticas.*

c) Materiales:

- Agregados que no sean reactivos, que no se encuentren contaminados y tengan un bajo índice de permeabilidad.
- Agua para el concreto, debe cumplir con las normas y con un límite de contenido de cloruros.
- En elementos masivos, elegir el cemento apropiado.
- Acero de alta calidad y certificado.

d) Ejecución:

- Mezclas con alta compacidad, baja relación agua cemento.
- Verificación de recubrimientos en el acero de refuerzo.
- Compactación adecuada de acuerdo a los medios disponibles.
- Curado adecuado que corresponda a las características del concreto y condiciones de humedad del medio ambiente.
- Limpieza de la cimbra y evitar movimientos bruscos durante la colocación del concreto.

e) Mantenimiento

- Programa de mantenimiento detallado y con certificaciones, que la mantengan en equilibrio con la vida útil de proyecto especificada desde el inicio.
- Realizar listas de chequeo en las que se definan los parámetros a evaluar, el sistema de evaluación, los valores esperados y tolerancias admisibles.

Como observamos las estructuras de concreto que se encuentran en ambiente marino deben de cumplir con muchos requisitos desde el inicio del proyecto hasta su ejecución, esto por un lado se debe a la importancia económica de la actividad que desarrollan y por otro la agresividad de las acciones directas (por oleaje, viento) e indirectas (ataque químico y físico) en las que se encuentran.

*Nota: estructuras que presten servicio en mar abierto

2.2. DAÑOS CAUSADOS EN EL CONCRETO DEBIDOS A LA EXPOSICIÓN EN AMBIENTE MARINO

Las estructuras de concreto reforzado se deterioran con el tiempo en cualquier tipo de ambiente (rural, urbano, industrial o marino), como se ha descrito en los incisos anteriores, el ambiente marino, por sus características representa un medio altamente agresivo y una de las más representativas es la Exposición de la Estructura con respecto al mar

La exposición de una estructura de concreto con respecto al mar determina el tipo de ataque, el daño y el deterioro progresivo que sufra dicha estructura

2.2.1. ZONAS DE EXPOSICIÓN

Existen cuatro zonas básicas de exposición en las que se puede encontrar cualquier tipo de estructuras localizadas en ambiente marino, cada una con características (micro climas) definidas Figura 2.2.

- a) Zona atmosférica: Zona en la cual el concreto nunca esta en contacto directo con el agua de mar, sin embargo, sí se encuentra en contacto con las sales del agua por medio del transporte del viento, la brisa y la bruma. La penetración por cloruros en esta zona disminuyen conforme aumenta la distancia de la estructura al mar, además depende también de las características de la costa, la presencia de los vientos.
- b) Zona de salpicaduras: Zona localizada entre la altura máxima alcanzada por las olas y la cota más elevada del área intermareas.
- c) Zona de mareas: Parte de la estructura localizada ente las cotas mínimas y máximas alcanzadas por el agua en los periodos de marea baja y alta respectivamente
- d) Zona sumergida: Zona donde la estructura se encuentra en contacto permanente con el agua de mar.

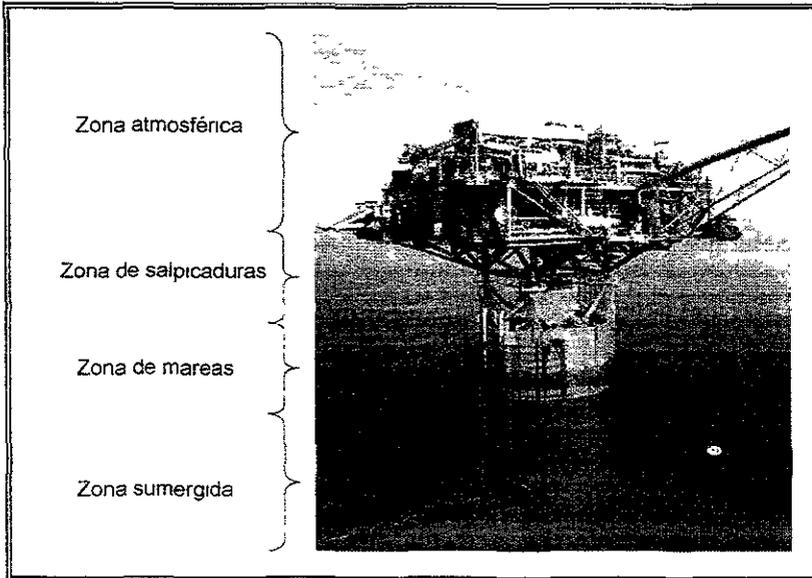


Figura 2.2 Zonas de exposición de estructuras en ambientes marinos

2.2.2. DAÑOS CAUSADOS POR LA EXPOSICIÓN

En las estructuras de concreto reforzado, cada zona de exposición se caracteriza por un proceso o agente dañino en el concreto. Tabla 2.5.

Zona de exposición	Daño
Zona atmosférica	Corrosión del acero
	Abrasión
	Daños por congelamiento
	Agrietamiento
Zona de salpicaduras	Corrosión del acero
	Abrasión
	Agrietamiento
Zona de mareas	Abrasión
	Descomposición por ataque químico
	Ataque biológico
	Corrosión del acero
Zona sumergida	Daño por congelamiento
	Descomposición por ataque químico
	Ataque de bióxido de carbono CO ₂
	Ataque de sulfatos

Tabla 2.5. Acciones de deterioro en estructuras de concreto.

2.2.3. EL AGUA DE MAR

En general el agua de mar esta compuesta por: Cloruro de Sodio (NaCl), Cloruro de Magnesio (MgCl₂), Sulfato de Magnesio (MgSO₄), Sulfato de Calcio (CaSO₄), carbonato y bicarbonato y sales disueltas. Ver tabla 2.6.a Los contenidos específicos de los elementos más abundantes en forma de sales marinas se detalla en la tabla 2.6.b

Compuestos químicos	Porcentaje (gramo/ litros)	Elemento o compuesto químico	Concentración (g/kg.)
Cloruro de Sodio (NaCl)	77-79%	Cloruros (Cl ⁻)	19.4
Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)	10.5-10.9%	Sodio (Na)	10.8
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	4.4-4.8%	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	2.7
Sulfato de Calcio (CaSO ₄)	3.4-3.6%	Magnesio (Mg ²⁺)	1.3
Carbonato bicarbonato	2.1%	Calcio (Ca ²⁺)	0.4
Sales disueltas	3.5%	Potasio (K ⁺)	0.4
		Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	0.1

2.6.a. Porcentaje de compuestos químicos contenidos en el agua de mar

2.6.b. Concentraciones de los elementos salinos en el agua de mar

Tabla 2.6. Composición química del agua de mar

La reactividad del agua de mar esta en función de la composición de sus sales, por ejemplo el MgSO₄ y el MgCl₂ reaccionan en hidróxido de Magnesio formando una película blanca en la superficie del concreto y los bicarbonatos reaccionan con el dióxido de carbono y producen carbonato de calcio. Los sulfatos (SO₄²⁻) del agua de mar producen compuestos solubles como el Cloruro de Calcio (CaCl₂) y el yeso (CaSO₄*2H₂O) o expansivos como la etringita (Ca₆Al₂O₆(SO₄)₃*32H₂O)

El ataque en concretos sometidos a inmersiones y emersiones alternas, como consecuencia de las mareas, se manifiesta principalmente como la combinación de procesos físicos (cristalización de sales y erosión) y ataque químico (reacción entre las sales de agua de mar y el concreto), mientras que en el concreto sumergido sólo se produce un ataque químico. Los concretos situados en las zonas de marea y salpicadura, están sujetos a ciclos de saturación y secado que pueden producir la concentración, cristalización y deshidratación de sales durante el periodo de inmersión y la recristalización de sales en el interior del concreto durante la emersión

La influencia ejercida por la erosión del mar sobre el concreto es de gran importancia ya que a sus efectos se le suman los del ataque químico. El ataque completo del concreto por la acción del agua de mar se caracteriza por los siguientes aspectos:

- a) Por la eliminación del calcio, por lixiviación y formación de brucita (ataque de sulfatos) o bien por la transformación de silicatos cálcicos hidratados en compuestos de magnesio.
- b) Por formación de etringita expansiva, por la reacción entre el yeso y la portlandita de la pasta de cemento.
- c) Como consecuencia el concreto sufre carbonatación, que posteriormente da lugar a la transformación de etringita en tausmasita, con formación previa de sílice y calcita
- d) Por cristalización del yeso.
- e) Por penetración de iones de Cl en la masa del concreto

Así pues y de acuerdo con lo anterior en un ataque profundo y prolongado del concreto por agua de mar, se produce la formación de calcita, yeso, etringita e incluso brucita

El concreto que se encuentra sumergido las reacciones entre la pasta endurecida del cemento y el agua de mar en la superficie del concreto, cambia drásticamente la composición química de este, existe un modelo teórico propuesto por Moskin V.M. e Ivanov F.M, de cómo el agua salada destruye la superficie del concreto que se encuentra totalmente sumergido. Figura 2.3. En este modelo se distinguen 5 zonas que son las siguientes.

Zona 1 Los iones de magnesio y el CO_2 del agua se fijan en la superficie del concreto, precipitándose en yeso por sobre saturación de la solución

Zona 2: La penetración del agua en el concreto, lo enriquece con cloruro de sodio, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, siendo este último el más dañino.

Zona 3: El ataque inicial de sulfatos, se da por la formación del yeso

Zona 4: Se forma sulfoaluminato de calcio (etringita)

Zona 5: Absorción o lixiviación llamada así, por el continuo movimiento de agua que penetra por los poros del concreto, la absorbe y si no hay continuidad en el movimiento del agua, la que se encuentra dentro del concreto se seca.

En este modelo, además se toman las siguientes consideraciones

- Estas zonas no son estables y se encuentran en continuo movimiento pues con la degradación que sufre el concreto la primera zona se desintegra y la segunda pasa a ser la primera y así sucesivamente
- No siempre en el agua de mar se presentan condiciones tan adversas.

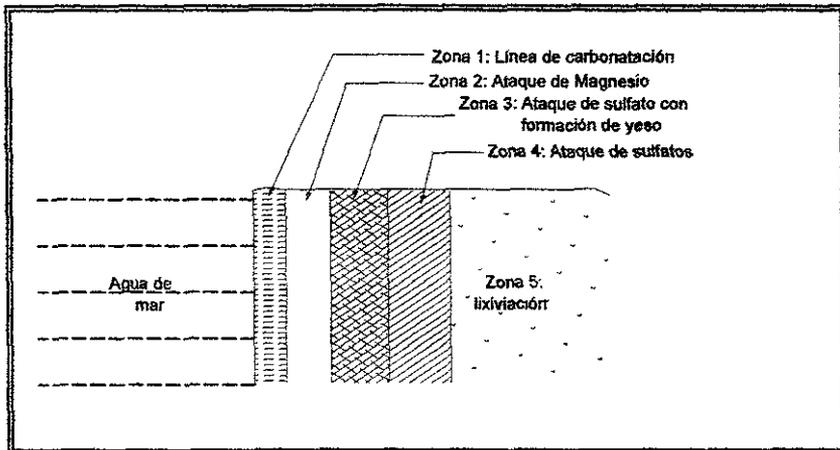


Figura.2 3. Zonas de ataque del agua de mar en el concreto.

2.3. CLORUROS.

Existen dos tipos de cloruros que pueden estar presentes en el concreto:

Los cloruros ligados: son los que están íntimamente asociados al cemento hidratado y no son solubles por lo que no causan corrosión.

Cloruros libres: son aquellos que son solubles en agua.

2.3.1. ATAQUE

Los cloruros pueden incorporarse al concreto por dos vías la interna y externa:

Vía interna: Los cloruros se encuentran en el agua, en el suelo y el aire y pueden hallarse contenidos en la mezcla dentro del cemento, el agua o en los agregados.

Vía externa: Son todos aquellos cloruros que llegan al concreto por medio externo como la lluvia, el agua, el viento, la brisa, etc. y penetran a través de las grietas, discontinuidades u oquedades del concreto.

Cuando los cloruros se incorporan al concreto durante el mezclado tiene acceso directo e inmediato al acero, de modo que en estas circunstancias la función protectora del concreto consiste en oponerse a la penetración de agua y oxígeno del exterior. Cuando el aire y el agua llegan al acero comienza la corrosión, si no se conjuntan éstos tres factores no hay corrosión. La corrosión en el acero por presencia de cloruros es más severa si existe además agrietamiento de la estructura y alta porosidad e insuficiente recubrimiento.

Si los cloruros penetran por medio externo debido al medio ambiente, se deben considerar tres condiciones.

- 1) Bajo riesgo. Concreto en condiciones permanentemente secas
- 2) Mediano riesgo. Concreto expuesto al contacto con aire húmedo, brisas o brumas.
- 3) Alto riesgo. Concreto expuesto a la penetración de cloruros adicionales en presencia de agua salada y/o un ambiente industrial.

La familia de los cloruros más dañinos para el concreto es el cloruro de calcio y este se encuentra en concentraciones altas en la costa y el agua de mar (3.4-3.6 %).

Los cloruros no atacan químicamente al concreto, pero sí físicamente, además de constituir un medio que favorece la corrosión del acero. El efecto físico más nocivo por la acción de los cloruros en el concreto lo constituyen la cristalización de las sales dentro de sus poros, la cual puede producir agrietamiento debidos a la presión ejercida por los cristales de sal. Debido a que la sal en solución penetra y asciende por capilaridad el ataque es más agresivo cuando el agua o la humedad pueden penetrar en el concreto. Figura 2.4.

Dada su elevada concentración de cloruros (20,000 ppm) el agua de mar en su estado natural representa un medio dañino para el concreto reforzado porque favorece la corrosión del acero, la absorción de sales es estable en áreas anódicas. Cuando se inicia el proceso electrolítico de corrosión, los cloruros tienen una acción catalizadora (baja el ph del concreto), dicha acción acelera el proceso de corrosión, provocando la acumulación de productos de corrosión con la consecuente ruptura de concreto.

En la mayoría de las estructuras de concreto localizadas en ambiente marino, en las que el daño se ha iniciado a través de una incipiente penetración de cloruros hacia el acero, la corrosión y el incremento de diámetro de las varillas, causa agrietamiento en el recubrimiento del concreto, lo que facilita en gran medida el acceso de humedad, aire y cloruros contenidos en el agua de mar y acelera así el proceso de ataque, llevando las estructuras a daños irreversibles en periodos notablemente cortos.

En las franjas costeras, la brisa marina acarrea importantes contenidos de humedad que, naturalmente, llevan en sí cloruros, de esta manera las estructuras que no están en contacto directo con el agua de mar, sufren igualmente embates.

Los cloruros se vuelven así un elemento activo en el proceso de daño de las estructuras de concreto en las franjas marítimas, de acuerdo con su concentración en el agua de mar quedará definido su grado de agresividad.

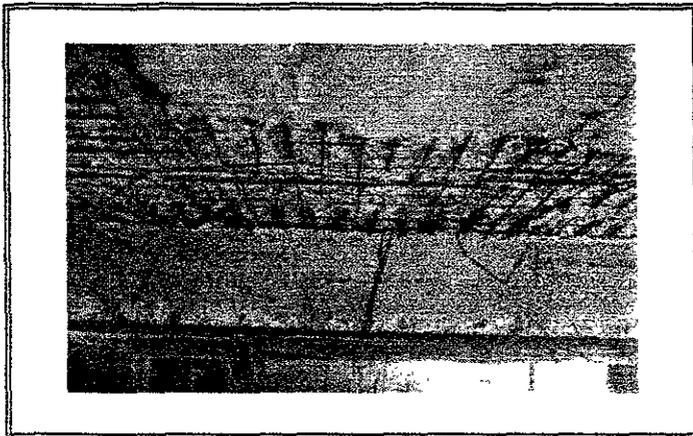


Figura 2.4 Ataque de cloruros en el concreto

2.3.2. MANIFESTACIONES

- Deterioro estructural en el concreto debido al ataque de cloruros disueltos en el aire, presentes en ambientes marinos.
- Agrietamiento del concreto por cristalización de sales.
- Corrosión del acero de refuerzo.
- Grietas a todo lo largo de las barras de acero de refuerzo corroído, debido a la formación de óxido férrico que incrementa el volumen del acero.
- Pérdida de resistencia del concreto y del acero de refuerzo.
- Formación de brucita en la superficie del concreto por penetración de cloruro de magnesio.
- Formación de cloro aluminatos y amoniaco volátil que deterioran rápidamente el concreto y disminuyen la resistencia del cemento portland.
- Si las concentraciones de los cloruros son muy altas reducen la solubilidad del oxígeno y pueden disminuir la velocidad de corrosión

2.4. SULFATOS

Los sulfatos son sales inorgánicas que se encuentran en la superficie, aguas freáticas y superficiales con un grado de concentración inferior a 0.1%, los sulfatos solubles que más se encuentran en la naturaleza son: sulfato de sodio, sulfato de calcio y sulfato de magnesio, siendo este último, el más común y destructivo para la pasta del cemento del concreto.

2.4.1. ATAQUE

En contraste con el ataque de los ácidos que penetran por los poros y destruyen todos los componentes de cemento, los sulfatos sólo atacan ciertos componentes de los cementos.

Los procesos y las reacciones que pueden producir el ataque de los sulfatos en el concreto armado dependen de varios factores como: su naturaleza, concentración, penetración, succión capilar, características del concreto, condiciones ambientales y duración del ataque. Los sulfatos más abundantes son los sulfatos cálcicos, los magnésicos y los sódicos

En el agua de mar los sulfatos tienen una concentración de 2.7 gramos por kilogramo de agua y representan el 10% del total sales disueltas, lo que significa que el agua de mar en un medio ambiente moderadamente agresivo para las estructuras de concreto reforzados.

El agua de mar contiene dos tipos de sulfatos muy solubles el Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$) y el Sulfato de Calcio ($CaSO_4$), de los cuales el primero es el más agresivo.

El ataque de los sulfatos sobre el concreto, es consecuencia básicamente de 2 tipos de reacciones químicas: una con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) que es liberado con la hidratación del cemento y otra con los compuestos hidratados que provienen del aluminato tricálcico (C_3A)

De la reacción de los sulfatos con el hidróxido de calcio resulta sulfato de calcio (yeso) que es poco soluble y produce una menor degradación y de la reacción con los hidratos de aluminio se produce el sulfoaluminato de calcio (etringita), ambos productos son expansivos y aumentan su volumen al doble, al cristalizar generando esfuerzos internos de tensión que causan micro - agrietamiento. El sulfato de magnesio reacciona con los silicatos dando lugar a la formación de yeso, brucita y de gel sílice

La temperatura puede jugar un papel importante en la degradación del concreto, pues determina el tipo y la naturaleza de los aluminatos hidratados y de los sulfoaluminatos producidos en el ataque de la pasta de cemento

2.4.2. MANIFESTACIONES

Las manifestaciones del ataque al concreto por sulfatos se caracterizan de dos formas las de tipo químico y las de tipo físico.

- Acciones químicas:

- Etringita que produce expansión.
- Formación de yeso, a partir de sulfato sódico, el carácter ácido ocasiona debilitamiento de la pasta de cemento reduciendo la resistencia del concreto.
- Formación de yeso y brucita como consecuencia de la presencia de sulfato de magnesio, que provocan expansiones y fisuras.

- Acciones físicas en el concreto:

- La cristalización de las sales de sulfato en los poros ocasiona presiones internas en los poros.
- Expansiones ligeras y agrietamientos que facilitan la penetración de sulfatos u otro agente dañino para el concreto.
- Cambio de calor por la presencia del yeso y la humedad.
- Desintegración la capa más superficial del concreto

En la zona de marea y salpicaduras donde el concreto se somete diariamente a humedecimiento y secado existe un efecto adicional de desintegración producido por el aumento de volumen que experimentan las sales absorbidas al secarse a cuyo efecto se les suma el oleaje y la erosión Figura 2 5

Sin embargo gracias al elevado contenido de cloruros minimizan e inhiben la expansión de las reacciones que ocasionan los sulfatos, de manera que cuando ocurre la lixiviación son expulsados o extraídos de la masa antes de generar demasiadas presiones internas

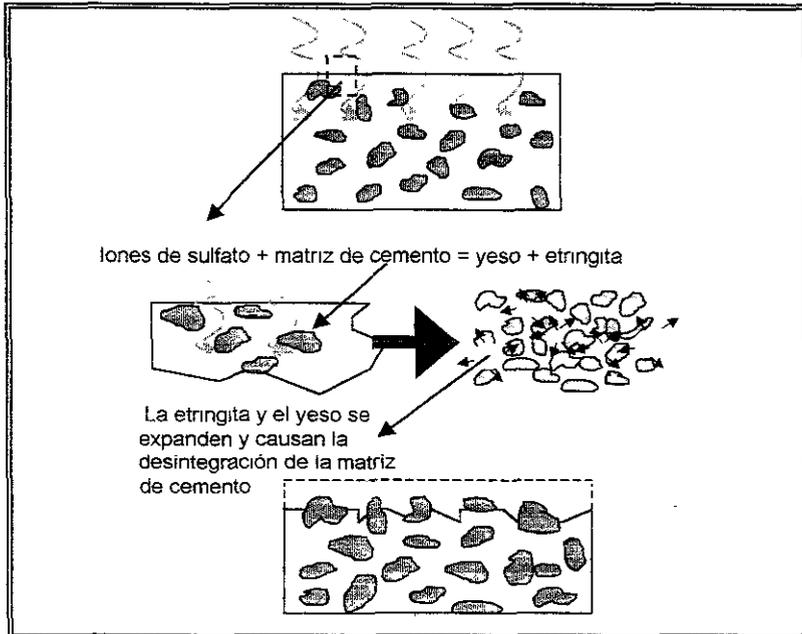


Figura 2 5 Ataque de los sulfatos al concreto

2.5. EROSIÓN

Las estructuras de concreto que presentan servicio en contacto con un flujo de agua están expuestas a sufrir deterioro por erosión hidráulica

2.5.1. ATAQUE

La erosión hidráulica es el deterioro que sufre el concreto por la acción de las partículas suspendidas en un fluido y por el mismo fluido y es consecuencia de dos procesos:

- a) Erosión por abrasión es el efecto de desgaste que se produce por diversos materiales arrastrados por el agua: hielo, sedimentos, arena, sales, vegetación, fauna marina, etc.

El proceso de daño se basa en los impactos y arrastre repetitivos de las partículas suspendidas en agua sobre la superficie del concreto, provocando una pérdida de resistencia en la capa superficial del concreto. Cuando el agregado queda expuesto, el avance del daño dependerá de la resistencia de estos a la abrasión, de su permeabilidad y porosidad. En la Figura 2.6. se observa la desintegración causada por la abrasión, la pasta del concreto pulverizado, debido a la acción de las partículas suspendidas que arrastra el agua y fue erosionando al concreto.

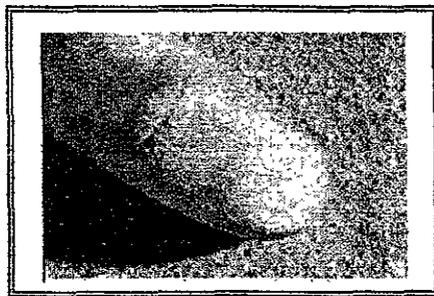


Figura 2.6 Abrasión en el concreto

- b) Cavitación. El comité 116 del ACI define el proceso erosivo de cavitación como: el colapso de las burbujas de vapor en el flujo de agua en la superficie del concreto (implosión), que se forman en áreas de baja presión y se colapsan al entrar en áreas de mayor presión, ocasionado por el movimiento rápido de un líquido, como el agua. La cavitación se produce con mayor frecuencia en superficies irregulares y con cambios bruscos en la superficie del concreto por que ahí se forma una depresión, ocasionando áreas de turbulencia en donde se forman burbujas de vapor de agua, estas burbujas se mueven hacia abajo y se implosionan por la condensación. De manera similar pasa cuando una ola se estrella contra un objeto o estructura. En estructuras que se encuentran en la zona de saipicaduras y de mareas se escucha el chasquido de las burbujas que se colapsan.

