



**"CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MANTENIMIENTO EN
ESTRUCTURAS DE CONCRETO."**

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES (F.E.S.) ARAGÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**TESIS CONJUNTA PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL.**

ALUMNOS:

AIYEDOGBON Olufunmilayo Adeyemi

AKINOLA Olaolu Oladapo

México, Noviembre del 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

I thank my **Heavenly Father** for his guidance and protection over me and in making this thesis a possibility. It is insufficient to overstate my gratitude to my supervisor, Engr. Almazán Jaramillo Trinidad Adolfo for his enthusiasm and his inspiration throughout the elaboration of this thesis; providing encouragement, sound advice and ideas. I would also like to thank the many other people who have also helped me: Mr. Adeyinka Balogun for his financial support; and for their kind assistance and advice via e-mails, I wish to thank Engr. Yinka Adewuyi, Arch. Yinka Williams, Engr. Samuel Musobozi, Engr. Kevin L. McWhorter, Engr. Solomon and Clementina London, Alfred Adebayo; and also the Civil Engineering Department of FES Aragón UNAM. I am grateful to my best friend and my love for helping me get through the difficult times, and for all the emotional support, entertainment, and caring he provided; to my siblings, **Ayo, Bola and Derin**, and my entire extended family for loving and supporting me.

Lastly, and most importantly, I wish to thank my parents, Mrs. Mary S. Aiyedogbon & Mr. Adetayo S. Aiyedogbon. They bore me, raised me, supported me, taught me, and loved me. To them I dedicate this thesis. - 'Funmi.

.....

I am eternally grateful to **the Almighty God** for giving me the opportunity and the fortitude to effectively see this project through; and also to all those who contributed through their various comments and suggestions during the process of its elaboration; to my colleagues, friends and family, you've all been exceptionally supportive - Many Thanks!!!

Engr. Trinidad Adolfo Almazán Jaramillo, my tutor; Engr. José Paulo Mejorada Mota, Academic Secretary for Research; Engr. Ricardo Heras Cruz, for his technical contributions; the Department of Civil Engineering under the auspice of Engr. Martin Ortiz León & Engr. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez; professors of the Civil Engineering Department, FES Aragón UNAM; Engr. Taye Adewumi, Dr. Abiola Babalakin, Engr. Kevin L. McWhorter & Engr. Olusola Idowu.

I dedicate this thesis to my family: Dr. & Mrs. B.A. Akinola, Bolarinwa, Olanike & Bolanle for all their love and support; and to my country, Nigeria. - Ola.

ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN.</u>	7
I. - <u>CONCEPTOS BÁSICOS.</u>	10
I.1. - <u>Antecedentes y Generalidades Sobre las Estructuras de Concreto.</u>	11
I.2. - <u>El Acero.</u>	25
I.3. - <u>Relación entre el Concreto y el Acero.</u>	36
I.4. - <u>Control de Calidad de los Materiales.</u>	37
I.5. - <u>Mantenimiento en las Estructuras de Concreto.</u>	42
II. - <u>MARCO TÉCNICO.</u>	70
II.1. - <u>Generalidades.</u>	71
II.2. - <u>Propiedades Físicas de los Agregados.</u>	72
II.3. - <u>Evaluación de la Resistencia del Concreto Hidráulico.</u>	74
II.4. - <u>Ensayes a los Materiales de Concreto.</u>	75
II.5. - <u>Varillas de Acero empleadas en Concreto Reforzado.</u>	79
III. - <u>MARCO LEGAL.</u>	89
III.1. - <u>Generalidades.</u>	90
III.2. - <u>Normatividad.</u>	91
III.3. - <u>Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.</u>	97
IV. - <u>MANTENIMIENTO RUTINARIO.</u>	100
IV.1. - <u>Definición.</u>	101
IV.2. - <u>Medios y Requisitos para llevar a cabo una Inspección.</u>	103
IV.3. - <u>Equipos de Inspección.</u>	105
IV.4. - <u>Procedimiento de Inspección.</u>	108
IV.5. - <u>Equipamiento.</u>	112
IV.6. - <u>Entrega de Reporte.</u>	113

V.-	<u>MANTENIMIENTO PREVENTIVO.</u>	119
V.1.-	<u>Definición.</u>	120
V.2.-	<u>Medios y Requisitos para llevar a cabo una Inspección.</u>	122
V.3.-	<u>Equipos de Inspección.</u>	124
V.4.-	<u>Evaluación del estado de las Estructuras de Concreto.</u>	127
V.5.-	<u>Métodos de Protección de las Estructuras de Concreto.</u>	128
V.6.-	<u>Factores en la Selección de la Protección.</u>	134
VI.-	<u>MANTENIMIENTO CORRECTIVO.</u>	142
VI.1.-	<u>Definición.</u>	143
VI.2.-	<u>Metodología de Mantenimiento Correctivo.</u>	144
VI.3.-	<u>Métodos y Técnicas de Reparación.</u>	149
VI.4.-	<u>Sistemas de Protección.</u>	175
VII.-	<u>ANEXOS.</u>	183
VIII.-	<u>CONCLUSIONES.</u>	208
IX.-	<u>BIBLIOGRAFÍA.</u>	210

INTRODUCCIÓN.

México posee una gran variedad de estructuras de concreto que se está degradando a grandes pasos por efecto del medio ambiente, por diseño equivocado y detalles insuficientes, por problemas congénitos de supervisión ineficaz durante su construcción, por ausencia de mantenimiento y, principalmente, por la edad de las obras construidas hace años y que vienen sirviendo a la sociedad a lo largo del tiempo.