Aunque parece que las implosiones de las pequeñas burbujas no son suficientes para ocasionar algún tipo de deterioro severo al concreto, el colapso del vapor de agua burbujeante produce presiones hasta de 7000 kg/cm^2 (100,000 psi)

Las altas velocidades de la corriente y la fuerza de cavitación pueden causar un daño severo en el concreto y permitir el paso de la humedad y las sales hasta el acero de refuerzo. En la figura 2.7. se observa la desintegración del concreto en los puntos de turbulencia del flujo del agua causada por la implosión de las burbujas.



2.7. Cavitación en el concreto

Ambos procesos abrasión y cavitación dependen de la calidad de la pasta de cemento, de la intensidad de las acciones abrasivas y erosivas, tamaño de los cuerpos arrastrados, por el tipo de flujo, el régimen, caudal y velocidad.

2.5.2. MANIFESTACIÓN

- La primera manifestación es el desgaste superficial de la capa de la pasta de cemento.
- Exposición parcial o total del agregado.
- Distribución de grietas sobre la superficie del concreto sometida a la acción de la abrasión, causada por los impactos de las partículas suspendidas.
- Cristalización de sales debido al incremento de porosidad en el concreto.
- Corrosión del acero por penetración de las burbujas y sales en la masa del concreto.

2.6. CORROSIÓN

La velocidad con la que el acero de refuerzo se corroe es muy alta en ambiente marino. La corrosión es el resultado en ambiente marino de un proceso electro-químico inducido por la acción de las sales del exterior que penetran en el concreto y llegan al acero de refuerzo.

2.6.1. ATAQUE

La humedad es muy alta a lo largo de la costa el aire y la brisa tienen concentraciones elevadas de sal, oxígeno, dióxido de carbono, que se depositan en la superficie del concreto, con el paso de los días una parte del agua se evapora (cristalizando las sales) y otra parte con sales solubles penetra en la masa por medio de los poros o grietas que encuentre a su paso, los cloruros contenidos en el agua de mar llegan al acero y en presencia de humedad y oxígeno se inicia la corrosión del acero.

El proceso inicia a temperatura ambiente, donde las barras de acero de refuerzo actuarán como un conductor eléctrico, el agua en los poros de la pasta será el electrolito. Durante el proceso de corrosión, el oxígeno es consumido y genera los productos de corrosión, el agua se necesita para permitir que siga el proceso, los cloruros y sales que se encuentran en el agua de mar sirven como catalizadores acelerando el proceso, su presencia se relaciona con la generación de óxido férrico. La acción catalizadora de los cloruros consiste en bajar el pH de concreto, con lo que se disuelve

la capa pasivante de protección del acero, al reaccionar el ion de cloruro se combina con los iones de hidróxido (de las soluciones del concreto) forman oxido ferroso en solución. Que causa las células de corrosión en el ánodo y trae como consecuencia la corrosión en el acero de refuerzo. Figura 2.8.

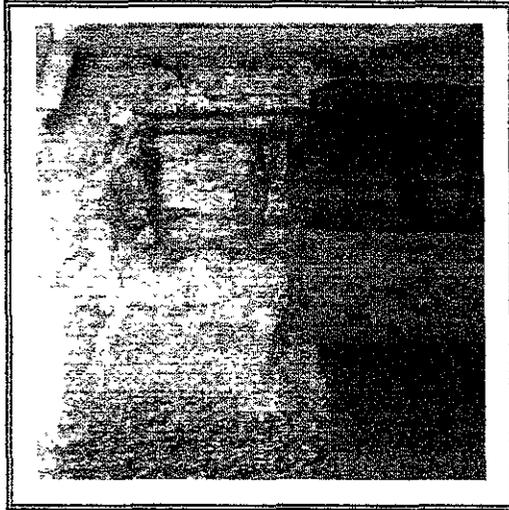


Figura 2.8. Corrosión del acero de refuerzo

2.6.2. MANIFESTACIONES

- La expansión de los productos de la corrosión que inducen a la formación de grietas alrededor del plano donde se encuentren las varillas del acero y llevar al ingreso de agua de mar y con ello ocasionar nuevos procesos de daño.
- Disminución de la resistencia del concreto.
- La corrosión del acero de refuerzo en el concreto en ambiente marino es la parte final de todo un proceso de agentes dañinos y es importante analizar sus efectos individuales
 - El agua actúa como medio de transporte de la sal, el oxígeno y el dióxido de carbono, cuando la sal esta disuelta el agua provee un electrolito de baja resistividad eléctrica, que permite que el proceso fluya rápidamente.
 - Dióxido de carbono reacciona con el hidróxido de calcio y baja la alcalinidad de la pasta.
 - Oxígeno es esencial para que ocurra la corrosión
 - Las sales del agua de mar llevan los iones de cloruro con lo cual se reduce la pasividad del acero

Es importante hacer notar que el acero de refuerzo del concreto que esta totalmente inmerso en el océano no se corroe porque el oxígeno y el dióxido de carbono son excluidos del ambiente

Existe una condición muy severa cuando el concreto se encuentra en la zona de brisa y mareas, porque este se encuentra en contacto con el oxígeno y el dióxido de carbono, ocurriendo el proceso de corrosión con mayor velocidad en estas zonas

2.7. REACCIÓN ÁLCALI AGREGADO

2.7.1. ATAQUE

El concreto que se encuentra en ambiente marino puede incrementar su alcalinidad por medio del agua de mar en forma natural, esto ocurre por la penetración de iones de sodio y potasio que contiene el agua.

La humedad favorece la reacción álcali agregado (80 al 85% de humedad relativa), si la cantidad de agua que se encuentra en la masa de concreto es suficiente la cantidad de productos expansivos es mayor, dicho fenómeno es más crítico en áreas donde el concreto esta saturado totalmente. Las temperaturas registradas en las costas de México aceleran las reacciones químicas que produce el álcali, el sílice y los carbonatos.

Si en la pasta se encuentran agregados con cierta cantidad de sílice y carbonatos, la reacción ocurre. Esta reacción por sí misma no deteriora al concreto pero sí los productos. El sílice, el carbonato, contenido en el ópalo, calcedonia y ciertos tipos de pizarras reaccionan con el álcali disuelto en los poros del concreto formando un gel que genera presiones suficientes para agrietar al concreto.

Un dato importante es que si el concreto contiene más del 35% de agregados reactivos del total de los agregados la reacción, no se produce, porque es tan rápida que consume la concentración de los álcalis impidiendo su transformación en gel.

2.7.2. MANIFESTACIONES

Se producen dos reacciones básicas

- Reacción ácido base (silanol) que producen gel de silicato (poco expansivo).
- Reacción con OH del tipo sódica con carácter altamente expansivo.
- Agrietamiento en forma de mapa
- En zonas donde existe degradación del concreto y el agua penetra, la reacción pueden desencadenarse hasta llevar a la total destrucción de la estructura
- En la figura 2.9 se observa un mapa de grietas y algunos hoyos causado por la reacción álcali agregado en el concreto. El daño es lento pero avanza progresivamente en el concreto, mientras más tiempo pasa es más profunda la reacción en el concreto.

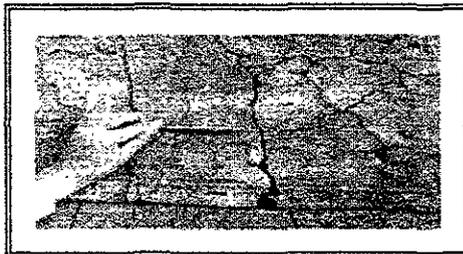


Figura 2.9 Reacción álcali agregado

2.8. ATAQUE DE ORGANISMOS VIVOS

Los microorganismos representan un factor natural agresivo para las estructuras de concreto en ambiente marino. Varios tipos de bacterias, plantas y hongos que crecen en la superficie del concreto representan un ataque microbiológico.

La principal característica de un ataque biológico es que las poblaciones no atacan solas, sino como parte de un ecosistema deben de existir factores ambientales que determina el tipo de bacteria que se forma y el tipo de ataque que sufre el concreto.

2.8.1. BIODEGRADACIÓN

Varios factores ambientales participan para que los microorganismos ataquen al concreto, por ejemplo la biodegradación del concreto debido al agua de mar ocurre en zonas donde las corrientes no fluyen llamadas zonas restringidas.

En estas zonas el oxígeno se consume por metabolismos biológicos (por ejemplo degradación del plactón) antes de que la cuenca pueda ser realimentada por la circulación del agua, consecuentemente el oxígeno es reemplazado por ácido sulfúrico. A medida que aumenta el contenido de ácido por la descomposición de la materia orgánica, se transforma en sulfatos a través de la acción oxidante de algunas tiobacterias, creando zonas de mayor agresividad para el concreto. La putrefacción de la biomasa genera concentraciones de dióxido de calcio en el concreto endurecido, que favorecen la formación de bicarbonato de calcio. Dado que este bicarbonato del calcio es soluble al agua, produce una pérdida de sección en contacto con el agua y debilitación de la pasta de cemento, provocando una descomposición de los productos de hidratación del concreto.

2.8.2. CONCRETIVOROUS

Esta microscópica bacteria es muy destructiva para el concreto. La tiobacteria concretivorous y la tiobacteria thioxidante son 2 de los más de 40 microbios que contiene el agua de las zonas industriales, zonas costeras y provenientes de desagües que deterioran al concreto. La tiobacteria se agrupa para formar la bacteria conocida como culprits que segrega ácidos altamente dañinos para el concreto como ácido sulfúrico (H_2SO_4) que se encuentran en gran cantidad en los desagües que van al mar.

La tiobacteria concretivorous, sobrevive solamente en un ambiente donde el pH de 1 a 7 y la tiobacteria thioxidante en 0.6 a 7 pH. El pH del concreto normalmente es de 12 a 13, en estas condiciones las tiobacterias no sobreviven, por ello deben de ocurrir ciertas reacciones para que el pH del concreto se reduzca.

- 1 Cuando no existe suficiente ventilación y movimiento de las aguas negras que van al mar fermentan y generan metano e hidrógeno sulfuroso, estos gases reaccionan con el dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua contenido en la atmósfera para formar carbonatos y sulfatos de calcio.
- 2 Estas sustancias se concentran en la superficie del concreto a lo largo de la línea de la superficie del agua, reduciendo el pH a 9. A este nivel proliferan varios tipos de microorganismos (algunos se reproducen en tan sólo 18 minutos), que comienzan a segregar ácidos, y a reproducir con mayor velocidad reduciendo el pH.
- 3 El pH del concreto baja hasta el nivel donde las tiobacterias concretivorous y thioxidante viven, produciendo ácido sulfúrico en concentraciones de un 30% aproximadamente.
- 4 El ácido sulfúrico, ataca al concreto porque reacciona con la cal del cemento portland, destruyendo 2 ½ partes del cemento, en climas cálidos como los de la costa la actividad de las tiobacterias se incrementa al doble, destruyendo más rápidamente al concreto.

2.8.3. BIOCORROSIÓN

La población de microorganismos involucrados en la corrosión del acero es extremadamente variada, puede estar representada por bacterias aeróbicas y anaerobias, por hongos microscópicos como algas u otros microorganismos que viven en estructuras sumergidas o no sumergidas pero que se encuentran cerca o en contacto con el agua de mar.

La característica de este ataque son los ácidos inorgánicos que segregan las bacterias como el ácido carbónico, que ocasiona pequeños agujeros en el concreto (del tamaño de la cabeza de un alfiler), que provocan un aumento en la permeabilidad del concreto y un micro agrietamiento, que permiten el libre acceso para cultivos de microbios en el interior de la masa. Las bacterias se reproducen y con ellas las pequeñas cavidades, permitiendo el libre acceso del agua y oxígeno al concreto ocasionando corrosión en el acero de refuerzo, obviamente la humedad, el pH local, la cantidad de sustancias inorgánicas y las variaciones de temperatura amplifican y diversifican el ritmo de la biocorrosión. Otra característica de la biocorrosión es que la población de bacterias rodea en su totalidad al elemento de concreto en cuestión.

2.8.4. POBLACIONES DE MOLUSCOS

Existe una especie de moluscos que habita las costas del norte de México llamada comúnmente barrenadores de roca. Esta especie "Pholads", son conocidos porque atacan y dañan al concreto, son peligrosos en estructuras que se encuentra sumergidas. Los barrenadores (pholads) actúan mecánicamente como limas se pegan al concreto, segregan ácidos que disuelven las celdas calcáreas del concreto; no son poblaciones abundantes y los orificios que causan al concreto no son mayores de 5 mm. Gracias a los orificios causados por los barrenadores de roca, entran al concreto las sales que reaccionan con algunos componentes de la pasta de cemento, que provocan productos expansivos o corrosivos. Figura 2.10.

Además de los Pholads, existen otras poblaciones de moluscos que se adhieren a la superficie del concreto. Por ejemplo los mejillones se fijan en una superficie del concreto, para formar colonias se abren camino a través de huecos, juntas y grietas ya existentes y afectan la durabilidad de la estructura, además de contribuir al aumento de peso de la estructura, ocasionando una mayor superficie de exposición frente al oleaje y otras acciones marinas.

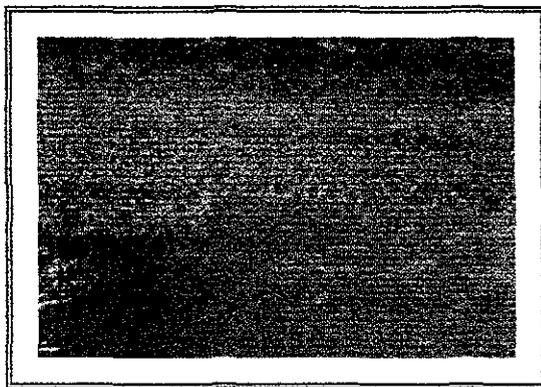


Figura. 2.10. Incrustación de organismos en estructuras de concreto

2.8.5. CRECIMIENTO MARINO

Dentro del mar existe una gran cantidad de vida que busca donde crecer, en las estructuras de concreto reforzado que se encuentran totalmente sumergidas encontramos un crecimiento marino el cual conforme el manual Para Inspección de Plataformas Marinas, de PEMEX, puede ser de dos tipos:

Crecimiento marino duro: Son organismos densos y firmemente unidos a la subestructura, como el coral, estrellas de mar, conchas marinas.

Crecimiento marino blando: Lo forman las esponjas, algas marinas, anémonas y otros organismos, cuya densidad es similar a la del agua.

El daño más significativo que causa este tipo de crecimiento en estructuras sumergidas esta representado por: El incremento sobre los miembros de una estructura que a su vez produce un incremento en masa. Adicionalmente al incremento en la dimensión de la geometría debida a este crecimiento, se produce un aumento en la masa adherida de agua y por lo tanto también se considera este efecto, ya que la fuerza vertical y lateral sobre la estructura aumenta por el crecimiento marino. Figura 2.11

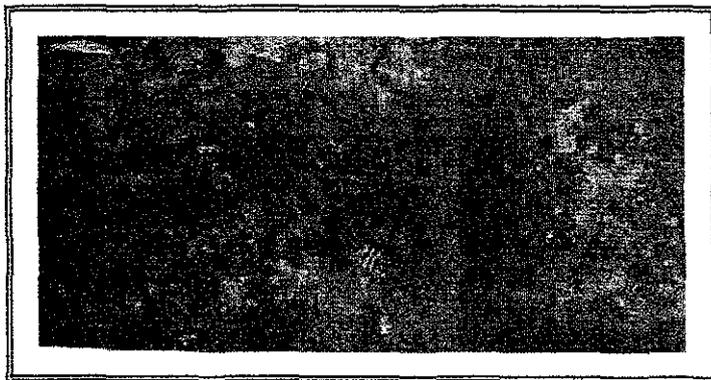


Figura 2.11 Crecimiento marino

CAPITULO TRES:
EVALUACIÓN PRELIMINAR

3. EVALUACIÓN PRELIMINAR

Definición: Evaluación es el proceso por el cual se determina el estado en el que se encuentra una estructura y cuyo objetivo es: *Revisar el estado de seguridad y servicio en el que se encuentra la estructura al momento de la evaluación*

La finalidad de realizar un estudio patológico o de evaluación es:

- Descubrir la degradación o anomalía
- Determinar la causa o fuente del deterioro del concreto
- Evaluar la estabilidad de la estructura
- Definir las acciones de reparación, rehabilitación o demolición

En el diagrama 3.1 se ejemplifica el proceso para evaluar las estructuras de concreto, este procedimiento es muy general por lo que no indica una secuencia rigurosa e inflexible a seguir, pudiéndose complementar conforme se realice la evaluación, pues el modo definitivo de cómo evaluar lo define el ingeniero responsable

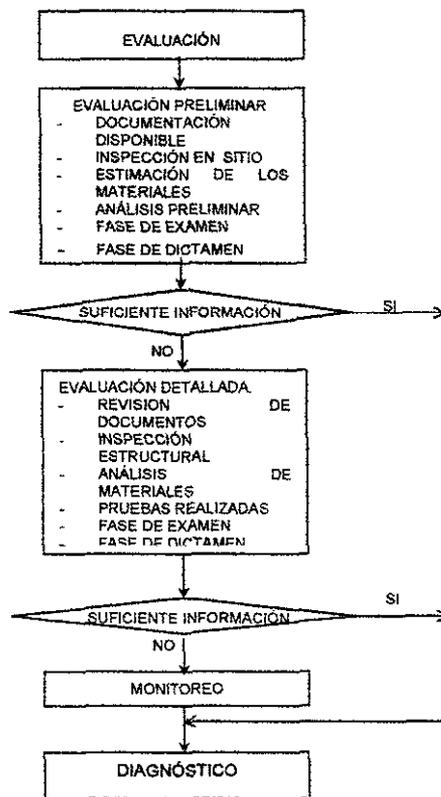


Diagrama 3.1. Guía para evaluar estructuras de concreto.

Cuando se realiza una evaluación se examinan dos aspectos del concreto, uno el concreto como material y dos trabajando como parte de la estructura. Al evaluar al concreto como material se debe de conocer el estado físico y químico en el que se encuentra para estimar el deterioro y trabajando dentro de la estructura, se debe evaluar si esta funcionando adecuadamente.

El proceso básico al evaluar una estructura de concreto se divide en dos etapas: *preliminar y detallada*, como observamos en el diagrama 3.1. Ambas etapas son definidas y planteadas por el ingeniero responsable, el detalle con el que se elaboren las evaluaciones dependerá de las condiciones en que la estructura se encuentre, del tipo de actividad que se realiza y además de la petición hecha por el cliente. Como observamos en el diagrama 3.1. sí el ingeniero y su equipo de evaluación consideran que se tiene la información necesaria para emitir ciertas recomendaciones y dar un dictamen final en la primera etapa ahí se concluye, pero si la información no es suficiente se debe de realizar una evaluación detallada.

Además del ingeniero y su equipo que realizan la inspección, se debe de contar con personal familiarizado con la estructura, las instalaciones, que tenga acceso a todas las áreas, que describa las instalaciones, el funcionamiento, los requerimientos, los daños o alteraciones.

El ACI junto con la ASCE (American Society of Civil Engineering) establecen que para desarrollar una buena evaluación en estructuras de concreto es necesario conocer y entender ciertas definiciones, criterios y palabras claves que son utilizadas como estándares dentro del proceso y dentro del informe:

- Inspección: colección sistemática y análisis de datos, evaluación y recomendaciones sobre elementos de concreto que existen en la estructura y que se encuentra dañados para los usos o estados límites de servicio de dicha estructura
- Atributos: comportamiento y características que ha presentado la estructura ante siniestro, como fuego, sismo o bajo condiciones ambientales.
- Estructura: elemento de concreto que se encuentra en servicio y es ocupado por personal, material o equipo.
- Elemento no estructural: es un componente cuya función original es no dar soporte vertical o lateral a cargas impuestas por el edificio, excepto su propio peso dentro de estos elementos se puede incluir techos, parapetos, ornamentación, cornisas, chimeneas, paredes o muros divisorios, barandales, etc.
- Elemento estructural: es un componente de la estructura el cual para propósitos de la evaluación, se puede aislar del resto del edificio y que posee una capacidad para apoyar, resistir o transferir cargas. Dentro de estos componentes podemos incluir por ejemplo. losas, pisos, muros, travesaños, columnas, marcos, cimentaciones, pilas, pilotes, etc.
- Conexiones o uniones: es la unión entre elementos u otras partes del edificio que por diseño o como un resultado de la estructuración es capaz de transferir cargas o fuerzas.
- Pruebas destructivas: proceso por el cual se observan, inspeccionan y evalúan las propiedades de los materiales, o componentes; métodos por los cuales se puede ver el daño y deterioro de las propiedades que afectan la vida de servicio de la estructura por medio de un espécimen de prueba. Las pruebas destructivas se pueden llevar a cabo en el sitio o tomar muestras para evaluarlas en el laboratorio.
- Pruebas no destructivas: evaluaciones del material, componentes o sistemas estructurales que tengan alguna alteración en sus propiedades y desempeño dentro de la estructura de concreto.
- Inspector. profesional encargado de examinar, evaluar, realizar pruebas o algún otro tipo de procedimientos que sirvan para conocer la calidad, estado, defectos o deterioro de los materiales, componentes de la estructura, así como de emitir ciertas recomendaciones sobre el estado de la estructura

- Ingenieros capacitado: profesionista en Ingeniería Civil o Arquitectura que tenga experiencia en el área de estructuras y evaluación de las mismas.

3.1. PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN PRELIMINAR.

El fin de la evaluación preliminar es recolectar la suficiente información y resaltar la causa o fuente del problema

La evaluación preliminar tiene los siguientes objetivos:

- Establecimiento del esquema estructural y del funcionamiento general de la estructura.
- Inspección visual y fotográfica en el sitio, para identificar las zonas con mayor problema.
- Determinar la extensión del daño.
- Identificar las zonas con alto potencial de riesgo.
- Recomendación de los estudios necesarios para una segunda etapa de evaluación

En esta etapa de evaluación se hacen inspecciones en el sitio de tipo visual, para identificar la situación real de la estructura y compararla con los datos que se recopilaron previamente, es posible que no se identifique la causa del daño, ya que existen agentes que actúan en conjunto, sobre todo en el ambiente marino y deterioran al concreto o atenúan sus propiedades mecánicas, sin embargo la evaluación preliminar sirve para eliminar posibles agentes dañinos hasta obtener un pequeño número de ellos y así poder determinar lo que realmente le pasa a la estructura. Los datos que se recopilan sirven para hacer una estimación de la estructura, con estos datos se establece la necesidad y la prioridad de realizar un análisis más detallado.

No existen reglas ni métodos para determinar las causas del deterioro, cada caso representa un problema particular y como tal se debe de estudiar, un factor muy importante al realizar una evaluación preliminar es la experiencia del ingeniero que permite plantear un cierto comportamiento de las estructuras, él sabrá dónde buscar, cómo buscar y qué buscar.

En esta etapa se realizan los siguientes pasos:

- a) Revisión de documentos y datos históricos
- b) Inspección en sitio
- c) Identificación de la zona dañada
- d) Emisión del informe

3.2. REVISIÓN DE DOCUMENTOS Y DATOS HISTÓRICOS.

Para realizar una evaluación o inspeccionar cualquier tipo de estructura se requiere cierta información como: planos, criterios de diseño, el estudio de mecánica de suelos, la bitácora de obra, etc., esta información facilitará la realización de la evaluación del sitio de inspección, cuando sea posible la información y documentos deberán revisarse antes de hacer la inspección, la información que se utilice podrá vaciarse en formatos o croquis para que el equipo de inspección pueda comparar lo real con lo que debería de ser. Por lo regular no se tiene siempre la información suficiente y cuando no esta disponible el ingeniero deberá obtener los datos durante la inspección en sitio por medio de un levantamiento preliminar en planta y elevación que demuestre las principales características de la construcción.

La información que se proporcione acerca de la estructura puede dar un indicio de la causa del daño, por ejemplo el registro de las pruebas aplicadas al concreto y al acero, las modificaciones realizadas al diseño original, todas las fotografías del proceso constructivo. Un documento muy importante y que se debe de revisar es la bitácora de obra, ya que en ella aparecen todos los problemas que se tuvieron durante la construcción, problemas durante la ejecución de algún proceso, cambios de material, etc., toda esa información será de mucha ayuda al momento de realizar la inspección en el sitio y cuando se lleva a cabo el informe de la evaluación

En ocasiones es necesario ir a preguntar a los municipios o alcaldías si existe algún registro de los planos, el tipo de uso anterior y el nuevo, si existe algún tipo de registros sobre los siniestros ocurridos, etc.

3.3. INSPECCIÓN EN SITIO.

El propósito de la inspección en el sitio es identificar el tipo de construcción, su edad, identificación del sistema estructural y sobre todo revisar los daños que presenta el concreto como elemento estructural y como material de construcción

Dentro de los daños que se identifican por medio de la inspección visual están los defectos debidos a los procesos constructivos, a una mala estructuración, distorsiones en los elementos ocasionados por deflexiones excesivas, deterioro en el material como agrietamientos y desprendimientos de la capa superficial del concreto. Es importante distinguir entre los varios tipos de grietas que se encuentren, hay que examinar sus patrones, manchas, oquedades, formas, dibujo, tamaño y comportamiento para encontrar la causa más probable que la originó

Gracias a la inspección en el sitio y la lectura de los planos o registros de la estructura se puede identificar la probable causa de los daños y definir las áreas donde de pueden encontrarse. Además se confirman o corrigen datos sobre la información existente del diseño y la condición estructural, cualquier evidencia de modificaciones debe ser anotada, así como el deterioro de los materiales, deformaciones y desizamiento entre las uniones, desplomes, hundimientos, etc

En el sitio de inspección lo primero que se hace es buscar todos aquellos sitios de difícil acceso donde rara vez se realiza algún tipo de inspección y mantenimiento, siendo estos los focos de deterioro que pueden poner en peligro la estabilidad de la estructura como por ejemplo en las patas de las plataformas se incrustan organismos vivos.

En el sitio de inspección se debe de caracterizar e identificar el medio ambiente el macro - clima y el micro - clima, determinar las condiciones de

- Humedad
- Exposición en los que se ubica la estructura (elementos estructurales y no estructurales)
- Condiciones de operación en el interior (micro clima) contra el exterior (macro clima)
- Transmisión de humedad y vapor.
- Filtraciones
- Zonas débiles.
- Zonas de tensión

Los datos servirán para formar un marco de referencia de los posibles efectos del medio en la estructura como los mecanismos de envejecimiento y procesos destructivos en función de las condiciones ambientales

En cuanto al estado de la estructura es importante considerar

- Dimensiones generales
- Dimensiones de los elementos estructurales y no estructurales.
- Deflexiones
- Hundimientos
- Desplomes.

Dentro de los daños en el material se deben de observar si existen:

- Grietas.
- Descascaramientos, desintegración en la superficie
- Oquedades u hoyos
- Superficies que presentan cambio de color debidas a la humedad o reacciones entre los materiales.
- Corrosión del acero.

- Oxido en la superficie.
- Superficies erosionadas.
- Ataque biológico.

Para realizar la inspección en el sitio, además de definir los objetivos, se debe saber:

- Quien puede y realizará la inspección
- Que equipo se necesita
- Que tipo de mediciones se toman en ésta inspección.

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL INSPECTOR.

- *Marco legal y realidad*

En México no existe la figura jurídica de un inspector que realice evaluaciones en estructuras de concreto existentes, los reglamentos hablan de inspectores de estructuras que se encuentran en construcción, por ejemplo en el Reglamento del Distrito Federal se hace referencias en los artículos 330 al 334, al inspector de obra, que es una persona debidamente acreditada por el Departamento del Distrito Federal (D.D.F.) y que al efectuar visitas se debe de identificar como tal, realizar la revisión, llenar ciertos formatos y entregárselos a los responsables de la obra. El título de sexto habla sobre construcciones dañadas (art 233 al 235), refiriéndose a que si existe un daño en la estructura se debe de notificar al D.D.F y este envía al inspector para que revise la estructura, pero no describe los requisitos que se necesitan para ser inspector del D.D.F, ni sus obligaciones, atribuciones y quién los acredita.

En el mismo Reglamento existe la figura de los Directores Responsables de Obra (DRO) y de los Corresponsables de obra, aquí se describen las características que deben de cumplir, responsabilidades y quién los acredita (art 39, 45). se explica que son los responsables de la ejecución de la obra, de la seguridad de la misma y que sólo el DRO y el corresponsable de seguridad estructural pueden firmar la constancia de seguridad estructural (art. 40, frac. III y IV, art. 45, frac. III). Pero este Reglamento deja inconclusa su actuación, pues no afirma ni niega, si ellos pueden realizar evaluaciones de estructuras existentes o si sólo su actuación se limita al D.F. o si su dictamen es aceptado en el resto de la República Mexicana o si pueden realizar evaluaciones a estructuras en ambiente marino.

En la Ley General de Asentamientos Humanos vuelve a aparecer esta figura, (art 89-94), de igual forma en la Ley de Desarrollo Urbano se hacen referencias a los inspectores (art 47-62), pero ambas leyes dejan inconcluso quien los acredita o los requisitos que se necesitan.

El Reglamento de la Comisión de Avalúos de Bienes Nacionales, menciona que ésta comisión se dedica a valorar los bienes de la nación, cómo se designan sus miembros y cuáles los requisitos que deben cumplir, así como responsabilidades y derechos, su función es ver que el patrimonio de la nación se encuentre en perfectas condiciones e inspeccionar el estado de los bienes para que no pierdan su valor (art 5- 9,22-25). Este perfil podría ser el que más se asemeje a un inspector, sin embargo la participación de los miembros de esta comisión es restringida en el ámbito de la seguridad y su acción únicamente es de realizar avalúos.

En materia de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural por parte del gobierno existe la Comisión Nacional de Desarrollo Urbano y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, que se encargan de la conservación y protección de la sociedad frente a riesgos o peligros, además estos organismos son los encargados de desarrollar las bases del Sistema Nacional de Protección Civil a través de la promoción y coordinación de la participación de los sectores públicos, social y privado, de investigación y desarrollo de tecnologías, capacitación de profesional y especialistas en material de desarrollo urbano, prevención y seguridad estructural y ayudar a prevenir los efectos de sismos, huracanes e inundaciones. Por su parte la Comisión Nacional de Desarrollo Urbano realiza inspecciones y evaluaciones de estructuras, pero no cuenta con un documento que especifique las características que deben de cumplir sus inspectores.

A continuación plantea una propuesta de las características que debe de cumplir una persona para ser inspector de estructuras de concreto, pues como se analizó en el marco legal, la figura del "Inspector" no se encuentra definida y cualquier Ingeniero o Arquitecto que tenga cédula profesional puede realizar una inspección y emitir ciertas recomendaciones, recordando que únicamente los DRO o Corresponsables de Seguridad Estructural pueden firmar y emitir los dictámenes correspondientes (Esto ocurre en el caso del Distrito Federal).

- *Perfil Profesional*

- a) Tener el grado de ingeniero civil o arquitecto.
- b) Contar con cédula profesional.
- c) Tener más de 3 años de experiencia, en las áreas de construcción y/o diseño estructural.
- d) Conocer especificaciones, normatividad y reglamentos en materia de construcción
- e) Asistir regularmente a cursos de actualización profesional en tecnología del concreto, el área de patología del concreto, reparación, inspección, supervisión y mantenimiento de estructuras

- *Características personales*

- a) Paciente, sereno
- b) Habilidad para hablar y escribir bien
- c) Habilidad para manejar y archivar documentos
- d) Experiencia. Factor fundamental para realizar un buen trabajo de inspección.
- e) Ser una persona muy observadora.
- f) Ser objetivo en sus juicios y observaciones

Es recomendable que además del inspector, cuente con un equipo de técnicos o profesionistas de su confianza con los que realice las inspecciones, ya sean preliminares o definitivas.

Las inspecciones de estructuras Marinas representan un mayor reto para el profesional encargado de realizarlas, y para ello se requiere de una mayor preparación técnica y experiencia en estructuras en ambientes marinos. Por ello el ACI y la Det Norske Veritas (DNV) que es una compañía Noruega especializada en realizar inspecciones de estructuras de concreto en ambiente marino, cuentan con ciertos requisitos para calificar y certificar a un inspector en este tipo de estructuras.

Requisitos de un inspector de estructuras en ambiente marino:

- Ser Ingeniero Civil o su equivalente internacionalmente
- Amplia experiencia en este tipo de estructuras
- Acreditar un curso de pruebas no destructivas *
- Tener un mínimo de 6 meses de haber acreditado el curso de pruebas no destructivas y manejar un método a la perfección.
- Ser miembro de cualquier organismo internacional de construcción o de investigación de materiales como: CEB, ACI, DNV y el IMCYC
- Saber nadar perfectamente y/o haber acreditado un curso de buceo

De hecho en México es tal la preocupación por tener personal capacitado para realizar las inspecciones de estructuras en ambiente marino que instituciones como PEMEX, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), CFE, entre otros han contratado a la empresa Det Norske Veritas para certificar y capacitar a sus ingenieros. Por su parte PEMEX y el IMP, desarrollan manuales de inspección y mantenimiento de las estructuras que se encuentran en la costa y fuera de ellas y cuentan con un Programa de Formación de Personal en la Industria Petrolera para apoyar a la investigación y desarrollo de tesis a nivel licenciatura, maestría y doctorado sobre estos temas, siendo actualmente esta su mayor preocupación, pues en la actualidad en México necesita de profesionales capacitados en el área de evaluación para, conservar y mantener funcionando en condiciones seguras las instalaciones marítimas, portuarias y terrestres con las que cuenta

* Nota: Estas asociaciones imparten dichos cursos

3.3.2. EQUIPO Y MATERIAL DE APOYO.

A continuación se listan el equipo y material necesario para realizar una inspección de estructuras en tierra.

- Mapas y formularios
- Libretas y lápices
- Escala de bolsillo
- Grietómetro
- Flexómetro metálico de 5 m
- Cámara fotográfica
- Casco de protección
- Botas
- Guantes
- Linterna
- Nivel de mano
- Plomada y martillo
- Pintura de diferentes colores y brocha

Ahora se listará el equipo básico para una inspección de estructuras que se encuentren sumergidas

- Equipo de buceo completo
- Aletas
- Flexómetro de plástico
- Tira graduada de plástico
- Navaja
- Barco de apoyo
- Lámpara de buceo
- Regla metálica o de plástico
- Vernier
- Cepillo hidráulico
- Cámara para uso submarino, con juego de lente flash con capacidad para operar ha 80 m de profundidad
- Equipo de video submarino, para operar a una profundidad de 80 m, con lámpara o para grabar sin luz

Uno de los elementos más importante de apoyo para una inspección en estructuras que se encuentran fuera de la costa y en aguas profundas son los *Vehículos Operados por Control Remoto* conocidos como ROV (remotely operated vehicle) figura 3.1. Los ROV son sistemas de mando a distancia diseñados para trabajar en condiciones acuáticas y tienen 4 características básicas:

- El vehículo va realmente bajo el agua
- Tienen un sistema de transmisión que opera dentro y fuera del agua
- Una consola de mando a distancia que opera generalmente desde un barco
- Un cable que conecta al sistema de transmisión con la consola, para agua profundas cuentan con un radar

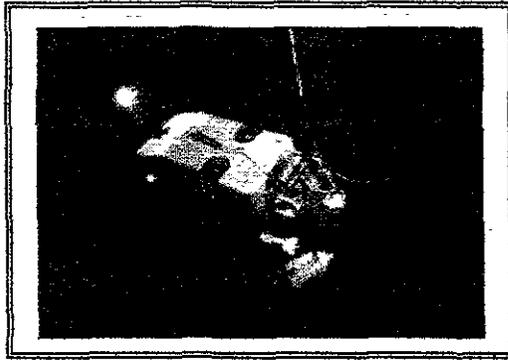


Figura 3.1 vehículo operado por control remoto

El vehículo operado por control remoto baja hasta 7000 metros para realizar exámenes de alta fidelidad y operaciones de rescate de pilas, líneas o ductos de conducción cuando es necesario. Por ejemplo el más utilizado en el golfo de México por la compañía Det Norske Veritas para realizar inspecciones en las zonas petroleras es el Magellan 725 (figura 3.2.); es un vehículo maniobrable de libre natación y usa fibra óptica, cuenta con un sonar y un sistema de comunicación de datos de alta velocidad, además cuenta con un par de extremidades para examinar elementos y herramientas para trabajo pesado y de recuperación. Se manipula por medio de la visión de un cámara de video que transmite a la estación.



Figura 3.2. ROV Magellan 725.

Gracias a estos vehículos se arriesgan menos vidas humanas en las inspecciones y se realizan con mayor rapidez y mayor calidad en la interpretación de los resultados

3.3.3. MEDICIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN Y NOMENCLATURA DE LOS ELEMENTOS.

Dentro de las mediciones realizadas en la inspección en sitio se encuentran las que se refieren a la estructura en general como ancho y largo, altura de entrepiso, etc. y las que se refieren a la presencia de daños patológicos

3.3.3.1. DIMENSIONES GENERALES DE LA ESTRUCTURA.

Al realizar un levantamiento de la estructura en cuestión se deben de hacer croquis y mediciones, que sirven como referencia al efectuar el levantamiento de los daños. Este trabajo si no es bien organizado puede ser tedioso y confuso al momento de compararlo con lo que se tiene en planos, por ello es importante contar desde el principio con una nomenclatura que conozca todo el equipo de inspección y que permita identificar con un par de letras sobre el plano o en la hoja de levantamiento a que elemento o distancia se refiere.

La nomenclatura facilita el trabajo al medir las dimensiones de la estructura, sobre todo cuando no se cuentan con los planos originales y es necesario realizarlos.

Es importante especificar los elementos que se encuentren más dañados, tomará todas sus dimensiones y marcarlos para posibles pruebas destructivas o no destructivas.

Además del levantamiento general que se realiza durante la inspección en sitio, existen por lo menos 4 parámetros más que ayudan a definir el estado de deterioro en que se encuentra una estructura en ambiente marino, tres se refieren a las mediciones que se realizan en el sitio y uno más estado general de los elementos de concreto.

Si los levantamientos se realizan por medio de los ROV, dicho trabajo es más sencillo, porque automáticamente quedan registrados los datos y además se cuenta con el video que el vehículo va tomando por si existe alguna duda de la localización de la estructura o de una parte de ésta.

3.3.3.2. MEDICIÓN DE DESPLOMES, DESNIVELES Y DEFLEXIONES.

Estas mediciones se deben de realizar con cuidado y verificar conforme a las especificaciones de construcción de la estructura las tolerancias permitidas y, en caso de no existir, verificar, con el Reglamento de Construcciones y con las Normas Técnicas Complementarias. Cuando las deflexiones sean considerables será necesario apuntalar los elementos y verificar que no exista riesgo de derrumbe o de rompimiento de alguna tubería, ducto, línea de conducción, cable o algún otro tipo de instalación

Para el caso de los desplomes sucede lo mismo es importante comparar las tolerancias existentes por reglamento o especificación, verificar el riesgo de derrumbe y daños que puedan ocasionar

Para los desniveles y hundimientos es necesario verificar las tolerancias y el estado de las cimentaciones, porque tal vez los elementos estructurales que detienen no estén dañados, pero el cimiento de los mismos sí

3.3.3.3. MEDICIÓN DE GRIETAS.

Una de las mediciones de especial interés que se realizan durante la inspección son las grietas, por ello su descripción debe de incluir:

- Su ancho en varios puntos a lo largo de su longitud, para determinar los posibles desplazamientos del elemento o estructuras y la distancia entre grietas.
- La profundidad de la grieta para conocer si ha penetrado lo suficiente y ha disminuido la resistencia del elemento o por efectos patológicos el concreto pueda sufrir desintegración parcial o total
- Determinar la presencia de material extraño en la grieta. suelos, oxido, pintura, gel, polvo, plantas, microorganismos, etc , ayuda a definir el origen de la grieta y si se ha producido lentamente o es producto de un siniestro

El aparato para medir las grietas se llama comparador óptico y mide el ancho de las grietas mayores a .01 mm, con una exactitud de .025 mm. El comparador óptico (figura 3.3.) cuenta con un dispositivo para ajustar la visión para el inspector.

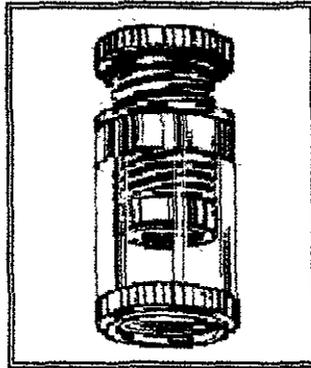


Figura 3.3. Comparador óptico.

El comparador óptico utiliza plantillas graduadas intercambiables con 2 escalas la del sistema métrico decimal y el sistema inglés. En la figura 3.4. se muestran las plantillas más utilizadas para medir las grietas en el concreto.

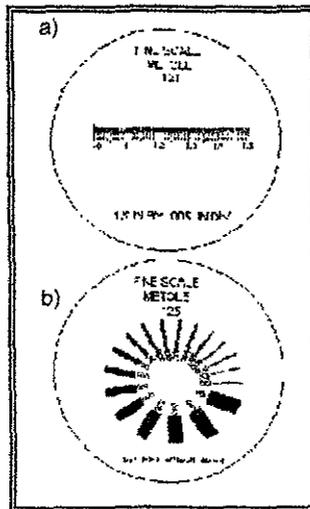


Figura 3.4. Plantillas circulares usadas comúnmente en la medición de grietas
a) graduación en pulgadas b) graduación en decimales

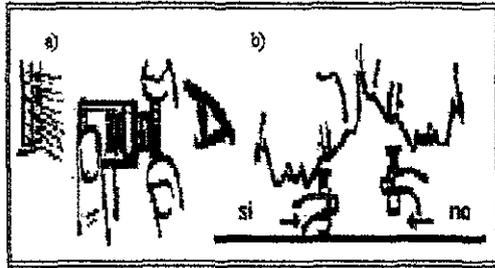


Figura 3.5. Uso del comparador óptico.

En la figura 3.5. se muestra el uso correcto del comparador , en la figura 3.5.a. se muestra como enfocar el comparador y en la 3.5.b la forma correcta para tomar una medición.

Gracias al comparador se puede determinar si las grietas son recientes o no. Lo primero que se debe de observar es si no hay algún tipo de crecimiento dentro de la grieta tal como moho, hierbas, polvo, etc., si los hay es lógico que la grieta no es reciente. En algunos casos donde los agrietamientos no tienen presencia de algún tipo de material, es difícil saber si es reciente o tiene tiempo. Cuando se observa a través de la mirilla del comparador, si la grieta no es reciente presenta un cierto desgaste en la superficie del concreto y posiblemente dicho desgaste presente más de 1/3 cm de profundidad. En la figura 3.6. se ejemplifica la manera de medir correctamente una grieta reciente de la que no lo es.

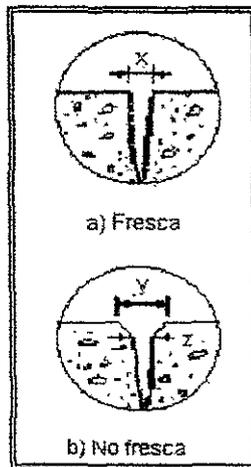


Figura 3.6. El ancho de una grieta

- a) Grieta reciente
- b) Grieta no reciente

En una grieta reciente la dimensión "x" corresponde a su ancho, mientras que la "y" representa la longitud total más el desgaste "z" de ambos lados de la grieta (siempre y cuando no rebase 1/3 cm de profundidad) Si se mide la dimensión "y" de la grieta es exagerar el ancho de la misma y sería una dimensión equivocada

Las medidas que se tomen deben de ser lo más uniforme posible, pueden variar $\pm 10\%$ en el rango de ancho, porque a lo largo de su longitud una grieta puede tener diferentes anchos, por ello se deben de tomar varias mediciones representativas a lo largo de la grieta.

Además del comparador óptico existe el grietómetro figura 3.7. tiene una menor precisión que el comparador y es una mica graduada que se desliza sobre la grieta hasta apreciar la coincidencia del ancho de la grieta con una de los anchos de líneas dibujadas en la regla.

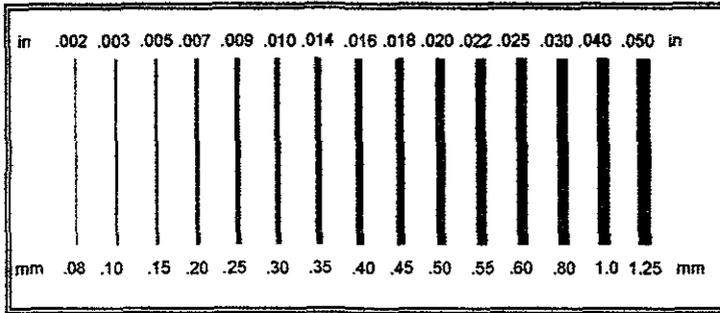


Figura 3.7. Grietómetro.

El daño que representan las grietas observadas durante la inspección en sitio no sólo dependen del ancho, sino también de la estabilidad que presente, de la forma, de las condiciones de exposición del elemento, de la configuración de la estructura y de la posición de la grieta en el elemento.

De acuerdo con el reporte 224R-80 "Control de agrietamiento en estructuras de concreto" del ACI (tabla 3.1.), existe cierta tolerancia para los anchos de las grietas que se encuentren en la superficie de concreto. Los estudios que se realizaron en este comité deben de tomarse con precaución pues sólo representa las tolerancias típicas para tensión del concreto reforzado en condiciones de exposición típicas.

Tolerancia para grietas a tensión en concreto reforzado		
Condiciones de Exposición	Tolerancia para grietas superficiales	Tolerancia para grietas profundas
Expuesto al aire con membrana protectora	0.016	0.041
Humedad, sol y aire	0.012	0.030
Ambiente químicos e industrias	0.007	0.018
Agua de mar, brisa de mar	0.006	0.015
Congelamiento y deshielo	0.006	0.015
Cortinas de presas, diques, etc.	0.004	0.010

Tabla 3.1. Tolerancia para grietas ACI 224-80

Los criterios de la tabla anterior se utilizan durante el diseño de las estructuras, pues si se encuentran grietas tan pequeñas como las anteriores y bajo las condiciones de exposición no representan problema para las estructuras, sin embargo si las grietas son significativamente mayores se debe de revisar periódicamente la estructura y/o realizar una evaluación detallada en función de la importancia de la estructura y su potencial de riesgo.

En México el M.C Javier Pérez Caballero, colaborador del departamento de asesorías técnicas y laboratorios en el IMCYC, de acuerdo con el Comité 224 del ACI considera que para evitar

daños graves en una estructura debidos a una grieta, el ancho máximo es de 0.40 mm, con base en este criterio define los siguientes intervalos para realizar una evaluación inicial de estructuras tabla 3.2.