Este problema no es aislado de México, sino que también representa una importante inversión en los países desarrollados en los últimos años. Se trata de mantener el patrimonio construido, y además hacerlo de forma consciente, económica y durable. Los últimos datos estadísticos demuestran que en los Estados Unidos más del 31% de la inversión total en construcción civil, es destinada a obras de mantenimiento y no debe de ser diferente de otros países aunque no se disponga, aun de estadísticas confiables.

Por otra parte, dentro de las diversas materias de la ingeniería tales como diseño, materiales, estabilidad, patología, el mantenimiento quizás sea una de las tareas más retrasadas. No se conoce el material adecuado, ni los mejores procedimientos y las técnicas apropiadas; tampoco hay documentos normativos en cantidad y calidad suficientes para ayudar a los responsables por las tareas de mantenimiento y rehabilitación.

El mantenimiento de las estructuras de concreto es una actividad compleja que forma parte de los procesos de la construcción y exige un conocimiento profundo del comportamiento de los materiales de construcción y de las técnicas ejecutivas. Una estructura ya operacional y funcional se necesita de una serie de trabajos periódicos de inspección, evaluación y protección para mantenerla en su estado original de servicio. A veces se necesitan trabajos de reparación, rehabilitación y mejoramiento. Este conjunto de trabajos ordinarios y/o extraordinarios se conocen como mantenimiento. Realizar con suceso estos procesos de mantenimiento, en general, representa un nuevo desafío para los ingenieros civiles.

La ingeniería es una disciplina milenaria, y mucha de la práctica constructiva ha resultado en la acumulación de experiencias a través de la observación del comportamiento de obras nuevas, de obras en fase de construcción o de terminación.

Sin embargo, esa experiencia acumulada no sirve para entender los procesos de mantenimiento y de protección particulares de las estructuras de concreto. Por consiguiente, los trabajos de operación y mantenimiento de estructuras de concreto han sido relegados a un segundo plano debido a una errónea presunción de que los concretos son eternos. Esto se muestra en los currículos vigentes de las escuelas de ingeniería en donde la mayoría no incluyen los conceptos y las practicas básicas de inspección, diagnóstico, alternativa y proyecto de intervención. La carencia de actualización en la formación académica y profesional ha sido un factor decepcionante para el avance de las técnicas de mantenimiento en el país. La durabilidad y funcionalidad de las estructuras antiguas y nuevas han sido efímeras con costos elevados y con intervenciones repetitivas y frecuentes.

Esta situación no es particular de México, sino mundial, y ha causado una aprehensión en los países desarrollados y con mayor número de obras en edad avanzada. La Unión Europea y los Estados Unidos han destinado montos significativos de los recursos disponibles para investigación en construcción civil al área de patología y mantenimiento de estructuras. De esta manera han derivado varias búsquedas de diagnóstico de los problemas de deterioro de las estructuras de concreto y ha introducido el concepto de desempeño y vida útil como instrumento de evaluación de las soluciones de intervención.

Este trabajo de tesis tiene como objetivo principal investigar los procesos de mantenimiento existentes en las estructuras de concreto en general; y hacer el análisis de la ventaja de una protección y un buen mantenimiento rutinario y/o preventivo en contraste a un mantenimiento correctivo como es lo predominante y lo más común en México y en muchos países del tercer mundo.

Agradecemos las contribuciones en aportaciones y críticas constructivas que puedan mejorar este trabajo de tesis.

I.-

CONCEPTOS

BÁSICOS.

I.1.- ANTECEDENTES Y GENERALIDADES SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

La historia del concreto como material para la construcción de estructuras surgió de la historia del cemento como material fundamental de la construcción.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero - mezcla de arena con materia cementosa - para unir bloques y lozas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Un material *volcánico* muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como pozoluona.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen al año 1824 cuando en Inglaterra fue patentada una materia, que obtuvieron los señores James Parker y Joseph Aspdin, de la calcinación de alta temperatura de una caliza arcillosa, produciendo un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro tiempo.

Se desarrollaron variaciones del cemento dependiendo al uso a que le someta para mejorar su calidad y de ahí hubo varias modificaciones en el uso de esta materia fundamental para la construcción así como lo conocemos hoy en día.

I.1.1.- DEFINICION DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

Una construcción u obra puede concebirse como un sistema, entendiéndose por sistema un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan en forma ordenada para cumplir con una determinada función. Todos estos subsistemas interactúan de manera que en su diseño debe tenerse en cuenta la relación que existe entre ellos.

Entonces, puede definirse una estructura de concreto como "un conjunto de elementos contruidos de concreto, combinados y trabajando para cumplir la determinada función de recibir y transmitir carga." Así, no puede confiarse que el lograr la solución óptima para cada uno de ellos conduzca a la solución óptima para el sistema en su conjunto.

Una estructura puede concebirse como un sistema también, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada, que puede ser por ejemplo salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como sucede en los distintos tipos de edificios; o contener un empuje, como en los muros de contención, tanques o silos.

La estructura debe cumplir la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, deben satisfacerse otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas. Las estructuras de concreto son distintas y pueden clasificarse según:

- El material (concreto simple, concreto reforzado);
- Su importancia (A, B, C, D);
- Su función y su utilización (estructurales mecánicas, operativas, estéticas y económicas).

Esta clasificación cabe señalarse para poder hacer las distinciones entre los diferentes tipos de estructuras. Las características de las estructuras son:

- Seguridad, que debe de ser razonable;
- Una condición de servicio satisfactorio;
- Aspecto estético, es decir, que luce bonito;

- Economía, que sea lo justo; y
- Una vida útil que favorezca el costo-beneficio.

Básicamente existen dos tipos de estructuras de concreto: estructuras de concreto simple y estructuras de concreto reforzado. Entre ellas se encuentran las estructuras de puentes, carreteras, estructuras hidráulicas, edificios, etc. Las dos se emplean para diferentes formas de construcción con base a la función que van a cumplir y la magnitud de las cargas que van a recibir y transmitir, es decir, el comportamiento de estas estructuras sujetas a diferentes tipos de cargas (carga axial, fuerza cortante, momento flexionante, torsión, etc.). A continuación se hace la descripción de ellos.

I.1.1.1.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO SIMPLE.

Las estructuras de concreto simple son aquellas estructuras formadas por el concreto hidráulico para integrar una estructura con las propiedades adecuadas para su buen funcionamiento. Las estructuras de concreto pueden ser conjuntos de elementos colados en sitio o elementos precolados y posteriormente llevados a la obra y montados o colocados en sus lugares respectivos. Los elementos de concreto simple son aquellos que sirven para resistir esfuerzos de compresión, es decir, que no están sometidos a esfuerzos de tensión. Por ejemplo: pisos, firmes y banquetes.

I.1.1.2.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Las estructuras de concreto armado son aquellas formadas por la combinación del concreto hidráulico y el acero de refuerzo, para integrar una estructura con las propiedades que cada uno de ellos aporta. Las estructuras de concreto reforzado también pueden ser elementos colados en sitio o elementos precolados.

Los elementos estructurales son las partes de una construcción que sirven para darle resistencia y rigidez. Su función principal es soportar el peso de la construcción y otras fuerzas como sismos, vientos, etc. El uso de concreto en estos elementos estructurales es muy común, convirtiéndolo en un material muy importante en los trabajos de construcción de estructuras.

Los principales tipos de elementos estructurales son:

- Los muros de carga;
- Muros de concreto ;
- Columnas (elementos verticales de concreto reforzado);
- Vigas o trabes (elementos horizontales de concreto reforzado);
- Losas (sistema de techo o de piso de niveles superiores, por lo general son de concreto reforzado);
- Escaleras de concreto, ya sea interiores o exteriores. Generalmente se consideran un sistema independiente a la estructura de la edificación;
- Cimentación (zapatas de concreto, losas de cimentación, cajones o pilotes); y otros elementos.

En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de acero; este concreto reforzado se conoce como "**concreto armado**".

El acero proporciona la resistencia necesaria cuando la estructura tiene que soportar fuerzas longitudinales elevadas. El acero que se introduce en el hormigón suele ser una malla de alambre o barras sin desbastar o trenzadas.

El concreto y el acero forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos.

I.1.2.- LA COMPOSICIÓN DEL CONCRETO.

El concreto es un material artificial utilizado en ingeniería que se obtiene mezclando cemento Pórtland, agua, algunos materiales bastos como la grava y otros refinados como la arena, llamados agregados pétreos, y una pequeña cantidad de aire.

El concreto es casi el único material de construcción que llega en bruto a la obra. Esta característica hace que sea muy útil en construcción, ya que puede moldearse de muchas formas. Presenta una amplia variedad de texturas y colores y se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, etc.

Otras características favorables del concreto son su resistencia, su bajo costo y su larga duración. Si se mezcla con los materiales adecuados, el hormigón puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero **reforzándolo con acero** y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a las fuerzas longitudinales como a la compresión. Su larga duración se evidencia en la conservación de columnas construidas por los egipcios hace más de 3,600 años.

Los componentes principales del concreto son pasta de cemento Pórtland, agua (y aire, que puede entrar de forma natural y dejar unas pequeñas cavidades o se puede introducir artificialmente en forma de burbujas). Los materiales inertes pueden dividirse en dos grupos: materiales finos, como puede ser la arena, y materiales bastos, como grava, piedras o escoria. En general, se

llaman materiales finos si sus partículas son menores que 6.40 mm y bastos si son mayores, pero según el grosor de la estructura que se va a construir el tamaño de los materiales bastos varía mucho. El tamaño de los materiales bastos no debe exceder la quinta parte de la dimensión más pequeña de la pieza de concreto que se vaya a construir.

Al mezclar el cemento Pórtland con agua, los compuestos del cemento reaccionan y forman una pasta aglutinadora. Si la mezcla está bien hecha, cada partícula de arena y cada trozo de grava queda envuelta por la pasta y todos los huecos que existan entre ellas quedarán rellenos. Cuando la pasta se seca y se endurece, todos estos materiales quedan ligados formando una masa sólida.

En condiciones normales el concreto se fortalece con el paso del tiempo. La reacción química entre el cemento y el agua que produce el endurecimiento de la pasta y la compactación de los materiales que se introducen en ella requiere tiempo. Esta reacción es rápida al principio pero después es mucho más lenta. Si hay humedad, el concreto sigue endureciéndose durante años.