Tipo de agrietamiento	Ancho permitido (IMCYC y ACI 224)
Ligero	≤ 0.40 mm
Moderado	> 0.40 pero ≤ 0.80 mm
Fuerte	> 0.80 mm

Tabla 3.2. Anchos máximos de grieta para estructuras de concreto

Para definir la magnitud de los daños por agrietamiento el M.C. Javier Pérez Caballero escribió un artículo titulado "Criterios para Evaluación de daños", donde propone la tabla 3.3.

Tipo de agrietamiento	Ancho	Magnitud de daño
Micro agrietamiento (ligero)	≤ 0.04 mm	Ligeramente dañado (LD)
Grietas (moderado y fuerte)	≤ 1.00 mm	Moderadamente dañado (MD)
Fractura *	≤ 5.00 mm	Fuertemente dañado (FD)
Dislocación * *	> 5.00 mm	Severamente dañado (SD)

Tabla 3.3. Clasificación del daño en estructuras de concreto en función del ancho de la grieta.

La configuración de las grietas causadas por acciones mecánicas y eventos naturales en las estructuras de concreto se analizarán en el inciso 3.4.2. Componentes estructurales y no estructurales.

3.3.3.4. MEDICIÓN DE CRECIMIENTO BIOLÓGICO.

En las estructuras de concreto reforzadas en ambiente marino uno de los factores que más inciden es el crecimiento marino o incrustación de colonias de moluscos, en nuestro país PEMEX es la empresa que cuenta con un mayor número de estructuras costa fuera, por ello en conjunto con el IMP ha desarrollado un procedimiento para realizar las evaluaciones del crecimiento marino. En las tablas 3.4. y 3.5. se especifican los espesores límite de crecimiento permisibles para estructuras de concreto sumergidas en el golfo de México, tomados del Criterio Transitorio para diseño y evaluación de plataformas marinas en la Sonda de Campeche.

Elevación respecto al NMM (m)	Espesor de crecimiento marino duro (cm)
+1 a -20	6
-20 a -40	4
-40 a -80	2

Tablas 3.4. Espesor máximo permitido de crecimiento marino duro

Elevación respecto al NMM (m)	Espesor de crecimiento marino blando (cm)
+1 a -20	7.5
-20 a -40	5.5
-40 a -80	3.5

Tablas 3.5. Espesor máximo permitido de crecimiento marino blando

* Nota. Estas grietas se encuentran generalmente limpias y se forman cuando ocurre algún fenómeno natural (siniestro) o en estructuras expuestas a la acción constante de las olas

Las mediciones que se realizan son dos: la profundidad y el diámetro del crecimiento. Figura 3.8.

La medición de la profundidad que tiene el crecimiento consiste en limpiar primero una superficie de aproximadamente 10 cm, después colocar una regla o una banda flexible de manera que haga contacto con la estructura y medir el espesor del crecimiento, se toman varias mediciones en la zona y se toman varias fotografías para apreciar las diferencias entre el crecimiento como su espesor, altura o extensión.

Para medir el diámetro del crecimiento primero se limpia una fracción de 15 cm y se mide todo el perímetro del elemento y después el ancho de la estructura para así poder determinar el diámetro del crecimiento, esta medición se toma en pilas, patas de plataformas y líneas de conducción.

Las mediciones obtenidas se comparan con los espesores límite de crecimiento y se anota en el reporte. La actividad siguiente es especificar si el espesor de crecimiento que presenta la estructura esta dentro de los límites o no y describir los posibles daños que dicho crecimiento pueda causar a la estructura. Ver 2.8.5



Figura 3.8 Medición del crecimiento marino.

3.3.3.5. ESTADO GENERAL DE LOS ELEMENTOS.

Al realizar la inspección visual en el sitio es importante anotar el estado en que se encuentra el concreto como material. Además de medir las grietas, se debe de observar la apariencia el color, la textura, si se encuentra con varillas salientes, manchas o se esta desintegrando. Por ésta razón se debe de contar con una simbología como la de la tabla 3.6, que todo el equipo a cargo de la inspección conozca y sirva para que al momento de hacer el levantamiento sea más rápido y agilice el trabajo. Gracias a ésta herramienta cuando se realicen los trabajos finales de evaluación en el gabinete, se podrá tener un panorama más detallado del estado de deterioro en el que se encuentra el concreto como material.

Nomenclatura de daños en el concreto	Significado
Cc	Cambio de color en la superficie del concreto
Ca	Cavitación en la superficie
Ca _s	Corrosión del acero de refuerzo
Cre	Crecimiento de algún organismo en la superficie
De	Desintegración del concreto
Er	Erosión en la superficie
Gt	Formación de Grietas típicas debidas a un proceso específico de deterioro
md	Material desconocido sobre la superficie del concreto como sales, gel, etc.
ox	Presencia de óxido
+,-	Defecto que incrementa (+) o disminuye (-) la dimensión original del elemento
▼ ▶	Asentamientos o desplomes
va	Varillas expuestas
hu	Humedad

Tabla 3.6. Nomenclatura de daños en el concreto

3.3.3.6. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DAÑADA.

Una vez identificados los elementos de concreto que están dañados, además de fotografiarlos es necesario hacer un mapa o croquis de la zona dañada y compararla con la información de los planos originales. Al elaborar el croquis se debe hacer un dibujo en planta y un corte donde se dibuje la conformación de grietas, las manchas o la anomalía que se observe durante la inspección visual.

Si por ejemplo la estructura tiene varios niveles y en una sola zona en el primer nivel presenta deflexiones o asentamientos, en el segundo nivel flechas o deflexiones y así hasta el nivel superior, lo más probable es que sea una falla de tipo diseño estructural, pero no una falla del concreto como material.

También gracias a los croquis y mapas de la zona dañada se puede observar por ejemplo daños en azoteas y manchas lo más probable es que el concreto como material sea el que está fallando y tenga humedad o este ocurriendo algún tipo de reacción química.

Dentro de los datos que se deben de incluir en un croquis están:

- El tipo de elemento que es
- Entre que ejes se encuentra en la dirección "x" y "y"
- A que nivel corresponde
- Magnitud del daño, especificando si toda la planta o sección presenta el mismo daño y si se repite en otras secciones
- Comentarios y observaciones

3.4 ANÁLISIS PRELIMINAR.

El análisis preliminar nos proporcionará las bases para

- Estimar si la construcción tiene una capacidad adecuada ($f'c$, E) para resistir el criterio estructural especificado tanto por el diseño como los reglamentos.
- Identificar las deficiencias estructurales y su probable repercusión en el adecuado funcionamiento de la estructura

La aplicación de un análisis simplificado en el dictamen de evaluación y la experiencia del equipo de inspección se requieren para determinar las demandas estructurales y la capacidad de aquellos elementos críticos de la estructura.

Dentro de las Normas Técnicas Complementarias para diseño de estructuras de concreto, vienen criterios de diseño y deformaciones permisibles para diferentes elementos estructurales las cuales pueden ser de ayuda al realizar el análisis preliminar, dentro de estas normas se incluye el diseño por sismo para analizar si la estructura es resistente o no a dichos eventos

Otro manual de diseño que es reconocido internacionalmente y que puede ayudar al análisis preliminar de las estructuras de concreto es el del ACI "Building code requirements for reinforced concrete and commentaries"

En la actualidad existen paquetes como el SAP 2000 y el ANSYS que son programas de análisis estructural, que ahorran tiempo y dan buenos resultados, son paquetes a los cuales se les proporcionan las características del material, cargas o dimensiones de los elementos y realizan el análisis pertinente, dando resultados como deformaciones permisibles, desplazamientos, etc.

Existe otro programa que se llama TRICALC que diseña en tercera dimensión y tiene integrado un compilador con diferentes reglamentos de construcciones dentro de los cuales esta el del Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias para hacer más rápido y fácil el análisis de la estructura

3.4.1. CRITERIOS DE CARGA Y FUNCIONAMIENTO.

El ingeniero debe establecer y analizar el criterio de cargas y funcionamiento basándose en

- La filosofía original de diseño y evaluar si funciona o no con lo que se diseño cuando se construyo la estructura
- Evaluar la estructura con los reglamentos de la actualidad y ver si satisface o no dichos reglamentos

Una vez realizado éste análisis se establecen las necesidades predominantes sobre la construcción, esto se refiere básicamente a la clasificación de las estructuras de acuerdo a su función o destino y al grado de seguridad que por ley deben tener y a su vez dependerá del estado en el que se encuentra la estructura.

3.4.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES.

- Elementos estructurales

Basándose en el análisis de los documentos que se tengan disponibles, los resultados de la inspección en el sitio y el análisis de carga y funcionamiento, se deberá identificar el o los sistemas estructurales que resisten las principales cargas verticales y laterales y el curso que siguen para llegar a la cimentación

Se deben de identificar los miembros estructurales y las conexiones en el sistema en las direcciones vertical transversal y longitudinal junto con sus propiedades físicas y los detalles de

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

estos miembros. Los miembros y las conexiones que tienen una falla reducen seriamente la capacidad de la estructura para resistir la aplicación de las fuerzas.

En la tabla 3.7. se resumen los daños estructurales más comunes en los que se deberá hacer énfasis durante la inspección y el análisis de la estructura. Los daños se han clasificado por tipo de elemento estructural, indicándose también la causa principal de los mismos.

Elemento estructural	Tipo de daño	Causa
Columnas (fig. 3.9a)	Grietas diagonales	Cortante o torsión
	Grietas verticales	Flexocompresión
	Desprendimiento del recubrimiento	Flexocompresión
	Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Flexocompresión
Vigas (fig 3.9b)	Grietas diagonales	Cortante o torsión
	Rotura de estribos	Cortante o torsión
	Grietas verticales	Flexión
	Rotura del refuerzo	Flexión
	Aplastamiento del concreto	Flexión
Unión viga columna (fig. 3.9b)	Grietas diagonales	Cortante
	Falla por adherencia del refuerzo de vigas	Flexión
Sistema de piso (fig 3.9c)	Grietas alrededor de columnas o en losas o placas planas	Penetración
	Grietas longitudinales	Flexión
Muros de concreto (fig. 3.9d)	Grietas diagonales	Cortante
	Grietas horizontales	Flexocompresión
	Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Flexocompresión

Tabla 3.7. Daños estructurales más comunes.

- *Elementos no estructurales:*

Si existen elementos no estructurales que puedan contribuir de manera significativa a la resistencia estructural deben de considerarse en el análisis preliminar, así como su interacción con el sistema estructural, uniones y conexiones con el resto de la estructura, para garantizar la integridad de dichos componentes dentro de la construcción. Los daños a elementos no estructurales se deben a las uniones o conexiones inadecuadas de estos elementos con el resto de la estructura o a una falta de rigidez de la misma, por ello es importante que durante la inspección y dentro del análisis se consideren estos detalles

Los daños más comunes en elementos no estructurales son:

- Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios
- Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería
- Rotura de vidrios
- Desprendimiento de aplanados, recubrimientos, plafones y elementos de fachadas
- Rotura de tuberías e instalaciones diversas



a) Grietas diagonales



b) Aplastamiento del concreto y pandeo de barras



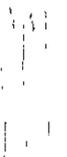
a) Grietas diagonales



b) Grietas verticales y aplastamiento del concreto

Figura 9.a. Daños en columnas

Figura 9.b. Daños en vigas y columnas



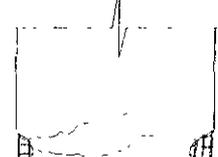
a) Grietas por penetración



b) Grietas verticales y aplastamiento del concreto



a) Grietas diagonales



b) Grietas horizontales, aplastamiento de concreto y pandeo de barras

Figura 9.c. Daños en losas planas

Figura 9.d Daños en muros de concreto

Figura 3.8 Daños en elementos estructurales de concreto reforzado

3.4.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.

Se integra la información y los datos obtenidos de la construcción con los resultados de los análisis que se elaboraron de las conexiones y de los componentes dañados o críticos para poder determinar globalmente las condiciones de la construcción. Si la condición estructural que se encontró es marginal no se requerirá de una evaluación detallada, también si en esta etapa se indican diferencias significativas se deberá recomendar o garantizar en su caso la elaboración de un estudio más exacto que deberá realizarse cuando la construcción no este en uso

En la tabla 3.8 se presentan algunos criterios para la clasificación y evaluación preliminar de daños estructurales ocasionados por acciones mecánicas. Al llevar a cabo la evaluación preliminar, deben interpretarse los criterios expuestos con cierta flexibilidad, con base en la experiencia y el buen juicio de la persona que la realiza, por ejemplo en algunos casos se observarán grietas determinado ancho en algunos elementos aislados, pero en otras ocasiones se encontrará el mismo daño generalizado

Tipo de Daño	Descripción	Evaluación Preliminar
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales	No existe reducción en la capacidad sísmo resistente No se requiere desocupar
Estructural ligero	Grietas de menos de .05 mm de ancho en elementos de concreto Grietas y caída de aplanados en paredes y techo Grietas de menos de 3 mm de ancho en muros de mampostería	No existe reducción en la capacidad sísmo resistente No se requiere desocupar
Estructural fuerte	Grietas de 0.5 a 1 mm de ancho en elementos de concreto Grietas de menos de 3 a 10 mm de ancho en muros de mampostería	Existe reducción importante en la capacidad sísmo resistente. Realizar una inspección detallada
Estructural grave	Grietas de más de 1 mm de ancho en elementos de concreto Desprendimiento del recubrimiento en columnas Aplastamiento Agrietamiento de losas alrededor de las columnas	Existe una reducción importante en la capacidad sísmo resistente Deben desalojarse las instalaciones Realizar una evaluación definitiva que permita decidir si se procede a la demolición o se realiza un programa de rehabilitación

Tabla 3.8. Clasificación y evaluación preliminar de daños

3.5. LISTA DE COMPROBACIÓN

La lista de comprobación o "checklist" es un listado que el inspector junto con su equipo conforma y sirve para ordenar la información obtenida durante la recolección de datos y la visita al sitio, como su nombre lo indica revisa si no se omitió algún detalle durante la inspección

La lista de comprobación es muy utilizada en instalaciones petroleras y eléctricas como tanques de almacenamiento, líneas de conducción, estaciones terrestres y submarinas, plataformas, plantas industriales, termo eléctricas, hidroeléctricas, estaciones de transmisión, cortinas de presas, etc.

Esta lista se define en función de cuatro parámetros que son

- a) *Las necesidades del usuario.*
- b) *Condiciones de exposición.*
- c) *Condiciones de servicio.*
- d) *Condiciones de operación*

a) *Las necesidades del usurario.*

Aquí se definen las condiciones de desempeño que requiere el usuario como por ejemplo:

Condiciones de apariencia

- Se revisa si existen grietas.
- La textura de la superficie del concreto.

Expectativa de vida útil.

- Se define para que fin fue diseñada originalmente la estructura
- Se revisa calidad de los materiales.
- Cuánto tiempo lleva en servicio
- Existen reparaciones previas, si estas son visibles o no, para cuanto tiempo fueron diseñadas y como han afectado a la estructura.
- Si tiene algún mantenimiento.
- Para cuanto tiempo fue diseñado
- Bajo qué reglamentos de diseño.

Especificación de las anomalías más comunes dentro de las estructuras.

- Tipo de falla como agrietamiento, desintegración, descascaramiento, separación de elementos, hundimientos
- Cómo afecta esto al desarrollo del personal que labora ahí
- Se define si el daño o anomalía sigue en movimiento.
- Cómo afecta esto el desempeño de la estructura
- Cómo afecta el medio ambiente

b) *Condiciones de exposición*

En esta etapa se definen las condiciones de exposición de la estructura como tal y del concreto en el ambiente que lo rodea.

- Se define los gases atmosféricos, tipo de gas, concentración, duración, frecuencia.
- Químicos a los que se encuentra en contacto, tipo, concentración duración y frecuencia.
- Condiciones de humedad: duración al año y frecuencia
- Temperatura: condiciones de operación internas, rango de exposición externo, duración, frecuencia y ciclos de congelamiento – deshielo – secado.
- Cargas externas: impactos, líquidos en movimiento, líquidos estáticos, cargas estáticas temporales como nieve, lluvia, etc

c) *Condiciones de servicio*

Se define cuáles son los requerimientos del sistema estructural para soportar las cargas

Definen cargas por permanencia

- Cargas vivas.
- Cargas muertas.
- Cargas accidentales

Se define la por aplicación

- Cargas puntuales
- Cargas rodantes
- Etc

Se definen la zona sísmica, frecuencia e impacto de los mismos sobre la estructura, así como la estabilidad de la misma

Se define si es zona de huracanes, tormentas o depresiones, impacto, intensidad de vientos, velocidad de desplazamiento, etc

d) Condiciones de operación.

En esta etapa se definen las condiciones de la estructura y los parámetros de operación de las instalaciones en las que forma parte

- Lugar donde se encuentra
- Tipo de instalación.

Descripción del sistema que se analiza.

- Condiciones del sistema en general: limpieza y funcionalidad.
- Reportes existentes de mantenimiento e inspección.
- Se cuenta con manual de operación.
- Dimensiones del área seleccionada.
- Revisión de la geometría.
- Identificación de elementos dañados.
- Realización de croquis y mapas para identificar los elementos dañados.

3.6. EMISIÓN DEL INFORME.

La estructura básica de un informe preliminar suele ser la siguiente:

- a) Antecedentes: Aquí se describe brevemente, quien es el peticionario, cual es el problema a estudiar y la situación de la estructura
- b) Información disponible: Descripción de toda la documentación previa existente tanto escrita como verbal, generalmente toda la información se describe brevemente. Los planos disponibles, así como los estudios de mecánica de suelo y materiales se anexan al final
- c) Resultado de la inspección. Debe contener todos los datos recogidos durante la inspección, con descripción detallada de la brigada que la realizan y de las personas que estuvieron presentes durante la misma. Generalmente esta información se encuentra en el anexo "A" del informe

Las fotografías tomadas se incluyen en un anexo específico "B". Como en las fotografías suele no verse las grietas, estas se pueden dibujar sobre la fotografía en una hoja de papel albanene.

Análogamente los croquis realizados forman parte también de un anexo "C" independiente.

- d) Análisis del problema: la forma de analizar el problema depende del Inspector a cargo

El análisis a aquí se divide en dos aspectos:

- Los daños, anomalías que tiene el concreto reforzado como material ocasionadas por algún tipo de deterioro físico, químico o biológico. En este apartado se incluyen las deficiencias observadas en el material, su extensión y posibles avance sobre la estructura
 - Los daños que presenta el concreto reforzado como parte de la estructura debidos a acciones mecánicas. Si el análisis contiene cálculos y estos no son muy extensos, suelen incluirse en este apartado
- e) Los resultados de la evaluación. Se realiza en función del agrietamiento del concreto, el deterioro físico (que sea visual) y en elementos sumergidos total o parcialmente se revisa la presencia de organismos vivos, por ello se clasifica conforme al ancho de grietas (ver inciso 3.3., 3.4., 3.5), al espesor de crecimiento (3.6, 3.7), así mismo el deterioro total que presenta la estructura se clasifica para elementos estructurales (tabla 3.9.) y para toda la estructura (tabla 3.10)

f) Conclusiones: con base en los incisos anteriores se establecen las conclusiones.

No debe confundirse la finalidad de un informe preliminar, por su carácter limita la precisión en las conclusiones, pero eso no quiere decir que se limite su claridad. Dentro de las conclusiones se considera si el resultado de la evaluación cumple con su objetivo, si se considera que no se cumplió dicho objetivo se procede al análisis a detalle.

Dentro de las conclusiones se incluyen además una serie de recomendaciones como:

- Ensayos recomendados. Pueden ser muy variados como sondeos, ensayos geotécnicos, ensayos y pruebas en el concreto y acero, nuevas mediciones en obra, pruebas de carga, auscultación.
- Adquisición de información complementaria. Levantamiento de planos, determinación de número y diámetro de las armaduras, recubrimientos, etc.

CAPITULO CUATRO:
EVALUACIÓN DETALLADA

4. EVALUACIÓN DETALLADA

En el presente capítulo se describen las prácticas y los procedimientos utilizados para estimar a detalle las condiciones del concreto reforzado en una construcción existente, dichas prácticas incluyen la inspección detallada, pruebas de evaluación, destructivas y no destructivas.

La evaluación detallada se deberá de realizar en las construcciones existentes cuando los resultados de la evaluación preliminar lo requieran o cuando sea una petición directa del propietario. La evaluación a detalle persigue en general la definición completa de la estructura y en particular de las zonas, elementos o secciones que se encuentren dañadas, con el propósito de realizar un estudio analítico que permita evaluar la seguridad de la estructura y la vida útil. Los principales objetivos en esta etapa de evaluación son:

- Determinar si la estructura satisface los requerimientos especificados en el criterio de funcionamiento
- Definir las dimensiones generales de la estructura, elementos y secciones de la misma, así como la evaluación precisa de las cargas de carácter permanente
- Definir el estado en que se encuentra el acero de refuerzo dentro del concreto, pues es de especial importancia por su repercusión en la capacidad resistente de la estructura.
- Estudios de la calidad y resistencia de los materiales.
- Dar las herramientas necesarias para la emisión del diagnóstico de los daños o insuficiencias.
- Dar la pauta para seleccionar un método de intervención

Las actividades a realizar dentro de la evaluación detallada son:

- Descripción de la construcción.
- Evaluación del concreto estructural.
- Realización de pruebas no destructivas
- Realización de pruebas destructivas
- Elaboración de la lista de comprobación.
- Informe

Debido a los trabajos que se realizarán dentro de la evaluación, es importante contar con un Inspector que tenga el perfil profesional descrito en capítulo tres en el inciso 3.3.1 y además se cuente con un DRO, un corresponsable de seguridad estructural o un profesionista acreditado por el ACI, CBI o IMCYC, que avalen los trabajos realizados durante la inspección

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Se describirá la construcción de acuerdo a las visitas de obra efectuadas en esta nueva etapa, a los planos, a los cálculos de diseño y a toda la información que este disponible, se debe de tener cuidado para identificar irregularidades en la configuración del sistema estructural u otras características que puedan influir en el comportamiento estructural, todas las irregularidades que se encuentren deben de describirse perfectamente. Al describir la construcción se pueden retomar y corroborar los datos que se obtuvieron durante la inspección preliminar

4.1.1. DOCUMENTOS HISTÓRICOS

En la revisión de documentos disponibles se debe de contar con los datos oficiales del proyecto original, todo aquellos documentos que se refieran a la construcción, al diseño, a las modificaciones, informes de inspecciones anteriores o rehabilitaciones. Además de dichos documentos se deben de incluir los planos arquitectónicos, estructurales y de todas las instalaciones, la bitácora de obra las especificaciones de construcción, los reportes de las pruebas de mecánica de suelos y materiales, estándares de operación reglamentos de la época en que se construyó, datos de operación y mantenimiento, cambio de ocupación o modificaciones realizadas durante la construcción y posteriormente, control periódico de nivelaciones y despiomes, efectos de sismos o siniestros que afectaron a la estructura

Es posible que no se disponga de toda la información o que aun existiendo no coincida, por lo que será necesario una vez más realizar un levantamiento de campo. Las posibles fuentes para obtener los documentos de la estructura en cuestión podrían ser:

- Entrevistas con los propietarios y/o habitantes
- Registro municipal, local
- Cuando se trate de estructuras que sean obras de carácter internacional consultar a las autoridades correspondientes.
- Entrevistas con los diseñadores, arquitectos, ingenieros y con los contratistas encargados de la construcción original.
- Si existe alguna reparación, entrevistar a los responsables de dicha reparación
- Si existe alguna evaluación anterior, entrevistar a los responsables.
- Archivos de compañías de seguros que tengan planos o registros de la construcción asegurada.
- Artículos, textos, que se hayan publicado de la construcción
- Datos de fabricantes de materiales componentes o sistemas

4.1.2. INSPECCIÓN DETALLADA

La inspección detallada se caracteriza por los muestreos que se realizan en la estructura, cuya finalidad es recolectar información necesaria que complemente y amplíe los resultados arrojados por la inspección visual hecha en visitas anteriores.