Las mezclas de concreto se especifican en forma de relación entre los volúmenes de cemento, arena y piedra utilizados. Para obtener un concreto de alta resistencia el contenido de agua debe ser bajo, sólo el suficiente para humedecer toda la mezcla. En general, cuanto más agua se añada a la mezcla, más fácil será trabajarla, pero más débil será el concreto cuando se endurezca. La dosificación para los elementos estructurales de concreto se muestra en la siguiente tabla:

USOS	Pisos, Firmes, Banquetes.	Dalas, Trabes, Cadenas.	Zapatas, Losas, Castillos.	Losas y Columnas Especiales.	Elementos de	Especiales Concreto
f'c (kg/cm ²)	100	150	200	250	300	350
Cemento (kg)	239	263	323	370	416	453
Arena (kg)	780	749	705	654	601	547
Grava (kg)	812	825	812	786	763	752
Agua (lt.)	205	205	210	210	215	215

TABLA I.1.- Dosificación del Concreto de acuerdo a sus resistencias.

I.1.3.- EL CONCRETO LIGERO.

El concreto ligero se logra mediante el empleo de agregados ligeros en la mezcla. El concreto ligero ha sido usado donde la carga muerta es un factor importante y el concreto de peso normal es muy pesado para ser práctico. Es un material apropiado para la construcción de puentes de trabe cajón.

Debido a que las propiedades físicas de los agregados normales y ligeros son diferentes, sus factores de diseño también varían. Sin embargo, los procedimientos de diseño son idénticos.

El concreto ligero ha sido particularmente útil en estructuras de varios niveles, donde se requieren peraltes mínimos y la ubicación para las columnas está limitada, y en puentes muy altos donde la carga muerta de la superestructura requiere columnas y estribos excesivamente grandes para resistir las fuerzas sísmicas.

El peso reducido del concreto minimiza la cantidad de acero de refuerzo en la superestructura y concreto y acero de refuerzo en la subestructura al grado de que el ahorro en los materiales pueda contrarrestar el ligeramente más elevado costo de los agregados ligeros.

Los esfuerzos por carga muerta en elementos de concreto con claros grandes son alrededor del 90% de los esfuerzos totales. Es así obvio que reducir la carga muerta es un enfoque lógico para la construcción de claros grandes más económicos.

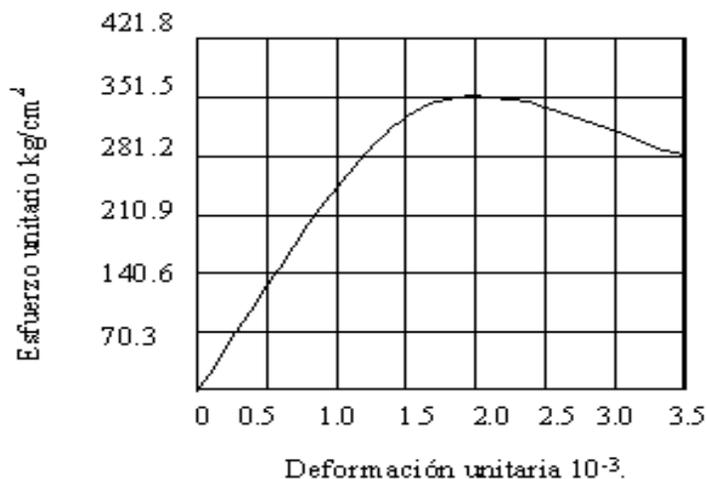
La deformación del concreto es dependiente del tiempo debido al flujo plástico y a la contracción, es de importancia crucial en el diseño de estructuras de concreto, debido a que estos cambios volumétricos producen una pérdida en la fuerza resistente y debido a que ellos producen cambios significativos en la deflexión.

Tales deformaciones pueden clasificarse en cuatro tipos: **deformaciones elásticas, deformaciones laterales, deformaciones plásticas, y deformaciones por contracción.**

Deformaciones elásticas.- La curva esfuerzo-deformación para el concreto no es una línea recta aun a niveles normales de esfuerzo (Grafica 1), ni son enteramente recuperables las deformaciones. Pero, eliminando las deformaciones plásticas de esta consideración, la porción inferior de la curva esfuerzo-deformación instantánea, que es relativamente recta, puede llamarse convencionalmente elástica. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto.

El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento, y la definición del módulo de elasticidad en sí, si es el módulo tangente, inicial o secante.

Aún más, el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga. Por consiguiente, es casi imposible predecir con exactitud el valor del módulo para un concreto dado.



GRAFICA I.1.- Curva típica esfuerzo-deformación en concreto de 350kg/cm^2 .

Del solo estudio de las curvas de esfuerzo-deformación resulta obvio que el concepto convencional de módulo de elasticidad no tiene sentido en el concreto. La ASTM recomienda la pendiente de la línea que une los puntos de la curva correspondiente a una deformación de 0.00005 y al 40% de la carga máxima.

Se han propuesto muchas relaciones que expresan el módulo de elasticidad en función de la resistencia del concreto, así como la propuesta para un concreto con peso volumétrico $\geq 2,200$ kg/cm³, su módulo de elasticidad $E_c = 14,000 \sqrt{f'_c}$ (f'_c en kg/cm²).

Deformaciones laterales.- Cuando al concreto se le comprime en una dirección, al igual que ocurre con otros materiales, éste se expande en la dirección transversal a la del esfuerzo aplicado. La relación entre la deformación transversal y la longitudinal se conoce como relación de Poisson. La relación de Poisson varía de 0.15 a 0.20 para el concreto.