Para poder realizar los muestreos se deben de tener un plan sistemático de las visitas para medir y verificar

- Dimensiones generales de la estructura y específica de los elementos dañados.
- Verificar los armados, medir recubrimientos, diámetros de las barras y defectos en los armados tipo utilizados. Cuando no existen planos esta actividad es más intensa y detallada, pues se deben de localizar elementos tipo y dentro de ellos zonas correspondientes al armado tipo.
- Localizar las zonas más dañadas dentro de la estructura y analizar la posibilidad de realizar en estos elementos y en el material, las pruebas necesarias para determinar la causa real del daño.
- Realizar las pruebas destructivas y no destructivas que en cada caso sea necesario

4.1.3. MEDICIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN.

El tipo de Mediciones que se realizan durante las visitas a la obra son de dos tipos geométricas y de incremento de daños.

Las mediciones geométricas tienen la finalidad de:

- Cuantificar estados límite. tales como desplomes, desniveles, excentricidades, anchos de grietas y flechas residuales
- Establecer la geometría básica de la estructura y determinar las dimensiones de las secciones transversales, de las secciones críticas donde existan uniones o juntas, cambios de sección, zonas de difícil acceso, etc.
- Determinar la forma, ubicación, tamaño y sección de los elementos embebidos en el concreto.

Medición del incremento de daños.-

En muchos casos interesa instrumentar la construcción para medir la evaluación de algunas magnitudes, tales como niveles, desplomes, grietas, etc. Un caso especialmente importante es la medición de movimientos relativos, como los de las grietas, el procedimiento tradicional para medir dichos daños es el colocar testigos

La colocación de los testigos consiste en poner una pastilla de yeso sobre la grieta y teóricamente si la grieta incrementa su dimensión el testigo se agrietará, pero esto es erróneo porque cualquier cambio en la temperatura o movimiento que cause resonancia en la estructura puede romper el testigo, sin que esto implique que la grieta haya aumentado de tamaño ver figura 4.1.a Una variante de los testigos de yeso, es fijarlos con una placa de cristal fino, en ellos cuando existe un incremento en el ancho de la grieta se rompe el yeso sin que se rompa el vidrio figura 4.1 b. Otro modo de fijar la placa de cristal de los testigos al concreto es utilizando resinas. El empleo de testigos no permite medir cierres de grietas.

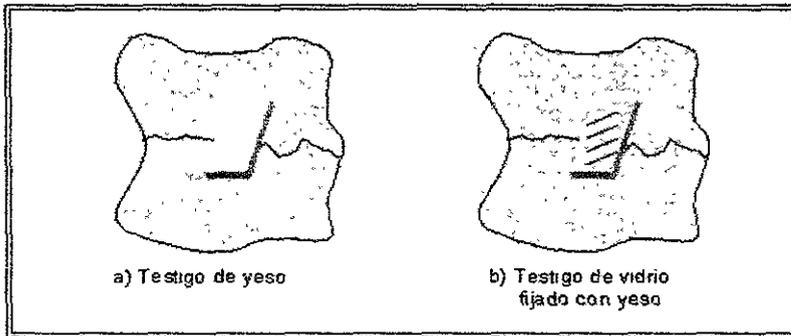


Figura 4.1. Muestra de testigos colocados en concreto.

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) de España emplea un procedimiento que permite medir el movimiento de apertura y de cierre en diversas condiciones, dichos procedimiento permite apreciar movimientos del orden de 0.3 mm. El dispositivo para medir consta de dos bases una de acero y otra de plástico que se fijan con resina al concreto, la placa de plástico tiene regla graduada que se coloca al centro de la fisura, donde queda el cero de la graduación y hacia ambos lados tiene 20 mm, la apreciación que tiene dicha graduación es de hasta .1 mm El dispositivo utilizado por el INTEMAC, permite seguir.

- La evolución del ancho de grietas
- Movimientos entre dos elementos ortogonales, en ambas direcciones de los planos que forman dichos elementos.
- La salida de plano de dos partes de una pieza fracturada.
- La separación entre muros y losas superiores o inferiores

La instalación de cualquiera de los sistemas descritos ya sea que se coloquen desde la inspección preliminar y se dejen para la detallada o se coloquen en esta última, permite vigilar e interpretar la evolución del comportamiento de la estructura a través del tiempo por medio de lecturas espaciadas en el tiempo

4.2. CRITERIO DE FUNCIONAMIENTO

Basándose en la documentación existente y complementada con los datos obtenidos en el reconocimiento de la estructura, así como los aportados por la experiencia y juicio crítico del inspector, se procede a un análisis del criterio de funcionamiento, para ello se debe de revisar y establecer

- a) Las cargas especificadas de proyecto y las reales actuantes en la estructura
- b) Los estados límite de falla y servicio
- c) Los coeficientes de seguridad, los de reducción, los límites de deformación y los valores de amortiguamiento
- d) La clasificación de la estructura de acuerdo con la reglamentación y legislación correspondientes y al criterio de funcionamiento previamente establecido.
- e) Los diversos sistemas estructurales (si los hay), los elementos estructurales y elementos no estructurales, poniendo principal atención en las conexiones de elementos estructurales con los elementos que no lo son, pues es en estas uniones donde el golpeteo constante de las olas o en caso de siniestro ocurren los mayores daños.
- f) Los miembros críticos que son aquellos que se encuentran en condiciones adversas o diferentes a las de su diseño.
- g) La capacidad actual para resistir esfuerzos, deformaciones, etc del sistema estructural
- h) La capacidad requerida de la estructura para soportar los esfuerzos existentes

Este análisis tiene la finalidad de extraer conclusiones sobre la causa de los daños estructurales, la importancia que han tenido los siniestros, el medio ambiente, así como la evolución del daño con el tiempo, su posible repercusión en la seguridad de la estructura y realizar previsiones y estimaciones del comportamiento futuro de la estructura

4.3. ESTIMACIÓN DE LA SEGURIDAD RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA

En general el cálculo de la estimación de la seguridad residual de estructuras existentes nos sirve para estimar la probabilidad de falla. La estimación se basa en que los parámetros que intervienen en la comprobación de la seguridad de cualquier estructura son de naturaleza aleatoria, dado que no pueden conocerse en forma exacta. Por ejemplo las dimensiones de los elementos estructurales, definidas en los planos, están sujetas a errores y tolerancias de la ejecución, por lo que en la realidad tendrán una cierta variabilidad, lo mismo ocurre de la resistencia de los materiales, al igual que las cargas y las sobrecargas a la que estará sometida la estructura son magnitudes estocásticas y sólo pueden representarse mediante variables aleatorias.

El cálculo para estimar la probabilidad de falla consistirá en definir, para cada posible sección crítica de la estructura y para cada una de las solicitaciones actuantes de la misma, la distribución de frecuencias asociada con la solicitación actuante máxima en la vida útil de la estructura, "S". Después se estimará, para las mismas acciones y solicitaciones, la distribución resistente asociada, "R". Se comprobará por último que el valor de la probabilidad sea $S > R$ y que no excede una probabilidad de falla prefijada, "p". Este análisis indica la resistencia que la estructura tiene ante cargas actuante y cuales ya sobre pasaron su resistencia y por eso fallaron o lo van hacer.

Para calcular la estimación de la seguridad residual de una estructura se toma en cuenta

- Análisis de esfuerzos
- Establecimiento y estimación de los coeficientes utilizados en el diseño de la estructura
- Los elementos estructurales y los no estructurales

4.3.1. ANÁLISIS DE ESFUERZOS

El análisis de esfuerzos es el proceso mediante el cual a partir de las cargas o acciones y de las dimensiones y otras propiedades estructurales obtienen los esfuerzos o solicitaciones actuantes en las secciones críticas, a partir de las cargas o acciones

El modelo usado habitualmente para calcular dichos esfuerzos es el de Resistencia de los Materiales. Este modelo lineal permite una aproximación razonable del comportamiento de las estructuras bajo cargas de servicio, excepto el cálculo de flechas en el que es preciso tener en cuenta las rigideces de las secciones, la acción del acero de refuerzo y las deformaciones diferidas por el concreto (fluencia). Este modelo tiene limitaciones para predecir la carga última o de rotura de estructuras hiperestáticas o que presentan problemas de no - linealidad geométrica o de deformaciones diferidas. En estos casos es recomendable utilizar un modelo no lineal que sea más realista, este análisis es más complejo pero permite acercarse más al comportamiento real de las estructuras y predecir mejor sus cargas de agotamiento, que en el caso de estructuras hiperestáticas pueden ser mayores que las pronosticadas por el modelo lineal.

Para la evaluación de la seguridad de estructuras existentes es necesario, de manera general, acudir a los modelos de análisis no lineal de estructuras, porque por una parte se conoce (o puede estimarse) el armado de la mismas, por lo que sería ilógico calcularlo utilizando las rigideces de las secciones de concreto. Por otra, se consigue así una predicción más realista y en general más favorable de las cargas últimas.

4.3.2. ESTABLECIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES

Deberá tenerse en cuenta que los valores de los coeficientes de seguridad pueden disminuirse con respecto a los usados en el proyecto de estructuras nuevas, tomando en cuenta:

- Las diferencias existentes entre dicha situación de proyecto y la de la evaluación de estructuras existentes
- La mayoría de los coeficientes parciales de seguridad se utilizan para cubrir incertidumbres sobre el comportamiento del concreto
- El hecho de que en las estructuras existentes con problemas patológicos tienen una probabilidad de falla mayor o una vida útil más corta que para estructuras nuevas

Estableciendo el valor del coeficiente de acciones γ_f puede aceptarse en la evaluación de la estructura dependerá de la responsabilidad del elemento estructural, del nivel de la investigación desarrollada y de la existencia de síntomas de avisos previos al daño de elementos. Estos coeficientes se aplican a las cargas permanentes reales estimadas y a las sobrecargas estimadas, que pueden ser menores que las de proyecto

Para el cálculo de la resistencia del concreto puede usarse la resistencia estimada de los ensayos de pruebas destructivas o no destructivas, aplicando a la misma un coeficiente de minoración de resistencia (de seguridad) del concreto γ_c de un 20%, si se ha hecho una investigación ardua de resistencias

4.3.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Al igual que en el inciso 3.4.2, para la identificación de los elementos estructurales y los no estructurales se requiere de la revisión detallada de los planos, de la visita en sitio, del resultado de inspecciones anteriores y tener en cuenta sus características y manifestación de daños más comunes como se explicó en dicho inciso

Al evaluar la resistencia de los elementos no estructurales para saber si pueden soportar las cargas y deformaciones a los que están sujetos. Se debe evaluar también el efecto de estos componentes sobre el funcionamiento de la construcción.

4.3.4. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y CLASIFICACIÓN DE DAÑOS

De acuerdo con el daño observado y a los resultados del análisis de cargas de la estructura se clasificará en alguna de las categorías siguientes

Tipo de daños	Características
Daño nulo	
son	Se refiere a daños importantes en muros divisorios, cancelos, fachadas, vidnos, pretilas, etc. Estos daños se mencionan brevemente dentro del informe final de inspección.
Daño estructural ligero	Se refiere principalmente a la aparición en trabes, de grietas de no más de 0.6 mm de ancho. La inclinación de estas grietas puede variar de 45° a 90° con respecto al eje de la trabe
Daño estructural intermedio	La aparición en trabes y muros de rigidez, de grietas de entre 0.6 mm y 1.0 cm de ancho. Si las grietas son inclinadas con respecto al eje de la trabe representan un mayor peligro potencial que las gnetas normales al eje, porque pueden conducir a una falla brusca, las grietas diagonales deben buscarse en la zonas de mayor fuerza cortante, que normalmente están próximas a los apoyos.
Daño estructural severo	La construcción se clasificará si presenta uno o varios de los siguientes daños: <ul style="list-style-type: none"> a) Grietas diagonales de mas de 10 mm de ancho, en trabes principales y en uniones con columnas b) Gnetas verticales en columnas c) Desprendimiento de recubrimientos del acero d) Pandeo del acero longitudinal e) Desplome de elementos de más de 1:100 f) Agrietamiento de losas planas alrededor de los apoyos y/o columnas g) Grietas diagonales numerosas de más de 1.00 mm en cualquier elemento estructural de concreto h) Aplastamiento en muros

Tabla 4 1. Clasificación de daños estructurales

4.4. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Las pruebas no destructivas han sido utilizadas por Ingenieros Civiles en estructuras como presas y puentes desde 1960, son aplicadas para obtener una estimación de la resistencia del concreto, para determinar la uniformidad de los esfuerzos en el concreto, para detectar grietas, descascaramientos y discontinuidades similares, para localizar las barras de acero, la profundidad a que se encuentra y el diámetro de las varillas. Lo más significativo de estas pruebas es que se realizan en sitio y no dañan la integridad del concreto

Las pruebas no destructivas pueden ser de dos tipos *activas* y *pasivas*

Activas: son aquellas que desarrollan o someten una fuerza relativamente pequeña en la estructura de concreto y miden la respuesta de la estructura.

Pasivas analizan las propiedades físicas del concreto

Las pruebas no destructivas tienen ciertas limitantes.-

- El concreto es compuesto por materiales tales como el cemento, agregados, agua y acero y cada uno de estos componentes tiene propiedades mecánicas diferentes, por lo que esta mezcla de materiales representa serios problemas para algunas de las pruebas no destructivas que consideran al concreto como un medio homogéneo.
- Algunas técnicas no pueden ser utilizadas en el concreto endurecido y otras sólo tienen aplicación en la etapa previa al fraguado del concreto.
- La mayoría de las pruebas requieren que se realicen sobre la parte de concreto defectuosa, siendo esto imposible en algunos casos como en las cimentaciones donde es imposible acceder.

En la tabla 4.2. se describen algunas de las pruebas para determinar las características del concreto.

Métodos	Aplicación	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Normatividad
Resistencia a la penetración (Figura 4.a)	Se utiliza para determinar la uniformidad de la resistencia del concreto Delimita zonas deterioradas, para poder determinar su comportamiento a lo largo del tiempo.	Determina la resistencia del concreto a la penetración. Calcula la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de una varilla o bala, impulsada por una pistola, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto	Equipo sencillo, durable, requiere poco mantenimiento. Provoca daños menores en el concreto	No dan buenas aproximaciones de la resistencia del concreto ($\pm 25\%$). Los resultados dependen del tamaño del gregado y de la correlación de las curvas	ASTM C803. NMX C301
Ecos de impulso (Figura 4. b)	Localización de defectos y discontinuidades internas del concreto	Se basa en la propagación reflexión y difusión de las ondas elásticas después de un impacto Cuando la onda reflejada encuentra algún daño o discontinuidad se comporta de diferente forma, cambian su dirección y tarda más en llegar del otro lado.	Aparato portátil y fácil de manejar. Es muy rápido el sistema y da la interpretación en forma automática. Proporciona la naturaleza y orientación de las discontinuidades.	Equipo muy caro.	
Pulso ultrasonico (Figura 4.c.)	Se utiliza para estimar el esfuerzo de compresión La uniformidad y calidad del concreto, el grado de compactación y la densidad Para localizar discontinuidades internas.	Se basa en la velocidad (el tiempo que tarda) y el comportamiento de propagación de ondas ultrasónicas, dicha velocidad se ve afectada cuando encuentra alguna discontinuidad en el concreto, la densidad y la compactación. Las ondas son inducidas en el material y estas se reflejan de regreso donde son detectadas	Equipo fácil de utilizar Estima la resistencia del concreto en $\pm 20\%$. Es una herramienta rápida de comparación entre dos partes de concreto dentro de una estructura.	La interpretación de los resultados es complicada. La densidad y cantidad de agregados pueden afectar los resultados Se requiere calibrar continuamente el equipo.	ASTM C597
Medición del potencial eléctrico (Figura 4.d.)	Medir el potencial de corrosión del acero de refuerzo	Se mide la actividad electroquímica del acero de refuerzo, indica el grado de pasivación y la diferencia de potencial que existe entre el ánodo y cátodo del acero de refuerzo en el concreto.	Equipo portátil, fácil de manipular. Proporciona mediciones exactas y detecta las zonas con mayor grado de corrosión en la estructura	Las lecturas son limitadas por la humedad, el recubrimiento, la situación de la superficie, temperatura Indica el grado de corrosión, pero no la velocidad con que ocurre.	ASTM C 876

Tabla 4.2 Pruebas no destructivas para el concreto reforzado

Metodos	Aplicación	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Normatividad
Contenido de cloruros (Figura 4 e)	Determinar la susceptibilidad del concreto a la penetración de iones de cloro	Se toma una pequeña fracción del concreto, se pone la muestra en agua y se introduce un analizador automático que mide la cantidad de cloruros en el agua	Se pueden tomar varias muestras sin dañar la estructura, para poder determinar los niveles de cloruros en toda la estructura. Se determina qué áreas son más susceptibles o están siendo atacadas	La humedad del medio ambiente al hacer la prueba. La probeta debe estar completamente limpia sin ningún contaminante. Se debe de conocer la cantidad de cloruros en el agua donde se realiza la prueba	ASTM C1202 ASTM C642
Martillo de rebote de Schmidt Esclerómetro (Figura 4 f)	Compara la calidad del concreto en diferentes áreas de una estructura o de un mismo miembro Estima la resistencia del concreto basado en diferentes gráficas	Se basa en el principio del rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa El martillo de Hammer o Esclerómetro utiliza una masa X con un resorte que es impactado sobre la superficie del concreto. La distancia recorrida por la masa se mide y se compara con la extensión inicial del resorte, y se determina el número de rebote	El equipo es ligero, es operado fácilmente, Determina la uniformidad en el lugar de la resistencia del concreto Determina las zonas o áreas de peor calidad y/o deterioradas	Los resultados son afectados por las condiciones de la superficie del concreto. El equipo requiere ser calibrado constantemente No da una predicción precisa de la resistencia	ASTM C805 ASTM C39
Medición de la resistencia eléctrica (Figura 4 g)	Determinación del contenido de humedad del concreto.	Determina el contenido de humedad del concreto en base las propiedades dieléctricas en los cambios de humedad en el concreto	El equipo es automático y fácil de usar	El equipo es muy caro Las propiedades dieléctricas dependen del contenido de sal y la temperatura ambiente.	
Detección de reacción álcali sílice (Figura 4.h.)	Determina el potencial que existe de la reacción álcali sílice	Se basa en someter una pequeña porción del concreto en inmersión continua, en una solución de NaOH y después en agua salada y se determina los cambios y sufre la masa del concreto con las condiciones de humedad que presenta	Determina la cantidad de sílice y álcali de la pasta para determinar si ocurre la reacción o no.	La humedad interfiere en la interpretación de los resultados, por ello se requiere conocer la humedad relativa del lugar.	

Tabla 4.2. Pruebas no destructivas para el concreto reforzado (continuación)

Métodos	Aplicación	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Normatividad
Análisis petrográfico (figura 4.1)	Usado para la formación y composición del concreto, entre las que se incluye: cantidad de cemento, homogeneidad del concreto, reacciones químicas, localización de grietas y tamaño del agregado	Se basa en un análisis físico y químico de un corazón.	Provee información muy detallada y confiable. Identificación del mineral de los agregados, reacción del agregado y la pasta y la integridad de la masa de concreto. Determina mecanismos de deterioro que actúan en el concreto.	Para determinar la calidad del análisis se requiere de experiencia en el ramo	ASTM C856 ASTM C457
Resistencia a la extracción del acero embebido	Estimación de la resistencia a la compresión y tensión del concreto en sitio.	Mide mediante un ariete la tensión, la fuerza requerida para remover una varilla de acero con un extremo de mayor sección transversal previamente empotrada generalmente de 25 mm de diámetro, durante la prueba se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello está relacionada con la resistencia a la compresión del concreto.	Es la única prueba no destructiva con la que se obtienen mediciones directas en el lugar de la resistencia del concreto en el lugar de prueba. Pueden determinarse las resistencias para tiempos de cimbrado. Buena aproximación de la real resistencia del concreto	Mecanismo que se debe de instrumentar durante la construcción. Necesidad de reparaciones menores por la extracción que se realiza.	ASTM C900
Resistencia a la extracción	Determinar la resistencia del concreto	Una probeta circular de acero es embebida en el concreto. Se aplica una fuerza de tensión por medio de un dispositivo mecánico hasta llevar al concreto a la falla.	Proporciona datos de la fuerza necesaria para llevar a la falla al concreto. Los resultados pueden ser utilizados para evaluar la calidad de los materiales del concreto. Puede ser utilizado sobre superficies verticales y horizontales.	La prueba no esta estandarizada todavía. El concreto debe ser reparado después de la prueba.	
Radar	Detección de huecos y agujeros en pavimentos y losas de concreto Detección de acero de refuerzo en los elementos anteriores	Utiliza señales electromagnéticas para detectar huecos o agujeros y acero de refuerzo	Utiliza poco tiempo. Mide el tamaño y localización de discontinuidades en el concreto, así como también las dimensiones del acero de refuerzo	Equipo muy caro. La exactitud para localizar grietas se reduce cuando los pavimentos o losas son reforzados	ASTM D4748

Tabla 4.2 Pruebas no destructivas para el concreto reforzado (continuación)

Métodos	Aplicación	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Normatividad
Radiografías con Rayos X y Rayos Gamma	Los rayos X se utilizan para determinar la densidad, la estructura interna del concreto y la localización del acero de refuerzo. Los rayos gamma se utilizan para localizar el acero, así como el tamaño y las condiciones físicas.	Se basa en el principio de que la ruta de absorción de los rayos X y los gamma son afectadas por la densidad, la profundidad del espécimen de prueba, los rayos gamma y los X, son emitidos sobre la superficie del concreto y penetran al espécimen, salen del otro lado y son registrados en un film	Identifica defectos internos del concreto, su densidad y contenido de humedad Es un equipo de los rayos Gamma es portátil.	La aplicación de los rayos X es reducida debido al alto costo del equipo. Los rayos X y Gamma son peligrosos, porque dañan los tejidos orgánicos.	
Medidor de recubrimiento o Pachometro	Localizar armaduras y estimar su recubrimiento, diámetro.	Es un detector magnético que mide las variaciones en un campo magnético la presencia del acero de refuerzo.	Equipo portátil Excelentes resultados en concreto que tiene poco acero de refuerzo.	Necesita ser calibrado. En elementos donde exista una gran cantidad de varillas o capas de refuerzo pierde exactitud.	
Impactos acústicos	Determina la durabilidad del concreto. La acción de hielos y descongelamiento La corrosión. Para detectar huecos, discontinuidades y líneas de agrietamiento	La superficie del concreto es golpeada con una cierta frecuencia, dicha frecuencia tiene una vibración natural que se transmite en el tiempo y dicho sonido es captado por un equipo que mide la frecuencia de la resonancia y ciertos niveles indican la presencia de defectos en el concreto	Equipo portátil y fácil de manejar. Excelente para determinar el deterioro por congelamiento, por fuego o reacción álcali agregado, para revisar estructuras expuestas en ambiente marinos. Nacimiento de grietas y desplazamientos internos por grietas.	El tamaño de los elementos (geometría y masa), se necesita aplicar un factor de forma que en algunos casos modifica los resultados.	ASTM C215
Prueba de rayos infra rojos.	Detección interna de grietas, hoyos. Se utiliza frecuentemente en laboratorio	Detecta discontinuidades utilizando una frecuencia de rayos infra rojos que siguen un patrón y cuando se interrumpen ahí se detecta la anomalía	Alta resolución y exactitud para determinar defectos en el concreto, localización y extensión. Se utiliza para detectar pérdidas de espesores o secciones en puentes y pavimentos.	Requiere que la superficie del concreto este seca.	ASTM D4748

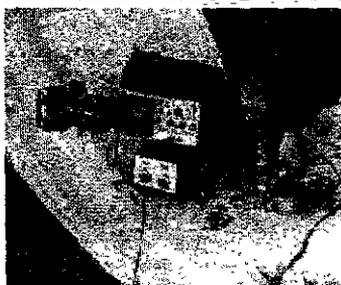
Tabla 4.2 Pruebas no destructivas para el concreto reforzado (continuación)

Métodos	Aplicación	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Normatividad
Profundidad de carbonatación	Determinar la profundidad de una zona carbonatado en el concreto	Se basa en la reacción que tiene el concreto debido a su alcalinidad y los gases ácidos del medio Se rocía un spray de base ácida que reacciona con el concreto haciendo que cambie de color, dicho cambio indica la profundidad de la carbonatación y el área no dañada.	Es una prueba muy sencilla, se obtienen resultados rápidamente Se puede prevenir la corrosión del acero conociendo que tan profundo es el daño por carbonatación.	Sólo mide la profundidad y no la intensidad del daño.	
Pruebas de carga.	Determina el desempeño de una estructura bajo la simulación de condiciones actuales de carga.	Esta prueba es aplicada en una estructura a manera de simular su comportamiento y desempeño a lo largo de su vida útil bajo condiciones de servicio	Provee una medida del comportamiento de la estructura o de un miembro bastante acertada.	Esta prueba puede dañar algunos miembros de la estructura de manera permanente.	
Emisiones acústicas	En la detección de zonas con peligro de falla Monitoreo del desempeño de la estructura durante las diferentes pruebas	Se basa en la liberación de energía del concreto al agrietarse, deformarse, produce ondas acústicas (sonidos) que son detectados por sensores que se encuentran en la superficie del concreto	Capaz de detectar el origen de las fallas de una estructura en servicio. Capaz de detectar las superficies posibles de falla. El equipo es portátil y es fácil de operar.	Es una prueba muy cara Puede ser utilizada únicamente cuanto la estructura esta cargada (condiciones de servicio normales) y cuando las grietas se van desarrollando.	
Concretoscopio fibra óptica.	Da un punto de vista de la estructura el cual es inaccesible para el ojo	Esta compuesto por una fibra óptica flexible, una lupa y un sistema de iluminación, dicho instrumento se puede insertar en grietas, huecos, para ver en el interior. O en ocasiones se coloca un tubo de plástico transparente junto con el acero de refuerzo y a través de este tubo se puede observar el concreto	Es un equipo sencillo de colocar y operar. Se pueden observar el estado de la pasta y los agregados. Se usa común mente para observar el concreto en áreas de donde han sido tomados corazones o muestras.	El equipo es caro. Su aplicación es limitada a miembros de la estructura donde su pueda maniobrar	

Tabla 4.2 Pruebas no destructivas para el concreto reforzado (continuación)



a) Resistencia a la penetración



b) Ecos de impulsos



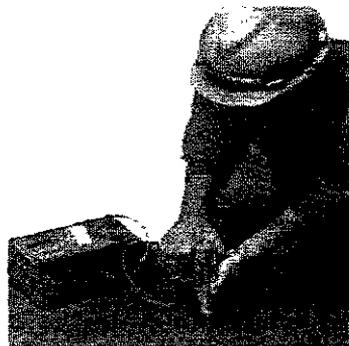
c) Pulso ultrasónico



d) Potencial eléctrico



e) Contenido de cloruros



f) Martillo de rebote o Esclerómetro

Figura 4.3 Equipos para pruebas no destructivas

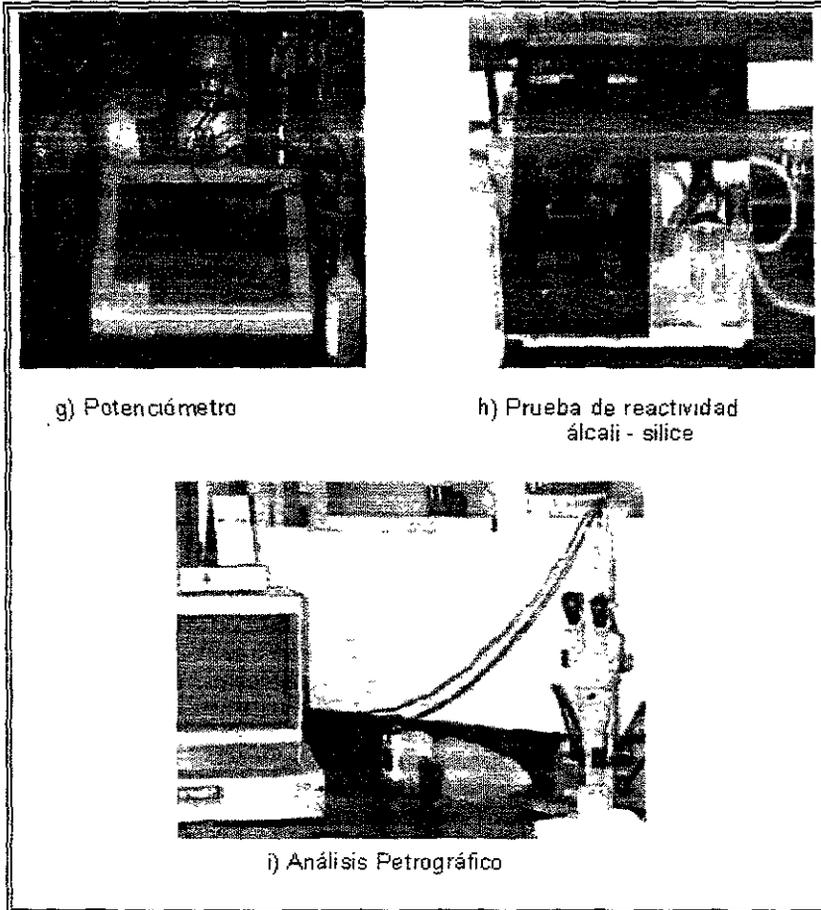


Figura 4 3 Equipos para pruebas no destructivas (continuación)

De las pruebas anteriores se han modificado tres para ser utilizadas para determinar las condiciones del concreto bajo el agua estas modificaciones han sido realizadas por el Laboratorio Naval de Ingeniería Civil en los Estados Unidos de Norteamérica

- a) Esclerómetro o martillo de Rebote El esclerómetro comercial consiste en un martillo con una masa en un resorte que es disparado a cierta presión al ser accionado el martillo contra la masa tiene cierta extensión y el número de rebote se mide con la diferencia de la extensión original y la del rebote del Resorte, para leer dicho número se tiene un dispositivo automático que toma la lectura, ver figura 4 3 f

La modificación que sufre el martillo de rebote consiste básicamente en la necesidad de poder colocar el martillo bajo el agua en el sitio donde se requiere y poder realizar los ajustes de presión debidos a la masa de agua que estará sometido dicho aparato

Por ello el funcionamiento del martillo es el mismo, pero esta conectado al dispositivo para tomar las lecturas por medio de un cable

La corrección por presión se hace a través de un manómetro en la superficie y que toma la lectura debajo del agua a través de un cable, una vez realizado el ajuste se realiza la prueba Ver figura 4.4.



Figura 4.4. Esclerómetro submarino

- b) Pachometro o localizador de acero de refuerzo: Se desarrollo un modelo para localizar el acero bajo el agua el cual consiste en una probeta de prueba recubierta con una resina epoxica, un cable de conexión, y un manómetro y una unidad de lectura de datos acústicos. El aparato se calibra para localizar las barras, por medio del manómetro y del cable se ajusta la presión del agua y se procede a realizar la prueba
- c) Ultrasonidos: El sistema consiste en 2 diferentes transmisores diseñados para trabajar debajo del agua que miden la velocidad directa e indirecta de la transmisión de las ondas ultrasónicas, un cable que conecta el transmisor con la superficie donde se encuentra la unidad de recepción acústica, de igual forma consiste en un regulador de presión para poder leer los resultados correctamente, se transmiten las ondas las cuales son leídas en la superficie Ver figura 4.5.

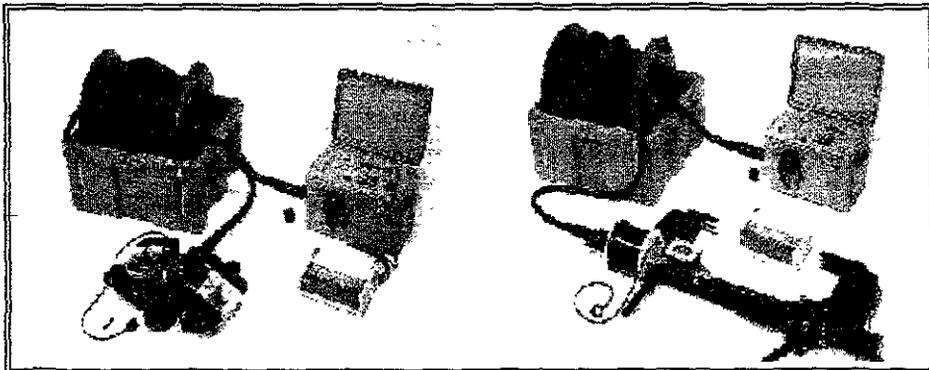


Figura 4.5 Equipo para la prueba de pulso ultrasónico en estructuras de concreto sumergidas

4.5. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Son utilizadas para inspeccionar y medir la integridad de componentes estructurales y críticos en la estructura de concreto, como su nombre lo dice son aquellas que para realizarse necesitan romper la estructura de la masa de concreto y tomar una muestra.

Dicha muestra es cilíndrica y se extrae del elemento por medio de barrenación circular, una vez que se tiene la muestra es llevada al laboratorio.

Gracias a los corazones se pueden observar las siguientes características de la masa de concreto:

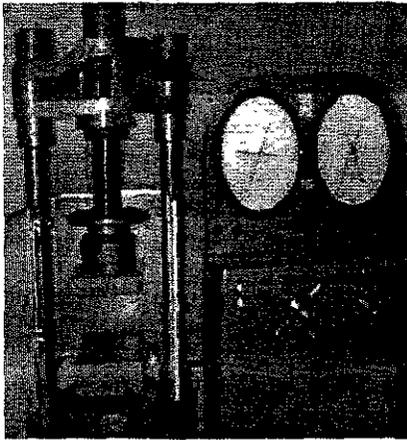
- Presencia de huecos o discontinuidades
- Gel y/o cristalización de productos debidos a las reacciones entre los cementantes, los agregados o debidos a la acción de sustancias agresivas y el medio ambiente.
- Manchas debidas a la corrosión del acero
- Observar el estado real de acero de refuerzo en los elementos estructurales

La prueba más común que se realiza con los corazones es la de resistencia a la compresión figura 4.6, por mucho tiempo se creyó que era la única forma de determinar la calidad del concreto. Sin embargo ahora los corazones son utilizados no sólo para esa prueba, sino para otros propósitos. Las siguientes pruebas requieren de los corazones extraídos del concreto:

- Pruebas de propiedades mecánicas: Compresión y tensión
- Pruebas para determinar propiedades físicas: contenido aire, porcentaje de vacíos, densidad, peso, contenido de cemento, permeabilidad, etc.
- Pruebas de durabilidad: Resistencia a la abrasión, potencial eléctrico, examen petrográfico, resistencia al congelamiento y deshielo.

En muchos casos un mismo corazón es utilizado para diferentes pruebas, por ejemplo primero se pueden determinar las propiedades físicas, después las mecánicas y por último la de durabilidad. La extracción de corazones en concreto endurecido se encuentra normalizado en México por la norma NMX C169 e Internacionalmente por ASTM C 42

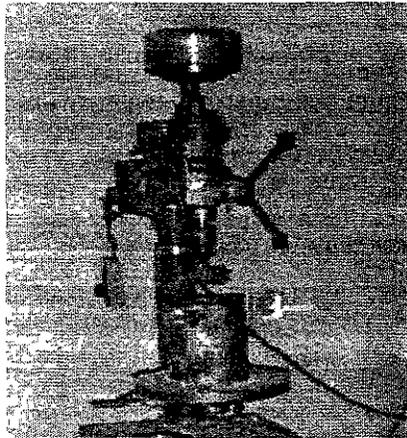
- Ventajas: La extracción de corazones es el método más confiable para determinar la resistencia del concreto y su calidad
- Limitaciones. El proceso de extracción de los corazones y su análisis es costoso, consume tiempo, puede ocasionar daños a los elementos de los cuales es extraída y posiblemente se tengan que reparar.



a) Equipo para la prueba de compresión en concreto



b) Ruptura total de un corazón de concreto en compresión.



c) Equipo para la prueba de resistencia a la abrasión



d) Equipo para la prueba de tensión

Figura 4.6. Equipo de prueba para los corazones de concreto

4.6. LISTA DE COMPROBACIÓN

Al realizar la lista de comprobación correspondiente a la evaluación detallada será necesario revisar la lista de comprobación y el reporte de la evaluación preliminar: en caso de que sólo se realice una evaluación detallada de la estructura se tendrá que complementar con el inciso 3.5 de la presente investigación.

En este caso la lista de comprobación se basa en datos técnicos de la estructura del tiempo cuando estuvo en construcción, de la inspección preliminar y de los resultados de las pruebas destructivas y no destructivas realizadas. La lista de comprobación o check list de la evaluación detallada se realiza bajo los siguientes parámetros:

- a) *Concreto bajo inspección*
 - b) *Datos iniciales del concreto*
 - c) *Influencia del medio ambiente.*
 - d) *Signos visuales de deterioro.*
 - e) *Exámenes y pruebas en sitio y laboratorio*
 - f) *Conclusiones.*
- a) *Concreto bajo inspección:* se refiere a todos los estudios que se le realizaron a los ingredientes del concreto, al proporcionamiento de la mezcla y todos aquellos estudios de los que se tenga registro. En esta etapa se establecen las condiciones físicas, químicas y mecánicas que presentaba el concreto durante la construcción, para establecer un parámetro de comparación contra lo que se observó en la evaluación preliminar. O lo que se espera encontrar en la evaluación
- Muestreos del concreto.
 - Elemento estructural o no estructural que se muestrea
 - Pruebas en sitio, resultados
 - Pruebas en laboratorio.
 - Procedimiento de muestreo.
 - Identificación, calidad y comportamiento del cemento y los agregados
 - Control de pruebas como por ejemplo de humedad, absorción, peso volumétrico, aire contenido, contenido de agua, etc.
 - Resultados de la inspección visual
 - Resultados de la evaluación preliminar
 - Revisión del informe preliminar
- b) *Datos iniciales del concreto:* Se refiere a todos aquellos datos del diseño, dimensionamiento e historia de cargas, así como al comportamiento y desempeño del concreto hasta el momento de la revisión
- Memoria de cálculo
 - Especificaciones de construcción, materiales y diseño
 - Tipo de estructuración
 - Historia de cargas o licitaciones
 - Pruebas de resistencia mecánica
 - Calidad del acero estructural y pruebas de resistencia
 - Condiciones de servicio
 - Condiciones de operación
 - Protección de elementos estructurales bajo la exposición del medio o algún otro agente de deterioro
 - Tiempo en que se presentó el primer indicio del deterioro
 - Defectos en la estructura.

- c) *Influencia del medio ambiente*: se refiere a caracterizar la influencia del medio ambiente sobre la estructura de concreto.
- Temperatura.
 - Humedad.
 - Presión permeabilidad del medio circundante
 - Presencia de gases nocivos
 - Agua de mar.
 - Sustancias agresivas
 - Tipo de contacto que tiene la estructura con dicho medio.
 - Checar si bajo las condiciones ambientales existe la posibilidad de concentración de gases, humedad o algún tipo de sustancia que sea agresiva al concreto.
 - Frecuencia y duración de la exposición a estas condiciones climáticas.
 - Identificación del macroclima y microclima conforme a las condiciones de exposición
- d) *Signos de deterioro visuales*: en esta etapa si ya se realizó una inspección visual previa se comparan los daños que se observaron, sus avances al tiempo que se hace este nuevo levantamiento y en que zona o elemento se presentan
- Erosión.
 - Agrietamiento.
 - Exfoliaciones.
 - Polvo superficial
 - Desmoronamiento.
 - Manchado
 - Oquedades.
 - Cristalización de sales o reacciones químicas
 - Oxido.
 - Corrosión de acero.
 - Varillas expuestas.
 - Cambios dimensionales
 - Pérdida de secciones.
 - Flechas, desplomes, etc.
 - Recolección de los movimientos de las grietas de los testigos colocados en la estructura.
- e) *Pruebas y exámenes realizados en sitio y en laboratorio*: Se refiere a los resultados de la inspección visual, de las pruebas en sitio destructivas y no destructivas que se le practican al concreto, así como las de laboratorio. A continuación se mencionan las pruebas más comunes:
- Sitio:
- Examen visual.
 - Prueba de potencial eléctrico
 - Prueba de resistencia a la penetración.
 - Prueba de pulso ultrasónico
 - Prueba de penetración de cloruros
 - Concretoscopia
 - Análisis petrográfico
- En laboratorio:
- Análisis petrográfico.
 - Difracción de rayos X.
 - Examen químico
 - Examen térmico
 - Pruebas de resistencia mecánica
 - Pruebas de resonancia (pulso ultrasónico, eco de impactos, etc.)
 - Análisis de capilaridad porosidad, permeabilidad, etc.

4.7. EMISIÓN DEL INFORME

La estructura de un informe de evaluación detallada es complejo, pero en el siguiente apartado se mencionan los puntos principales que debe contener.

- a) *Alcance y la finalidad de la evaluación.*
- b) *Antecedentes:* Nombre del propietario o responsable, quien es el peticionario, cual es el problema a estudiar y descripción de los resultados de la evaluación preliminar.
- c) *Evaluación de la información obtenida:* de acuerdo con las recomendaciones emitidas en el informe preliminar, se habrán realizados ensayos e investigaciones complementarias. En esta etapa sí se cuentan con fotografías que apoyen dichos estudios o resultados de laboratorio se incorporan en un anexo "B".
- d) *Criterios de comprobación:* En esta etapa es donde el Ingeniero a cargo de la inspección emite la mayor parte de sus juicios y hace uso de su experiencia para ello, pues aquí se establecen
 - Los valores definitivos de las acciones a considerar.
 - Posible reducciones de sobrecargas, en función del área cargada y del número de plantas cargadas
 - Edad de cálculo y valor de la resistencia del concreto a considerar.
 - Método de cálculo de esfuerzos a considerar
 - Sistema de análisis estructural
 - Coeficiente de seguridad a emplear.

Se recomienda que esta etapa del informe la realice un ingeniero Civil especialista en estructuras de concreto reforzado o un corresponsable de seguridad estructural

- e) *Evaluación de la capacidad resistente a estado límite de falla:* De acuerdo con la información obtenida del análisis estructural que se realice (ver incisos 4.2 y 4.3), calculándose para cada elemento estructural o crítico la capacidad resistente antes estos estados, comparándola con la permisible.

Evaluación de la variación de la capacidad frente a estados límites de servicio: se deben de calcular los nuevos valores límites de agrietamiento, deformaciones y etc

Si las deformaciones son las que resultan excesivas, de acuerdo con lo establecido por el o los reglamentos (para cada elemento) o lo establecido por las especificaciones de proyecto, se deben de recomendar la medidas para reparar los daños y evitar que siga la deformación.

- f) *Evaluación de las condiciones de durabilidad del concreto:* La evaluación de las condiciones de durabilidad se debe de evaluarse pues el deterioro progresivo del concreto en estructuras de ambiente marino es una de las principales causas de la reducción en la capacidad resistente del concreto

Para poder evaluar que tan durable o que tan deteriorado se encuentra el concreto se necesitan tener los resultados de la inspección visual, de las pruebas realizadas al concreto tanto en sitio como en laboratorio y poner especial atención en los siguientes resultados.

- En el Espesor del crecimiento marino en elementos sumergidos y el potencial de desintegración que tiene por la acción de los ácidos
- La prueba a la penetración de cloruros y marcar los límites de concentración permisibles (ref)
- La prueba de reactividad de los agregados y análisis petrográfico.
- La medida de carbonatación por acción de la atmósfera, el CO_2 y las sales de la brisa marina
- La profundidad de carbonatación, que produce una desintegración y exposición de los agregados y el acero
- La prueba de resistencia a la erosión / la abrasión (% de pérdida de material)

- La prueba de pulso ultrasónico (refleja que tan rota esta la matriz del concreto por acción del oleaje, el congelamiento y deshielo).
 - La prueba de potencial de corrosión y medir los % de variación entre las zonas donde se encuentre el acero de refuerzo.
 - El pachometro, que establece la localización y el estado de las barras del acero de refuerzo
 - Y las pruebas que se realizan con la extracción de corazones para determinar de una forma veraz la resistencia del concreto.
 - El análisis químico de los corazones determinará que sustancias son la que realmente dañan al concreto y que tan dañado se encuentra la pasta de cemento y los agregados.
 - Las pruebas físicas, para determinar que tan permeable es el concreto a la penetración de la humedad y las sales.
- g) *Conclusiones.* Son la esencia del informe y deben de ser tan claras y concisas como el problema lo permita, se deben de redactar de manera sencilla, pensando en el destinatario final del informe, estableciendo:
- Origen y causa de los daños
 - La influencia en la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la construcción.
 - Su trascendencia.
 - La evolución posible.
 - La necesidad de reforzamiento, reparación o demolición
- h) *Recomendaciones.* Frecuentemente en el Informe Final suele contener recomendaciones, de alcance muy variable
- Nivel de riesgo de la utilización de la construcción.
 - En caso de ser necesario el refuerzo, establecer si es recomendable seguir haciendo uso de las instalaciones durante cierto tiempo.
 - Recomendación de la comunicación del contenido del informe a terceras personas, organismos públicos o privados, etc

CAPITULO CINCO:
DIAGNÓSTICO

5. DIAGNÓSTICO.

La actuación en la reparación, reforzamiento o demolición de una estructura de concreto existente normalmente va precedida de un reconocimiento de la misma, que da lugar a un informe, un dictamen y un peritaje, estas últimas dos partes engloban un diagnóstico, en el cual se sientan las bases de las acciones a realizar. Por tal motivo es conveniente distinguir entre estos términos.

- *Informe.*- Es la descripción objetiva del estado de la estructura, efectuada por un profesional competente, tras un reconocimiento o inspección, (precedido de una recolección de datos y estudio de la documentación existente.). En general, los informes no incluyen, opiniones y valoraciones subjetivas de los inspectores.
- *Diagnóstico.*- Se dividen en dos fases
 - Dictámenes: se basan en los informes pero incluyen la valoración subjetiva de los inspectores; expresan sus criterios y opiniones personales, definen las posibles causas de los daños y emiten un juicio crítico sobre la gravedad de la situación y sobre la posible evolución futura de la misma
 - Peritaje.- es un dictamen que incluye una propuesta concreta de medidas de actuación

Como se puede observar en los capítulos uno y dos se describieron los agentes que dañan al concreto en general y los que son de mayor importancia para estructuras en ambiente marino, con lo que se puede formar un marco de referencia de cómo actúan dichos factores, de sus características y repercusión en la durabilidad del concreto. En el capítulo tres se define los propósitos de una evaluación preliminar y se describe la estructura de un informe preliminar, dando lugar a una evaluación detallada, si así lo amerita las condiciones de la estructura. Ahora bien en el capítulo cuatro se explican y definen las características de una evaluación detallada y la estructura del informe, donde en muchas ocasiones va incluido un diagnóstico, quedando en duda como se llevo a dicho dictamen

Por esta razón en el desarrollo del presente capítulo se describirán los criterios que se deben de tomar en cuenta para llegar a dicho diagnóstico.