Deformaciones plásticas.- La plasticidad en el concreto es definida como deformación dependiente del tiempo que resulta de la presencia de un esfuerzo. Así definimos al flujo plástico como la propiedad de muchos materiales mediante la cual ellos continúan deformándose a través de lapsos considerables de tiempo bajo un estado constante de esfuerzo o carga. La velocidad del incremento de la deformación es grande al principio, pero disminuye con el tiempo, hasta que después de muchos meses alcanza un valor constante asintóticamente.

Se ha encontrado que la deformación por flujo plástico en el concreto depende no solamente del tiempo, sino que también depende de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las condiciones del curado, y de la edad del concreto a la cual comienza a ser cargado. La deformación por flujo plástico es casi directamente proporcional a la intensidad del esfuerzo.

Deformaciones por contracción.- Las mezclas para concreto normal contienen mayor cantidad de agua que la que se requiere para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo, la velocidad y la terminación del secado dependen de la humedad, la temperatura ambiente, y del tamaño y forma del espécimen del concreto. El secado del concreto viene aparejado con una disminución en su volumen, ocurriendo este cambio con mayor velocidad al principio que al final.

De esta forma, la contracción del concreto debida al secado y a cambios químicos depende solamente del tiempo y de las condiciones de humedad, pero no de los esfuerzos. La contracción del concreto es algo proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla. De aquí que si se

quiere la contracción mínima, la relación agua cemento y la proporción de la pasta de cemento deberá mantenerse al mínimo.

La calidad de los agregados es también una consideración importante. Agregados más duros y densos de baja absorción y alto módulo de elasticidad expondrán una contracción menor. El valor de la contracción depende además de las condiciones del ambiente.

I.1.4.- LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.

Los siguientes puntos son importantes cuidarse cuando se quiere elaborar un concreto:

- Es muy importante seleccionar agregados duros, fuertes, limpios, con mínima cantidad de polvo, libres de arcillas o contaminantes que afecten la hidratación del cemento.
- Los agregados ocupan de un 60 a un 75 % del volumen del concreto (70 a 85% en peso) y tienen una gran influencia sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, sobre los proporcionamientos y la economía.
- El agua debe estar libre de contaminaciones orgánicas y salinas. Cuando sea posible debe utilizarse agua potable.
- El Cemento debe ser el adecuado para el tipo de obra tomando en cuenta el contenido de sales y humedad en el suelo. Se debe verificar el estado de los sacos, que no presenten roturas ni humedad.
- La cimbra que se utilice debe colocarse de manera firme y bien sellada para evitar la pérdida de lechada. Se debe recubrir con aceite limpio y humedecerla previo a la colocación del concreto.
- La proporción del concreto debe ser la adecuada a los esfuerzos a los cuales estará sometido.

I.1.4.1.- LA MEZCLA.

El Mezclado debe hacerse de tal forma que asegure la homogeneidad del concreto. Se recomienda el uso de mezcladoras mecánicas. En caso de que se realice manualmente deben extremarse los cuidados durante su elaboración.

I.1.4.2.- COLOCACIÓN.

Los cuidados durante la colocación del concreto tienen con objeto mantener la masa homogénea, que se vea pareja, es decir, con buena distribución de los agregados. Es importante que se elimine el aire atrapado por lo que se recomienda el empleo de un vibrador o del método del varillado.

I.1.4.3.- CURADO.

Con el objeto de que el concreto desarrolle adecuadamente sus resistencias es muy importante que no se pierda el agua de mezclado. Para este efecto debe mantenerse húmeda la superficie del concreto. A esta operación se le llama curado. Un buen curado contribuye a obtener las resistencias de diseño. En caso de un curado deficiente, las resistencias pueden quedar hasta un 30% por debajo de lo esperado.

I.1.4.4.- DESCIMBRADO.

Las cimbras de madera son la más corrientemente utilizadas. Pueden ser más o menos utilizadas, según las dimensiones del elemento de concreto, la forma que estas presentan y la carga que hayan de soportar. Por lo general, las cimbras de madera se componen de dos o más cuchillos, unidos entre sí por medio de correas y un entablado. Para obtener un perfecto acabado de las piezas colocadas con madera pueden seguirse varios procedimientos según el efecto final que se

desea obtener. Desde luego el procedimiento mas indicado es, el de terminar las perfectamente en algunos casos se acostumbra mejorarlo mediante el empleo de otros, que preparan al concreto una superficies completamente lisas, desvirtuando por otras partes la calidad y textura propia del material, es impresionable, desde luego, el uso de vibradores para poder obtener un trabajo perfecto en la apariencia respecta.

También existen otros tipos de cimbras como son: cimbras especiales comprendidas dentro este grupo aquellas cimbras que se ejecutan para colar formas que se aportan por completo tales como arcos, bóvedas etc.; cimbras rodantes cuando tiene que efectuarse en una obra el colado de una serie de elementos iguales, tanto como en sección como en longitudinales; cimbras deslizantes con la cual, para todo el perímetro de un elemento, se efectúa el colado continuo sostenido y elevando la cimbra por medios gatos de tornillos ya sea manuales o eléctricos los cuales se apoyan barras de acero duro empotrados en la cimentación y queda unidos en la cimbra por medio de puentes convenientemente colados; entre otros. Otro factor muy importante es el tiempo que se debe mantener la cimbra para obtener la resistencia del concreto y conseguir su durabilidad.