- a) Análisis de informe de la evaluación de la estructura en sus diferentes etapas
- b) Programa de pruebas
- c) Monitoreo

Estos criterios engloban los procesos de deterioro del concreto, el tipo de evaluación realizada, los resultados y el estado real de la estructura

Ahora bien, otro punto importante es emitir el diagnóstico en una forma sencilla, sin tantos papeles y datos, que en ocasiones son difíciles de comprender por el usuario o dueño de la estructura, esta etapa se refiere al formato del diagnóstico

Por último una vez que se emite el diagnóstico, se recomiendan las siguientes acciones

- a) Procedimientos preventivos
- b) Procedimientos correctivos

5.1. ANÁLISIS DEL INFORME DE EVALUACIÓN EN SUS DIFERENTES ETAPAS.

Para realizar este análisis se evalúan tres parámetros distintos

- a) Revisión de la lista de comprobación
- b) Comparación de los informes.
- c) Análisis de riesgo

Existen otros datos que son importantes de revisar y que influyen de forma indirecta en los resultados del presente análisis.

- Verificar si se realizaron ambas inspecciones, en caso de revisar de cual de las dos se trata.
- Verificar si fue el mismo equipo de inspección y/o diferente compañía

5.1.1. REVISIÓN DE LA LISTA DE COMPROBACIÓN.

Como observamos la lista de comprobación se realiza tanto en la evaluación preliminar, como en la detallada, con diferentes parámetros que establece la complejidad del análisis:

Parámetros de la lista de comprobación en la evaluación preliminar:

- a) Las necesidades del usuario
- b) Condiciones de exposición .
- c) Condiciones de servicio
- d) Condiciones de operación

Parámetros de la lista de comprobación en la evaluación detallada:

- a) Concreto bajo inspección.
- b) Datos iniciales del concreto
- c) Influencia del medio ambiente.
- d) Signos visuales de deterioro.
- e) Exámenes y pruebas en sitio y laboratorio
- f) Conclusiones.

Ambas listas se complementan, siendo herramientas de apoyo para el inspector en la búsqueda y confirmación del deterioro en la estructura: " lo que en la lista preliminar es una incógnita, en la lista detallada se da la respuesta. "

Esta revisión tiene por objeto:

- Marcar los puntos peligrosos, aquellos que en ambas listas de comprobación representaron mayor grado de deterioro o de riesgos de seguridad para los miembros del concreto y para la seguridad en general de la estructura.
- Encontrar aquellos aspectos que no se les dieron mucha importancia.
- Marcar las discrepancias entre ambas listas
- Verificar si una lista complementa a la otra o son completamente diferentes

Al terminar la revisión es importante hacer ciertas anotaciones y sacar conclusiones de lo que se puede esperar al revisar los resultados de los informes, esta actividad se realiza con la finalidad de que al momento de emitir el diagnóstico sea lo más acertado posible y se tengan mayor número de bases para sustentarlo y no dar conclusiones alarmistas o fuera de la realidad

5.1.2. COMPARACIÓN DE LOS INFORMES

Siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para revisar la lista de comprobación, se realizan los informes, en esta etapa se debe de analizar:

- Los resultados obtenidos en ambos casos
- Verificar si lo que era una hipótesis en los resultados preliminares se comprobó, rechazo o cambio con los resultados
- Revisar en ambos informe en que se basaron para dar dichos resultados.

Es conveniente realizar una lista de los defectos, explicación de las causas de ellos y posibles consecuencias que se encontraron en la estructura conforme a los resultados de los informes.

La siguiente tabla 5.1 es un ejemplo de los resultados obtenidos de la revisión de los informes de inspección por áreas de una estructura en ambiente marino.

Código de área	Nombre del área	Defectos	Razón de los defectos	Posibles consecuencias
A	Area sometida a alto esfuerzo	- Agrietamiento - Corrosión - Pérdida de secciones	- Geometría de la estructura - Excesiva concentración de esfuerzos - Redistribución de fuerzas	- Desarrollo progresivo de - Grietas - Corrosión - Filtraciones
B	Area sometida a periodos cíclicos vibración	- Signos de fatiga - Agrietamiento y descacaramiento - Corrosión - Fallas estructurales locales	- Cargas cíclicas - Pesos muy variados - Vibración	- Desarrollo progresivo de - Fallas estructurales - Deformaciones - Grietas - Corrosión
C	Pernos de conexión	- Pérdida de sección de pernos - Corrosión - Deformaciones	- Error de construcción - Impactos debidos a cargas - Sobrecargas	- Pérdida de la integndad estructural del elemento - Deformaciones considerables
D	Miembros estructurales en compresión	- Deformaciones excesivas	- Sobrecargas	- Fallas estructurales en los miembros
E	Cimientos	- Fallas en las conexiones con las pilas - Crecimiento marino - Signos de corrosión	- Efectos de la corriente de mar - Sobrecargas	- Excesiva deformación en las pilas - Reducción del factor de seguridad en la cimentación - Problemas de conexión con la estructura superficial, los ductos, debido a los desplazamientos

Tabla 5 1. Evaluación de resultados

Código de área	Nombre del área	Defectos	Razón de los defectos	Posibles consecuencias
F	Áreas con signos de corrosión	- Manchas superficiales - Agrietamiento en dirección del acero	- Mala calidad de los materiales - Filtraciones	- Deterioro del material - Reducción en el espesor de los elementos - Agrietamiento del concreto - Inicio de grietas en las uniones
G	Juntas de construcción	- Filtraciones - Signos de carbonatación - Agrietamiento - Separaciones - Corrosión en el acero	- Mal trabajo de construcción	- Acelerada carbonatación debido a la corrosión
H	Zona de salpicaduras	- Corrosión - Deterioro del material - Signos de daño mecánico	- Acción erosiva debido a las implosiones de las burbujas - Deterioro mecánico debido al continuo humedecimiento y secado de la zona	- Acelera la corrosión - Acelera la erosión - Reducción en la capacidad de carga - Pérdida en la capa superficial del concreto
I	Área de daños mecánicos (abrasión y erosión)	- Desprendimiento de la capa superficial del concreto - Abrasión del concreto y el acero - Corrosión	- Abrasión debido a los objetos que arrastra el mar - Acción erosiva debido a las implosiones de las burbujas	- Corrosión - Reducción en la capacidad de carga
J	Fracturas especiales (temperatura, contracción)	- Gradiente de temperatura en elementos estructurales excede el valor de diseño	- Falla de sistema de curado	- Excesivos esfuerzos debidos a la temperatura
K	Conexión con la sub-estructura	- Agrietamiento - Corrosión - Fallas generales en las conexiones	- Error en la etapa de construcción - Pobre calidad del concreto - Demasiado refuerzo - Concentración de esfuerzos	- Desarrollo gradual de grietas con las conexiones
L	Áreas con crecimiento mano	- Corrosión en el acero en toda el área del crecimiento - Incremento en el peso y área de la estructura	- Ambiente favorable para el crecimiento	- Incremento del peso en la estructura - Sobrecarga en el historial de los miembros estructurales - Cambio en la respuesta debido al incremento de masa

Tabla 5.1 Evaluación de resultados (Continuación)

Código de área	Nombre del área	Defectos	Razón de los defectos	Posibles consecuencias
LL	Area inferior de la estructura	- Deterioro de material - Corrosión - Deformaciones	- Error en la etapa de construcción - Pobre calidad del concreto	- Acelerada deterioración, corrosión - Penetración del agua - Reducción en la capacidad de carga
M	Zona de atmósfera marina	- Agrietamiento - Carbonatación - Corrosión	- Concentración de sales como sulfatos y cloruros - Concentración de gases con CO ₂	- Pérdida de secciones - Corrosión - Agrietamiento - Reducción en la capacidad de carga
N	Zona de mareas	- Agrietamiento - Pérdida de secciones	- Deterioro mecánico debido al continuo humedecimiento y secado de la zona - Continua vibración sobre los elementos	- Exposición del acero de refuerzo, corrosión - Agrietamiento excesivo - Fallas estructurales - Reducción en la capacidad de carga

Tabla 5.1 Evaluación de resultados (Continuación)

Después de realizar la revisión, se han sombreado color gris los puntos en los que se debe de poner mayor atención, pues son aquellos que representan un mayor riesgo. Dentro del conjunto de la estructura se detectaron diferentes problemas que afectan la durabilidad

- a) De tipo Estructural
- b) De construcción.
- c) De acción del medio ambiente
- d) Corrosión.

5.2. ANÁLISIS DE RIESGO.

El análisis de riesgo se basa en la compilación de los informes para comparar los daños y el riesgo de falla de una sección contra otra o en general de toda la estructural para contestar a las preguntas ¿Qué puede estar mal? y ¿Qué tan probable es que ocurra un daño mayor?

Se establecen rangos en porcentaje (de riesgo) entre las secciones, dichos rangos son los problemas que incidieron más en la estructura y en la seguridad, cada uno tiene un valor de 100% y cada grupo se diseña en función del número de daños, fallas y accidentes reportados, que a su vez se pueden subdividir en grupos más pequeños para realizar una análisis de riesgo más detallado

A continuación se presenta un ejemplo:

Se analiza la sección I correspondiente al área de daños mecánicos ocasionados por abrasión y erosión. (ver tabla 5.1.) Del lado izquierdo de la tabla 5.2 se muestran los porcentajes establecidos para cada tipo problema y del lado derecho el porcentaje obtenido en cada uno, sombreados en gris sobresalen los que tienen menor porcentaje y que representan un mayor riesgo.

Problema	Porcentaje asignado	Porcentaje real
Daño estructural (100%)		
- Seguridad estructural	30	20
- Daños estructurales	30	20
- Daños no estructurales	20	18
- Fenómenos naturales	20	15
- Potencial de alteración	10	5
De construcción (100%)		
- Proceso constructivo	50	40
- Mala calidad de los materiales Concretos de baja calidad Agregados reactivos, con baja resistencia, Contaminados, etc Mal curado Mala calidad del acero de refuerzo Etc.	50	35
Acción del medio ambiente (100%)		
- Concentración de cloruros	30	15
- Concentración de gases	20	17
- Brisa marina	20	5
- Acción del oleaje	15	0
- Temperatura	15	10
- Crecimiento marino	10	10
- Sulfatos	5	3
- Otros factores	5	0
Corrosión (100%)		
- Humedad del medio ambiente	20	10
- Presencia de Oxígeno	20	18
- Temperatura	20	18
- Mala calidad de los materiales	20	16
- Falta de recubrimiento	20	10
Seguridad (100%)		
- Sistemas de seguridad	35	10
- Reporte de accidentes	35	20
- Funcionalidad	30	15
- Suma del porcentaje asignado	500	325

Tabla 5.2. Tabla de porcentajes de Análisis de Riesgo

Se puede observar que la acción del medio ambiente es la que causa en gran medida los daños mecánicos debidos a la erosión en una estructura en ambiente marino. El análisis de esta sección fue sencillo por las condiciones ambientales y porque primero se realizó una inspección visual, pero en zonas o áreas donde los daños no son tan significativos, es necesario apoyarse en los resultados de las pruebas realizadas mediante la inspección detallada como es el caso de zonas sometidas a esfuerzos continuos, áreas con crecimiento marino, que presentan reacción del cemento con el agregado, etc. En cada sección o área en que se dividió la estructura se debe de aplicar dicho análisis, en algunos secciones será necesario aplicar todos los incisos, en otras no

La suma de los índices (sí se aplicara a una sola sección) es de 0-500% y de ahí se estima la probabilidad de riesgo de que ocurra problema, que tiene dicha sección, área o elemento:

- 0 – 100 - Riesgo extremadamente alto, se recomienda evacuar y demoler la estructura
- 100 – 200 – Riesgo alto, se recomienda evacuar y realizar un monitoreo constante a la estructura para medir su comportamiento. Después de dicho período se definirá si se refuerza o demuele en su totalidad.
- 200 – 300 – Riesgo moderadamente alto, la estructura sufre un daño severo, pero es posible reparar, pero sí se requiere evacuar la estructura
- 300 – 400 - Riesgo moderado, la estructura sufre un deterioro moderado, pero no tiene un daño estructural grave, por lo que es posible reparar sin necesidad de evacuar la estructura, pero será necesario cerrar algunas áreas de trabajo.
- 400 – 500 – Riesgo bajo, la estructura sufre un deterioro mínimo o comienza a dar señales de él, por ello es necesario actuar inmediatamente, para evitar que el daño continúe avanzando, no es necesario evacuar ni cerrar áreas de trabajo.

La zona que se evaluó cae en el rango de 300 a 400, lo que significa que es un daño menor, pero que si es necesario reparar rápidamente para que no dañe de manera permanente la estructura y tomar las acciones necesarias para proteger esas zonas.

5.3. PROGRAMA DE PRUEBAS.

En el capítulo 4 se definieron, las pruebas no destructivas y destructivas más comunes, sus aplicaciones, ventajas y desventajas, en este inciso se ejemplificará un programa de pruebas para el concreto de acuerdo con lo que se desea saber

- a) Evaluar al concreto de acuerdo con sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.
- b) Evaluar al concreto de acuerdo con el estado físico que presenta.
- c) Evaluación de la resistencia estructural del concreto reforzado.

Este programa de pruebas esta diseñado para evaluar al concreto conforma a los tres incisos anteriores, que se adecuará con las necesidades de la evaluación y las características de la estructura.

- a) Evaluar al concreto de acuerdo con sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Conforme se estableció en el inciso 4.4, el concreto tiene ciertas propiedades, que son importantes y se deben de evaluar. En la tabla 5.3. se describe que prueba es la más apropiada para determinar una o varias propiedades del concreto, las pruebas deben de ser realizadas en orden de aparición, porque como se indico en incisos anteriores un espécimen o muestra puede ser utilizado para varios propósitos. Dentro de esta tabla se incluyen algunas pruebas de laboratorio que complementan la información obtenida por las pruebas no destructivas realizadas en campo

Prueba	Contenido de aire	Prueba de resistencia a la penetración	Contenido de cemento	Resistencia eléctrica	Resistencia a la tensión	Resistencia al congelamiento y deshielo	Radiografía (emisión de rayos gamma)	Análisis petrográfico	Corazones de concreto	Pujoso ultrasonico
Propiedades físicas, mecánicas y químicas										
Acidez								•		
Contenido de aire	•						•	•		
Reacción álcali - carbonato								•		
Reacción álcali - sílice								•		
Reacción cemento agregado								•		
Contenido de cemento			•					•		
Contenido de cloruro								•	•	
Contaminación de agregados								•		
Agua contaminada utilizada en la mezcla								•		
Peso volumétrico						•			•	
Elongación									•	
Módulo de elasticidad									•	•
Módulo de ruptura					•					
Permeabilidad								•		
Contenido de humedad				•						
Resistencia a la compresión		•						•	•	•

5.3 Programa de pruebas para evaluar las propiedades del concreto

Prueba	Contenido de aire	Prueba de resistencia a la penetración	Contenido de cemento	Resistencia eléctrica	Resistencia a la tensión	Resistencia al congelamiento y deshielo	Radiografía emisión de rayos gamma)	Análisis petrográfico	Corazones de concreto	Pulso ultrasónico
Propiedades físicas, mecánicas y químicas										
Proporción del agregado								•		
Resistencia al congelamiento y deshielo							•		•	
Prueba de resistencia a la tensión									•	
Resistencia a los sulfatos								•	•	
Uniformidad de la mezcla								•		
Proporción agua cemento								•		

5.3 Programa de pruebas para evaluar las propiedades del concreto (continuación)

Una vez realizadas las pruebas, los resultados proporcionan un parámetro para evaluar la calidad del concreto como conjunto y de cada uno de los materiales que se utilizaron

- b) Evaluar el concreto de acuerdo a las condiciones físicas que presenta.- Una vez determinado la calidad del concreto en función de las pruebas que se realizaron, se debe continuar con las pruebas que determinan las condiciones físicas del concreto. Los resultados de las pruebas demuestran que tan deteriorado se encuentra el concreto bajo ciertas acciones del medio ambiente y sustancias agresivas. En la tabla 5.4. se enuncian las condiciones físicas que puede presentar el concreto expuesto en ambientes marinos y las pruebas para evaluar dichas condiciones⁶

Prueba	Propiedades físicas, mecánicas y químicas										
	Emisión acústica / Impactos	Fibra óptica / Concretoscopia	Radiografía (emisión de rayos gamma)	Rayos infrarrojos	Pachometro	Análisis petrográfico	Medidas de algún signo de deterioro	Radar	Martillo de rebote / Esclerómetro / Corazones de concreto	Pulso ultrasónico	Examinación visual
Canales de sangrado											•
Deterioro químico						•					•
Agrietamiento		•					•	•	•	•	•
Seccionamiento interno del elemento		•	•				•			•	
Desintegración			•	•					•	•	•
Deterioro			•	•		•			•	•	•
Florescencia				•		•					•
Abrasión						•			•		•
Ataque por ácidos						•					•
Incrustación de colonias mannas							•				•
Discoloración						•					•
Agujeros		•	•	•		•			•	•	•
Uniformidad del concreto			•			•		•		•	•
Desprendimiento de capas superficiales de concreto			•						•	•	•
Erosión						•			•		•

5.4 Programa de pruebas para evaluar las condiciones físicas del concreto

Prueba	Emisión acústica / Impactos	Fibra óptica / Concretoscopia	Radiografía (rayos gamma)	Rayos infrarrojos	Pachómetro	Análisis petrográfico	Medidas de algún signo de deterioro	Radar	Martillo de rebote	Esclerómetro de concreto	Pulso ultrasónico	Examinación visual
Estratificación		•										•
Desempeño estructural	•									•		•
Ataque de cloruros						•						
Crecimiento marino							•					•
Corrosión	•	•	•		•			•				•

5.4 Programa de pruebas para evaluar las condiciones físicas del concreto (continuación).

- c) Evaluación de la resistencia estructural del concreto - En este programa de pruebas se evalúan dos aspectos del concreto estructural: Las propiedades del acero de refuerzo y las propiedades estructurales del concreto reforzado

Esta evaluación ayudará a determinar que tan segura es la estructura y el desempeño que tiene o el que se puede esperar en el futuro.

En la tabla 5.5, se enuncian el programa de pruebas para determinar las propiedades del acero de refuerzo. De igual forma que en los incisos anteriores es importante respetar el orden en que se realicen las pruebas.

Prueba	Análisis químico	Capa de protección	Especificación del material	Prueba de tensión	Prueba de doblado	Fatiga	Fractura	Dureza	Impacto	Modulo de elasticidad
Propiedades físicas y químicas										
Doblado			•							
Fractura al esfuerzo				•						
Contenido de carbón	•									
Adhesión		•								
Composición química	•	•								

5.5. Programa de pruebas para evaluar las propiedades del acero de refuerzo

Prueba	Análisis químico	Capa de protección	Especificación del material	Prueba de tensión	Prueba de doblado	Fatiga	Fractura	Dureza	Impacto	Módulo de elasticidad
Propiedades físicas y químicas										
Continuidad		•								
Resistencia a la tensión				•						
Espesor		•								
Elongación				•						
Módulo de elasticidad										•
Ductilidad					•					
Dureza				•				•		
Reducción de área (%)				•						
Requerimientos de deformación			•							
Resistencia de las conexiones			•							
Fatiga por ciclos continuos de tensión						•				
Límite de resistencia a la fatiga						•				

5.5 Programa de pruebas para evaluar las propiedades del acero de refuerzo (continuación).

En la tabla 5.6. se enuncian las condiciones físicas en la que se puede encontrar acero de refuerzo embebido en el concreto y que se deben de evaluar para determinar el comportamiento estructural de dichos materiales.

Prueba	Espesor del recubrimiento	Radiografía (rayos gamma)	Medidas físicas	Radar	Examinación visual	Emisión acústica	Penetración de líquidos	Partículas magnéticas	Potencial eléctrico	Análisis estructural	Ultrasonido
Condiciones físicas del acero de refuerzo											
Anclajes	•		•		•						
Corrosión					•			•			•
Recubrimiento	•	•	•	•							
Biocorrosión					•			•			•

5.6 Programa de pruebas para evaluar las condiciones físicas del acero de refuerzo

Prueba	Espesor del recubrimiento	Radiografía (rayos gamma)	Medidas físicas	Radar	Examinación visual	Emisión acústica	Penetración de líquidos	Partículas magnéticas	Potencial eléctrico	Análisis estructural	Ultrasonido
Condiciones físicas del acero de refuerzo											
Seccionamiento del acero dentro del concreto		•		•	•						
Exposición					•						•
Localización	•	•	•	•							
Forma	•		•		•		•	•			
Elementos que necesiten refuerzo			•		•				•		
Deformaciones			•		•						
Ataque químico directo			•			•					
Actividad electro - química de corrosión			•		•				•		
Grietas por fatiga		•	•			•	•	•			•
Agrietamiento debido a fracturas		•	•		•	•	•	•			•
Geometría estructural de los componentes			•		•	•					
Pérdida de sección en forma de laminas		•	•		•	•	•	•		•	•
Conexiones o uniones			•		•					•	
Miembros sujetos a un sobre esfuerzo										•	

5.6. Programa de pruebas para evaluar las condiciones físicas del acero de refuerzo (continuación)

5.4. MONITOREO

Monitorear significa, observar el comportamiento o corregir dicho comportamiento; el monitoreo en una estructura de concreto y se realiza en dos etapas

- Cuando se realizan las pruebas de carga en el sitio se observa el comportamiento de la estructura o cuando se toman corazones o muestras se observa como reacciona
- Cuando se tienen los resultados de las pruebas y existe cierta incertidumbre, la estructura se instrumenta siguiendo la evolución en el tiempo de sus flechas y su agrietamiento o bien el proceso de deterioro por carbonatación, del concreto, corrosión del acero, etc

Gracias al monitoreo se tiene un registro del comportamiento de la estructura, realizando visitas periódicos para decidir el momento más adecuado para una intervención

Para realizar dicha actividad es necesario instrumentar la estructura, dejar marcas con pintura, hasta colocar equipos con sensores que miden automáticamente el comportamiento de la estructura. A continuación, se resumirá como se puede instrumentar una estructura:

- a) Para medir el desgaste provocado por la erosión o pérdidas de secciones basta con hacer marcas de pinturas y medir la sección, cuando se efectúa la inspección se buscan rastros de las marcas de pintura y se vuelve a medir el espesor del elemento y se saca la diferencia. Este proceso se debe de hacer en todos aquellos elementos que se encuentre en la zona de mareas.
- b) Para medir el avance o cierres de las grietas se pueden colocar testigos tales como los que se ejemplificaron en el inciso 4.1.3
- c) Para medir el comportamiento de deflexiones, asentamientos, desniveles se pueden colocar los testigos como los utilizados por el Instituto Técnico de Materiales ilustrado en el inciso 4.1.3.
- d) Para obtener mediciones más exactas del comportamiento anómalo de la estructura existen instrumentos que tiene sensores automáticos y que funcionan de forma digital, siendo muy sensibles ante cualquier comportamiento. Dichos instrumentación se lleva a cabo en todos aquellos elementos donde sea más difícil el acceso al personal, en las partes sumergidas y que representen un grave riesgo para la seguridad.
- e) Para monitorear el avance de la corrosión del acero será necesario además de una nueva inspección visual en el elemento aplicar de nuevo las pruebas de medición de potencial eléctrico, la del pachometro y utilizar el radar o la prueba de rayos gamma. Se debe cuidar en especial aquellos elementos que se encuentren en zona de brisa y marea.
- f) Para medir el avance de cualquier otro tipo de deterioro tal como el ataque a los sulfatos, penetración de cloruros, carbonatación, será necesario programar una nueva inspección visual y un análisis petrográfico.
- g) En los elementos que presenten un avance significativo de agrietamiento y pérdida de secciones será necesario evaluarlos estructuralmente con una prueba de carga. Dicho procedimiento se hace en todos aquellos elementos estructurales que presenten alguna nueva anomalía grave
- h) En los elementos que se encuentren sumergidos se debe de vigilar el crecimiento marino, cuanto ha evolucionado