I.1.5.- ADITIVOS.

Los aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos y/o orgánicos) que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Sus características y propiedades principales son su influencia, que se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la docilidad y compactación necesaria.

Los aditivos nos sirven para tener una mejor trabajabilidad del concreto, y para regular el proceso de fraguado del hormigón. Son útiles para concretos secos, concretos bombeados, concretos vistos, y concretos fuertemente armados; no se deben utilizar en concretos blandos y concretos fluidos.

I.1.5.1.- TIPOS O CLASES DE ADITIVOS.

Existen tres tipos o clases de aditivos: **Plastificantes**, **Fluidificantes** y **Superfluidificantes**.

Plastificantes.- Estos son los sólidos disueltos en agua, sus propiedades permiten más trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento y disminuye la segregación cuando el transporte es muy largo o cuando hay grandes masas de concreto. Estos pueden ser usados en concretos inyectados, proyectados, o pretensados.

Fluidificantes.- Estos son formulaciones orgánicas líquidas, al igual que la anterior sus propiedades permiten mas trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento. Estos pueden ser utilizados en concretos bombeados, largos transportes., hormigones proyectados con armaduras. Se clasifican a los aditivos fluidificantes en:

- 1ª Generación - 70% Rendimiento cementicio.
- 2ª Generación - 75% Rendimiento cementicio.
- 3ª Generación - 100% Rendimiento cementicio.

Superfluidificantes.- Estos son formulaciones orgánicas líquidas, estos pertenecen a la tercera generación. Se usa como modificadores de fraguado, es decir, retardador o acelerador de fraguado - la modificación de solubilidad. Existen diferentes tipos de aditivos superfluidificantes:

- **Aceleradores de fraguado.**- Cloruros [Cl_2Ca (más eficaz), $ClNa$, $ClAl$, $ClFe$], Hidróxidos, Carbonatos., Silicatos.
- **Retardadores de fraguado.**- Existen dos tipos: Inorgánicos (ZnO , PbO , PO_4H_3 , BO_4H_3); y Orgánicos (ácido orgánico, glicerina). Estos dependen del tipo, cantidad de cemento, dosificación y la relación entre el agua y el cemento. Consiste en reacciones químicas en las que aparece una película alrededor del cemento, impidiendo que se hidrate.
- **Aceleradores de endurecimiento.**- Son los que modifican la resistencia mecánica, este a su vez puede producir efectos secundarios: Bajan la resistencia final y puede originar retracciones.
- **Modificadores contenido gases.**- Son los que facilitan la correcta distribución del aire ocluido.

I.1.5.2.- **OTROS ADITIVOS.**

También existen otros tipos de aditivos según sea su uso particular en la mezcla de concreto como son:

- **Colorantes.**- Pigmento que se le añade al cemento para modificar el color y está formado por óxidos metálicos. Deben cumplir con tener un alto poder de coloración, gran facilidad para mezclarse con el cemento, que sea insoluble en el agua, que sean estables a la luz y al ambiente, además de a los ambientes agresivos, que no alteren el proceso de fraguado del concreto.
- **Anticongelantes.**- Es cuando el hormigón está a bajas temperaturas y se utilizará hasta una temperatura de $-14^{\circ}C$.
- **Impermeabilizantes.**- Son repelentes al agua y actúan cerrando el sistema poroso del concreto mediante unas sustancias químicas en el fraguado del concreto.

I.1.6.- RESISTENCIA DE DISEÑO.

La resistencia a la compresión es una de las pruebas más importantes para verificar la calidad del concreto. Se utiliza en el diseño de estructuras.

Las pruebas se proyectan a 28 Días. La resistencia a la compresión es afectada fuertemente por la relación agua/cemento y la edad o la magnitud de la hidratación.

I.2.- EL ACERO.

El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, es decir, hierro combinado con un 1% aproximadamente de carbono, y que hecho ascua y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad. Hay aceros especiales que contienen además, en pequeñísima proporción, cromo, níquel, titanio, wolframio o vanadio. Se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro.

Este resiste muy poco la deformación plástica, por estar constituida solo con cristales de ferrita; cuando se alea con carbono, se forman estructuras cristalinas diferentes, que permiten un gran incremento de su resistencia. Ésta cualidad del acero y la abundancia de hierro le colocan en un lugar preeminente, constituyendo el material básico del S.X.X. Un 92% de todo el acero es simple acero al carbono; el resto es acero aleado: aleaciones de hierro con carbono y otros elementos tales como magnesio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

I.2.1.- ACERO DE REFUERZO.

El uso del acero de refuerzo ordinario es común en los elementos y las estructuras de concreto. Debido a sus propiedades favorables en elementos de estructuras de concreto este acero es muy útil para:

- Aumentar ductilidad;
- Aumentar resistencia;
- Resistir esfuerzos de tensión y compresión;
- Resistir cortante;
- Resistir torsión;
- Restringir agrietamiento;
- Confinar el concreto; y
- Reducir deformaciones a largo plazo.

El acero de refuerzo suplementario convencional (varillas de acero) se usa comúnmente en la región de altos esfuerzos locales de compresión en los anclajes de vigas postensadas. Tanto para miembros postensados como pretensados es usual proveerlos de varillas de acero longitudinal para controlar las grietas de contracción y temperatura. Finalmente, a menudo es conveniente incrementar la resistencia a la flexión de vigas presforzadas empleando varillas de refuerzo longitudinales suplementarias. Las varillas se pueden conseguir en diámetros nominales que van desde 3/8 pulg. hasta 1^{3/8} pulg., con incrementos de 1/8 de pulg. y también en dos tamaños más grandes de más o menos 1^{3/4} y 2^{1/4} pulg de diámetro.

En México se cuenta con una variedad relativamente grande de aceros de refuerzo. Las barras laminadas en caliente pueden obtenerse con límites de fluencia desde 2,300 hasta 4,200 kg/cm². El acero trabajado en frío alcanza límites de fluencia de 4,000 a 6,000 kg/cm². Cabe comentar que en los países escandinavos se usan varillas con límites de fluencia hasta de 9,000 kg/cm². La tendencia actual es hacia el uso de varillas del grado 60.

VARILLA No.	DIÁMETRO		PERÍMETRO MM.	AREA CM ²	PESO KG/M.
	MM.	PULG.			
2	6.4	(1/4)	19.9	0.32	0.248
2.5	7.9	(5/16)	24.8	0.49	0.388
3	9.5	(3/8)	29.8	0.71	0.559
4	12.7	(1/2)	39.9	1.27	0.993
5	15.9	(5/8)	50.0	1.98	1.552
6	19.0	(3/4)	60.0	2.85	2.235
7	22.2	(7/8)	69.7	3.88	3.042
8	25.4	(1)	79.8	5.07	3.973
9	28.6	(1 1/8)	89.9	6.41	5.028
10	31.8	(1 1/4)	99.9	7.92	6.207
12	38.1	(1 1/2)	119.7	11.40	8.938

TABLA I.2. - Dimensiones, Perímetros, Áreas y Pesos de Acero de Refuerzo.

I.2.2. - GRADOS DE ACERO.

Acero de refuerzo de grados de 40 y 60 ksi (2800 y 4200 kg/cm²) son usados en la construcción de trabes cajón de concreto. Aún cuando el refuerzo de grado 60 tiene mayor rendimiento y resistencia última que el de grado 40, el módulo de elasticidad del acero es el mismo y aumentar los esfuerzos de trabajo también aumenta el número total de grietas en el concreto.

A fin de superar este problema, los puentes generalmente tienen separaciones menores entre barras. El refuerzo de grado 60 no es tan dúctil como el de grado 40 y es más difícil de doblar o trabajar efectivamente debido a su baja ductilidad.

I.2.3. - ACERO DE PRESFUERZO.

El presfuerzo puede definirse en términos generales como el precargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general.

Una de las mejores definiciones del concreto con acero de presfuerzo es la del Comité de Concreto Presforzado del *American Concrete Institute (ACI)*, que dice: "**Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado**". El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia y calidad más alta que el de las estructuras no presforzadas. Las diferencias en el módulo de elasticidad, capacidad de deformación y resistencia deberán tomarse en cuenta en el diseño y las características de deterioro asumen una importancia crucial en el diseño.

En el acero de presfuerzo existen dos categorías: **pretensado** o **postensado**. Los miembros del concreto pretensado presforzado se producen restirando o tensando los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto.

En el caso de los miembros de concreto postensado, se esfuerzan los tendones después de que ha endurecido el concreto y de que se haya alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de los gatos contra el miembro de concreto mismo

Existen tres formas comunes en las cuales se emplea el acero como tendones en concreto presforzado: alambres redondos estirados en frío, torón y varillas de acero de aleación. Los alambres y los cables trenzados tienen una resistencia a la tensión de más o menos 17,600 kg/cm², en tanto que la resistencia de las varillas de aleación está entre los 10,200 y 11,250 kg/cm² dependiendo del grado. En México casi no se usan las varillas de acero para el presfuerzo.

Alambres Redondos.- Se usan en la construcción de concreto presforzado postensado y ocasionalmente en obras pretensadas se fabrican en forma tal que cumplan con los requisitos de la especificación ASTM A-421, "**Alambres sin Revestimiento, Relevados de Esfuerzo, para Concreto Presforzado**".

Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta el tamaño requerido.

En el proceso de esta operación de estirado, se ejecuta trabajo en frío sobre el acero, lo cual modifica grandemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. Los alambres se consiguen en cuatro diámetros tal como se muestra en la tabla siguiente:

Diámetro nominal (mm)	Mínima resistencia de Tensión (N/mm ²)		Mínimo Esfuerzo para una Elongación de 1% (N/mm ²)	
	Tipo BA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA
4.88	*	1725	*	1380
4.98	1655	1725	1325	1380
6.35	1655	1655	1325	1325
7.01	*	1622	*	1295

TABLA I.3. - Diámetros de los alambres, Resistencia y Esfuerzo para Elongación.

Varillas de acero de aleación. - En el caso de varillas de aleación de acero, la alta resistencia que se necesita se obtiene mediante la introducción de ciertos elementos de ligazón, principalmente manganeso, silicón y cromo durante la fabricación del acero. Las varillas se fabrican de manera que cumplan con los requisitos de la Especificación ASTM A-277, "**Varillas de Acero de Alta Resistencia, Sin Revestimientos, Para Concreto Presforzado**".