El monitoreo del comportamiento de la estructura y el avance del deterioro, aunado a los resultados de las pruebas, definen las acciones definitivas a seguir

5.5. FORMATO PARA EMITIR EL DIAGNÓSTICO.

En el presente inciso se propone el formato que debe de tener un diagnostico definitivo de una estructura de concreto en ambiente marino, en dicho formato se incluyen toda la información pertinente y que sea entendible para el propietario y/o dueño de la estructura bajo inspección

Diagnóstico definitivo.								
a) Características de la estructura:					Croquis de localización.			
Tipo de estructura:								
Uso de la estructura:								
Estado actual de la estructura:								
b) Características del medio circundante de la estructura:								
- Macro – clima:				- Micro – clima:				
c) Datos del personal o compañía responsable de la inspección:								
Inspección acreditada por:								
Fecha de la inspección:								
Responsable de la inspección:								
Programa de pruebas a realizar:								
d) Programa de inspección y resultados.								
CODIGO DEL AREA	NOMBRE DEL AREA	Exámenes realizados				TIPO DE INSPECCIÓN REALIZADA	RESULTADOS	CODIGO DE RESULTADOS
		TIPO DE PRUEBA DESTRUCTIVA	TIPO DE PRUEBA NO DESTRUCTIVA	INSPECCIÓN VISUAL	OTRO TIPO			
Código de resultados de deterioro en el concreto.					Comentarios durante el desarrollo de la inspección			
<ul style="list-style-type: none"> - Ok = no se requiere otra inspección - II = se requiere cambiar de tipo de inspección - SS = se requieren trabajos especiales de monitoreo - R = reparación necesaria - RR = refuerzo - Z = desalojo y demolición 								
d) Análisis estructural								
Responsable del análisis:								
Fecha del análisis:								
CÓDIGO DEL AREA	NOMBRE DEL AREA	Tipo de análisis estructural realizado				RESULTADOS	CÓDIGO DE RESULTADOS	

e) Código de resultados del análisis estructural.	Comentarios desarrollados durante el análisis estructural
<ul style="list-style-type: none"> - Ok = La estructura se comporta favorablemente - d = Presenta únicamente deterioro superficial - Is = la rebasa el estado límite de servicio - If = La estructura rebasa el estado límite de falla 	

f) Diagnóstico definitivo

*** g) Monitoreo**

Razones por las cuales se realiza el monitoreo

Fecha en que se inicia:

Fecha en que se termina:

CÓDIGO DEL ÁREA	NOMBRE DEL ÁREA	Tipo de instrumentación	RESULTADOS				ESPECIAL ATENCIÓN
			1er Semestre	2do Semestre	3er Semestre	4to Semestre	

Comentarios durante el desarrollo del monitoreo:

h) Diagnóstico

Deterioro del concreto reforzado debido a:	MANIFESTACIONES	RESULTADO DE LAS PRUEBAS	AVANCE
<ul style="list-style-type: none"> - Agentes físicos - Agentes químicos - Envejecimiento natural - Ataque instantáneo 			
Comportamiento estructural del concreto:	MANIFESTACIONES	RESULTADO DEL ANÁLISIS	
<ul style="list-style-type: none"> - Daños estructurales ligeros - Daños estructurales considerables - Daños estructurales graves - Daños estructurales severos 			

Consideraciones finales:

*** Se realiza sólo en caso de ser necesario**

5.5. EMISIÓN DEL DIAGNÓSTICO.

Al llenar el formato de diagnóstico del inciso 5.4. se debe de tener los resultados de las pruebas a la mano, para no cometer errores.

Al emitir el diagnóstico se tiene que tener en cuenta

- a) Ser lo más objetivo posible.
- b) La seguridad de la estructura.
- c) Descubrir el principio y la causa del comportamiento patológico.

Cuando se tienen terminados los trabajos de inspección y analizados en su totalidad los resultados de las pruebas de los materiales y calculado el comportamiento estructural real, se define perfectamente la magnitud del deterioro de la obra, la naturaleza de ésta y su resistencia, en este momento se toma la decisión de:

- a) Permitir que el deterioro continúe.
- b) Tomar las medidas necesarias para conservar la estructura (realizando reparaciones menores) sin necesidad de reforzarla
- c) Desalojar temporalmente mientras se realizan las reparaciones
- d) Reforzar la estructura.
- e) Reconstruir la estructura.
- f) Abandonar o demoler la obra.

Como parte del diagnóstico y dependiendo de cual sean los resultados se deben de considerar los siguientes puntos:

- Los costos de reparación y mantenimiento aumentan conforme avanza el daño de la estructura.
- El costo de la reparación en el cual se incluyen la inversión de los trabajos relacionados con ésta y el mantenimiento de la obra, así como los trabajos arquitectónicos que por este concepto se desarrollen.
- El trabajo será programado conforme a un lapso de tiempo (sin dejar de considerarse que en algunos casos el trabajo es de urgencia.)
- Si los daños son relativamente pequeños, poco numerosos y aislados se realizarán trabajos de mantenimiento menores o reparaciones de carácter permanente.
- Si los daños son extensos pero superficiales se debe de considerar un mantenimiento general de la obra.
- Si los daños son generales extensos y de carácter estructural se debe de considerar, la reparación y reforzamiento necesario global de la obra.
- Se debe de asegurar que la reparación impida que los daños o degradaciones se extiendan, si no es posible, se deberá establecer un margen de seguridad mayor al momento de reparar, realizando un monitoreo continuo de la obra, para tener un registro del comportamiento del fenómeno de degradación y prevenir la manifestación de otro daño
- La reparación o reforzamiento deberá reintegrar la resistencia original de la estructura e impedir que el daño continúe
- Se deben de plantear que los trabajos de intervención afecten lo menor posible las actividades dentro de la estructura, si esta en servicio
- Al reparar se debe de no alterar el comportamiento de otras obras o partes de la estructura
- Al terminar los trabajos de mantenimiento o reparaciones dos visitas más por lo menos en los próximos meses, para ver el comportamiento de la estructura
- Cuando las reparaciones son excesivas se debe de realizar un análisis de la nueva distribución de esfuerzos en la estructura.

CONCLUSIONES.

El objetivo principal de la presente tesis es dar una metodología para realizar una evaluación y diagnóstico de las condiciones en que se encuentra cualquier tipo de estructura de concreto reforzado en ambiente marino, considero que se cumplió, porque, se tiene en el presente trabajo una guía que servirá de ayuda a todo aquel estudiante o profesional que se dedique a la construcción y se interese en la patología del concreto, porque no sólo es un excelente material estructural, sino que es un elemento que como tal tiene muchas propiedades cualitativas y cuantitativas que no se han estudiado con la profundidad que se debe, porque los daños en la pasta de cemento, agregados y destrucción parcial o total del concreto afectan el comportamiento mecánico y con ello demeritan las propiedades de la estructura que conforma.

El estudio de las fallas, anomalías y daños del concreto, como parte de una estructura no es tarea sencilla, pues es un tema que por su naturaleza es un tabú, a nadie le gusta hablar y difundir sus errores, sin embargo gracias a la investigación y la propagación de temas como este se pueden minimizar y evitar daños provocados por la ignorancia

Evaluar una estructura de concreto no es sencillo, pues para poder llegar al qué, al por qué y al como se requiere de experiencia, capacitación, conocimiento e instrucción y queda claro que los principales agentes de daño en las estructuras son: la ignorancia en conjunto con el medio ambiente, pues una evaluación se puede realizar en cualquier momento sin necesidad de que la estructura presente algún deterioro grave, sin embargo esta actividad muy pocas veces se hace y muchas de las pruebas que aquí se describen no se llevan a la práctica porque no son conocidas y/o porque no se le da la importancia que tienen. Si en México se realizarán un mayor número de evaluaciones en estructuras existentes, se conocería mejor la problemática nacional, es decir se ubicaría el problema de acuerdo con las condiciones climáticas del país, del medio ambiente, la forma y modos de construcción, la naturaleza de los materiales y los agentes de daño.

El contenido de la tesis tiene un gran campo de aplicación, pues en ella están las bases para evaluar una estructura de concreto y elaborar un diagnóstico, se ubicó en ambiente marino porque estas estructuras son muy especiales por el tipo de actividad que realizan y el medio. Sin embargo el concreto es el mismo, el de una losa que el de un tanque de almacenamiento de crudo, pues tienen los mismos materiales, tal vez su proporcionamiento y comportamiento mecánico cambie, pero las pruebas para determinar su resistencia y comportamiento físico son las mismas, siendo diferente el resultado para una losa que para el tanque. Entonces que cambia, pues cambia la forma de actuar de los agentes de daño y sus manifestaciones y es en esta parte donde una buena evaluación y diagnóstico contesta el qué, el por qué y el cómo

El tema que se desarrollo necesita más foros discusión y de difusión, además los estudiantes deben de tener mayor acceso a la información sobre temas del concreto y apoyo para realizar sus prácticas e investigaciones, porque en nuestro país es un limitado grupo de empresas e institutos de investigación los que tienen acceso a esta información.

La patología del concreto es un tema muy extenso y por ello, en la tesis sólo se investigó la parte referente al deterioro y como identificarlo, pero este trabajo puede servir de base para futuras investigaciones sobre el desarrollo de concretos que sean durables y que los agentes aquí mencionados no minen sus características físicas y mecánicas, además es importante que se realicen estudios la relación que existe entre el agente de daño y el material de reparación que servirá para detener el daño

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

1. COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. "Manual de tecnología del concreto". Instituto de Ingeniería. UNAM. Tomo I Y III. México. D F. 1994.
2. O'REILLY A, Vitervo "Porosidad, permeabilidad y durabilidad del concreto" Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto – Universidad Nacional Autónoma de México. Memorias del Curso Internacional Durabilidad, patología y reparación de las estructuras de concreto México. D.F. Noviembre, 1998. p.p 10
3. LOPEZ, Gerardo. "Puente carretero Santa Fe. Deterioro de estructuras de concreto" www.arcride.edu.ar/servicios/cmunica/puente.htm. Septiembre 1998.p.p 2
4. "Que es el Concreto" www.matsel.mse.vivc.edu/~twl/concrete/tme.html.
5. RICHARD W. STEIGER " The history of concrete: Part I and II", Concrete Journal July – August.1995.
6. "Concreto Arquitectónico" Ed IMCYC www.imcyc.com/presco/resenia.htm. Abril. 1999. p p 10
7. IMCYC "Primer Foro Interamericano para la Promoción y el Desarrollo de los Pavimentos de Concreto Hidráulico" En Construcción y tecnología Ed IMCYC Vol XI, núm 122 México Julio 1998 p.p.12
8. IMCYC "Desde el principio fue el concreto." En Construcción y Tecnología Ed. IMCYC. Vol XI, núm. 122 México. Septiembre 1999. p.p. 6
9. CALAVERA RUIZ, José "Patología de estructuras de Hormigón Armado y Pretensado". Ed INTEMAC Madrid, España Tomo I y I 1996.
10. COTTIER CAVIEDES, Juan Luis "Patología en las Obras" En Construcción y Tecnología Ed. IMCYC México D.F Septiembre, 1991 14-20. p.p.
11. MONTOYA MESEGUER y MORÁN. " Estados límite de utilización. fisuración y deformaciones" 89-95, 455-465 p p
12. PEREZ CABALERO, Javier. " Criterios para la evaluación de daños " En Revista IMCYC. Ed IMCYC Vol 23. Núm. 16 México D F Diciembre – Enero 1986 95-110 p p

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

13. DO LAGO HELENE, Paulo Roberto. " El fenómeno de la corrosión en la vida útil de las estructuras". Seminario: Patología de las Estructuras de Concreto y Soluciones a Problemas del Concreto Endurecido. IMCYC. Acapulco, México. Abril 1994. 1-19. p.p 204
14. ARNAL SIMON, Luis y BETANCOURT SUAREZ, Max. " Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal: Ilustrado y comentado". Ed Trillas 2ed. México D.F.1996. p.p. 731
15. FERNANDEZ CANOVAS, Manuel " Sistemas de Reparación y Refuerzo" Seminario: Patología de las Estructuras de Concreto y Soluciones a Problemas del Concreto Endurecido IMCYC. Acapulco, México. Abril 1994. p.p. 23
16. GARCÍA DUTARI, Luis "Durabilidad, Patología y Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: su Valor en el Proceso de Enseñanza Aprendizaje " Conferencia Magistral en Concreto 99 IMCYC. México D.F. Septiembre. 1999.
17. TEBAR, Demetrio Gaspar " Durabilidad del Hormigón" En materiales de Construcción. España, Vol 24, No 221. Enero – Febrero – Marzo. 1991 7-18 p.p.
18. COMITÉ EURO – INTERNATIONAL DU BETON. "Durable Concrete Structures: Design Guide". Ed Thomas Telford London, England 1992. p p 106
19. DARWIN, David, LIU C., Tony y SCANLON, Andrew. "Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures" ACI Committe 224 Ed American Concrete Institute. Detroit, Mich 1993. p.p. 20
20. EIGHLER, Firedrich. "Patología de la Construcción" Ed Blume. España 7-8, 21-22 p.p
21. IMCYC "Problemas de reparación de concreto: Causas y Soluciones." En Revista IMCYC México D F Vol 8, No 45, Julio agosto 1970 7-27 p.p
22. THE ABERDEEN GROUP "Color variations on concrete surfaces" En Concrete Construction, August 1968. p.p. 5
23. BLAS, Staley J , CHOJNACKI Boguslaw, et Al "Guide to Durable Cocrete" ACI. Committee 201 Ed. American Concrete Institute. Detroit, Mich 1992
24. EMMONS H Peter. "Concrete Repair and Maintenance Illustrated problem Analysis, repair strategy and techniques" England. Ed R.S Means 1993 p.p. 295

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

- 25 PRINCE ALFARO, Jorge " Informe sobre le sismo de México del 19 de Septiembre de 1985".
En : Revista IMCYC. Ed. IMCYC. México. D.F. Vol 23, No 176 Diciembre – Enero 1986.57-70
p.p.
26. "Acerca de los huracanes" www.elmalde11q.com/acerca-de-los-huracanes.htm Marzo 1999.
27. "La fuerza de la tormenta" www.elmalde11q.com/la-fuerza-de-la-tormenta.htm. Marzo. 1999
28. COTTIER CAVIEDES, Juan Luis. "Peritaje en Estructuras de concreto" México. En Revista
IMCYC. p.p. 9
- 29 GAONA TIBURCIO, Citalli y ALMERAYA CALDERON, Facundo "Principios básicos de
Corrosión" Ed. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chihuahua, Chih. México.
1997. p p. 72
30. PATIÑO GUAJARDO, Jorge. " El concreto en la Industria del Curtido". En. Construcción y
Tecnología Ed. IMCYC. Vol X. Núm. 118 México D.F. Marzo 1998. p.p.15
31. CEMEX "Temas Técnicos y Prácticos del Concreto: Guía para la durabilidad del Concreto"
Guía del Consumidor de Concreto Profesional Ed CEMEX. Libro 13. México. 1999. p.p. 34
- 32 THE ABERDEEN GROUP. "Chemical attack on hardened concrete" Concrete Construction
Octubre 1985. p.p. 6
33. ADAMAS, Roberto, GOTTHEIL, Louis A., et Al. " Guide to Durable Concrete" ACI. Committee
201.2R-77. Ed American Concrete Institute Detroit, Mich 1977 p.p 37
34. THE ABERDEEN GROUP "Agents that attack concrete". Concrete Construction. December.
1957 p p 4
- 35 THE ABERDEEN GROUP "Agents that attack concrete. A list of protective measures and
materials". Concrete Construction Enero 1981 p p 6
36. HOFF, G C "Durability of Offshore and Marine Concrete Structures" ACI. SP 126-2 Ed
American Concrete Institute Detroit, Mich 1991 33-60 p.p.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

37. CASANOVA, Ignasi y AGUADO Antonio " Consideraciones sobre el proyecto, obra y mantenimiento del hormigón en ambientes marinos" En: Construcción de puertos y Estructuras Maritimas. Ed Instituto Español del Cemento y su aplicaciones. España, No 787. Agosto 1998. 765-785 p.p.
38. FERNANDEZ CANOVAS, Manuel. " Patología y terapéutica del hormigón armado". Ed Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 3ª ed Madrid, España. 1994 231-3 p.p p.p.487
39. A.G., Eddie, HOVE, K, et. al "Design and construction of concrete sea structures." Federation Internationale Précontrainte (FIP) Commission on concrete sea estructuras London Ed Thomas Telford Limited. 1985. p.p. 29
40. GIRÓN VARGAS, Humberto Alejandro " Ataque por cloruros en el concreto" En: Construcción y Tecnología. Ed IMCYC. Vol. XI, Núm. 125 México. D.F. Octubre 1998. 28-35 México. D.F.
41. SORIANO CARILLO, Jesús. "La durabilidad del hormigón." En: INGEOPRES Madrid, España. 1994. 18-25 p.p
42. WEBSTER, Ted "The chloride scare." En Concrete Construction E.E.U.U. October 1982
43. WOODS, Humbert. "Durability of Concrete Construction". Ed. American Concrete Institute. Detroit, Mich. p.p. 168
44. GREGGAN, Patrick J., et. al. "Erosión of concrete in hydraulic structures" . ACI. Committe 210. Ed. American Concrete Institute. Detroit, Mich. 1987 p p. 22
45. THE ABERDEEN GROUP " Concrete in Marine Environments". En. Concrete Construction. Ed Aberdeen group EE UU. December 1962. p.p 2
46. ACI. "Corrosion of Metal in Concrete" ACI Committe 222 Ed. American Concrete Institute Detroit, Mich 1989 p p 29
47. FITZPATRICK, Robert A " Corrosion of Concrete Structures in Coastal Areas". En Concrete International Ed ACI Detroit, Mich July 1996 46-47 p p

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

48. SPENCER E., Thomas y BLAYLOCK J Albert " Alkali – Silica Reaction in Marine Piles" En: Concrete International. Ed. ACI. Detroit, Mich. Enero 1997.59-62 p p.
49. POPESCU, A. y BESCHEA, T. "Concrete Structures Deterioration Due to the Microorganisms Attack." ED. RILEM. 1991. 507-10 p.p.
50. HALL. R, Gary " Immunizing concrete against destrcutive bacteria " En. Concrete Repair Digest. Ed: The Aberdeen Group. EE. UU. April. 1996 p.p.10
51. GOMEZ, Antonio, GUERRA RAMOS, salvador, et. al " Procedimiento para la Inspección de crecimiento marino" Inspección de plataformas marítimas Exploración y Producción Región Marítima Noreste Ed. PEMEX – IMP. México, D.F Abril. 1999. p.p.8
52. GOMEZ, Antonio, GUERRA RAMOS, salvador, et al. " Procedimiento para la Inspección de crecimiento marino" Inspección de plataformas marítimas Exploración y Producción. Anexo Uno. Región Mantima Noreste Ed. PEMEX – IMP. México, D F. Abril. 1999. p p. 3
- 53 AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). "Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings". Ed ASCE. New York, New York. August 1991. p p. 89
- 54 CHUNG, Hung W. " Assessment of Damages in Reinforced Concrete Structures" En. Concrete International. Ed. ACI. Detroit. MI March. 1994. 54-59 p.p
55. PEREZ CABALLERO, Javier "Guía práctica para la evaluación de edificios dañados." En. Revista IMCYC Ed. IMCYC México D.F Vol 24, No 184. Septiembre 1986. 15-28 p.p
- 56 MORAN CABRE, F " Estimación de la seguridad residual en estructuras de Hormigón con problemas patológicos" En Informes de la Construcción Ed Instituto Eduardo Torroja España. Vol 46 No 434 Noviembre -. Diciembre 1994 39-51 p.p
57. LEYES Y CODIGOS DE MÉXICO. " Ley General de Asentamientos Humanos" Ed. Porrúa. 13ª ed. México D F 1995
58. LEYES Y CODIGOS DE MÉXICO "Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal" Ed. Porrúa.13ª ed México D F 1995

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

59. "Reglamento de la Comisión de Avalúos de Bienes Nacionales" Legislación de la Administración Pública Federal. Ed. Delma 13ª ed 1996
60. LEY FEDERAL DE LA VIVIENDA. " Decreto por el que se crea con carácter permanente la Comisión Nacional de Desarrollo Urbano y Seguridad estructural" Diario Oficial de la Federación. México D.F. 29 de Noviembre 1988.
61. LEGISLACIÓN PÚBLICA DE LA ADMISNISTRACIÓN FEDERAL " Decreto por el que se crea el Centro Nacional de Prevención de Desastres". Ed. Delma. 13ª ed. México D.F. 1996
62. DET NORSKEVERITAS (DNV) " Rules for the desing construction and inspection of offshore structures" Apedice I. In Service Inspección. Ed DNV. 1980. p.p. 18
63. IGLESIAS J., Jesús, et. al. " Reparación de estructuras de concreto y mampostería" Ed. Universidad Autónoma-Metropolitana. México, D F 1985. p.p.127
64. "Remotely operated vehicle" www.Physical.com/deep6/workrow.htm
65. WILLIS, D. Walter, ANDERSON O. Matthew, et al " The Remote Underwater Characterization System". Ed Idaho National Engineering and Environmental Laboratory
66. HAAVIK J. Douglas " Evaluating concrete cracking by measuring crack width" En Concrete Construction. Ed The aberdeen group L.A. California. 1990 p.p.2
67. ACI " Control of Cracking in Concrete Structures" ACI. Committe 224-80. Report Ed American Concrete Institute. Detroit, Mich 1984 p.p.29
68. FLORES RAMIREZ, Carlos Mario "Otras de Concreto" UNAM Diplomado 95-96 p.p 56
69. M SAMMAN, Mahmond, O'NEILL W. Michael "Concretoscopy for Structure Inspection" En Concrete International. Ed ACI. Detroit, Mich October 1997 63-67 p.p
70. THE ABERDEEN GROUP " Specalized concrete evaluation and testing" En Concrete Construction Ed The Aberdeen Group. Ee Uu December 1994. p.p.4
71. KRAUSE. M, et. al " Comparison of Pulse Echo Methods for Testing Concrete" En: NDTnet Vol 1 No 10 October. 1996 p.p 10

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

72. POSTON W., Randall, et al. "Condition Assessment Using Nondestructive Evaluation". En: Concrete International. Ed. ACI. Detroit, Mich. July 1995. 36-42 p.p.
73. HERTLEIN. H., Bernard " Nondestructive Evaluation of Dams and Related Structures Applications and Case Histories". STS. Consultanst Ltd. p.p.8
74. MALHOTRA. V.M., CARINO. N.J "CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete" Ed. CRC. 1991. p p. 343
75. SUPRENANT A., Bruce "Detecting corrosion using half cell potentials." En: Concrete Repair Digest. Ed The Aberdeen Group. EE. UU. October 1993. p.p 5
76. STARK, David " How to evaluate the state of alkali silica reactivity (ASR) in concrete". En Constructin Technology Ed The Aberdeen Group May 1990 p.p. 2.
77. JENKINS, Robert, et. al. "Nondestructive Testing Equipment submerged". En. Concrete Repair Digest. Ed. The Aberdeen Group. EE.UU August 1996. p.p. 3
- 78 SUPRENANT. A., Bruce "Methods for evaluating deteriorated and repaired concrete" En. Concrete Repair Digest. Ed The Aberdeen Group. EE. UU February 1991. p.p. 3
- 79 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE "Risk analysis for pipe lines" Ed. API. EE UU 1964. p.p