Las varillas de acero de aleación se consiguen en diámetros que varían de 12.7 mm hasta 34.93 mm de diámetro y en dos grados, el grado 45 y el 160, teniendo resistencias últimas mínimas de 1000 y 1100 N/mm², respectivamente, tal como se muestra en la tabla:

Diámetro Nominal (mm)	Área Nominal de la Varilla (mm ²)	Grados	Resistencia a la Ruptura (kN)	Mínima Carga para una Elongación de 0.7% (kN)
		Grado 145		
12.70	127		125	111
15.88	198		200	178
19.05	285		285	258
22.23	388		387	347
25.40	507		507	454
28.58	642		641	574
31.75	792		792	712
34.93	958		957	859
		Grado 160		
12.70	127		138	120
15.88	198		218	191
19.05	285		316	276
22.23	388		427	374
25.40	507		561	490
28.58	642		708	619
31.75	792		872	765
34.93	958		1059	926

TABLA I.4. - Grados de Varillas de Acero de aleación.

Cable trenzado. - se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensada. El cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación ASTM A-416, "Cable Trenzado, Sin Revestimiento, de Siete Alambres, Relevado de Esfuerzos, Para Concreto Presforzado".

Es fabricado con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Los cables pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 6.35 mm hasta 15.24 mm de diámetro, se fabrican en dos grados: el grado 250 y 270 los cuales tienen una resistencia última mínima de 1720 y 1860 N/mm² respectivamente, estando estas basadas en el área nominal del cable. A continuación se muestran en una tabla las propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento que se deben cumplir:

Diámetro Nominal (mm)	Resistencia a la Ruptura (kN)	Grados	Área Nominal del Cable (mm ²)	Carga mínima para una Elongación de 1% (kN)
		Grado 250		
6.35	40.0		23.22	34.0
7.94	64.5		37.42	54.7
9.53	89.0		51.61	75.6
11.11	120.1		69.68	102.3
12.70	160.1		92.90	136.2
15.24	240.2		139.35	204.2
		Grado 270		
9.53	102.3		54.84	87.0
11.11	137.9		74.19	117.2
12.70	183.7		98.71	156.1
15.24	260.7		140.00	221.5

Tabla I.5.- Propiedades de Cables de Siete Alambres Sin Revestimiento.

Aun así, el acero que se emplea en estructuras presforzadas de concreto es de resistencia francamente superior a la de los aceros descritos anteriormente. Su resistencia ultima varia entre 14,000 y 22,000 kg/cm² y su limite de fluencia, definido por el esfuerzo correspondiente a una deformación permanente de 0.002, entre 12,000 y 19,000 kg/cm².

I.2.3.1.- PRETENSADO.

Los tendones, generalmente son de cable torcido con varios torones de varios alambres cada uno, se restiran o se tensan entre apoyos. Se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos. Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado.

A menudo se usa concreto de alta resistencia a corto tiempo, a la vez que es curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento. Después de haberse logrado la resistencia requerida, se libera la presión de los gatos. Los torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia. En esta forma la fuerza de presfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga.

Con frecuencia se usan uno, dos o tres depresores intermedios del cable para obtener el perfil deseado. Estos dispositivos de sujeción quedan embebidos en el elemento al que se le aplica el presfuerzo.

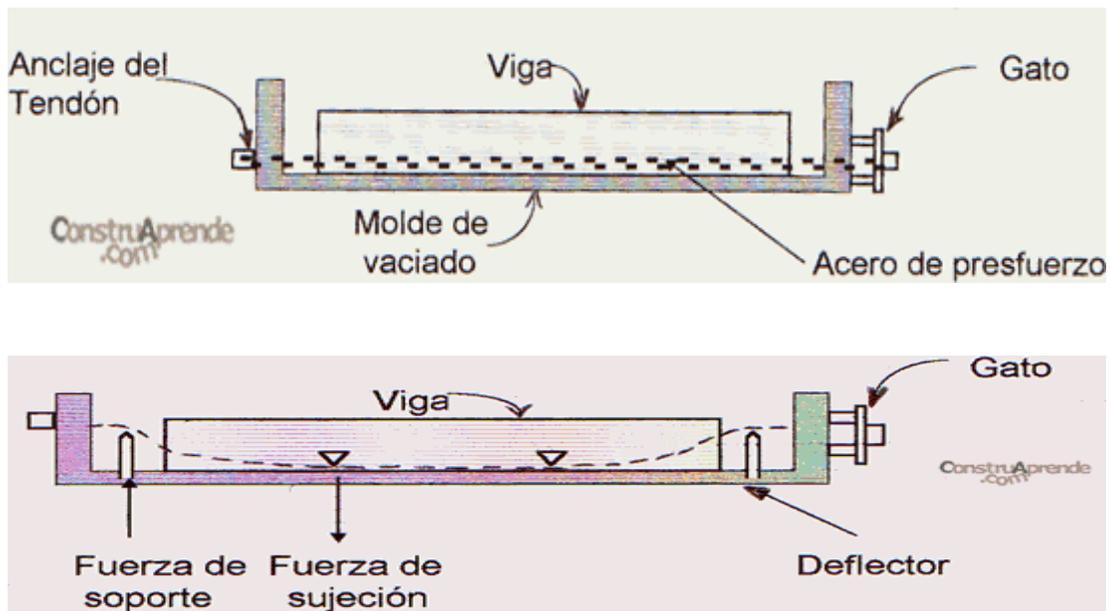


DIAGRAMA I.1.- Métodos de Pretensado.

I.2.3.2.- POSTENSADO.

Cuando se hace el presforzado por postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado.

La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. Los tendones se tensan normalmente todos a la vez ó bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto.

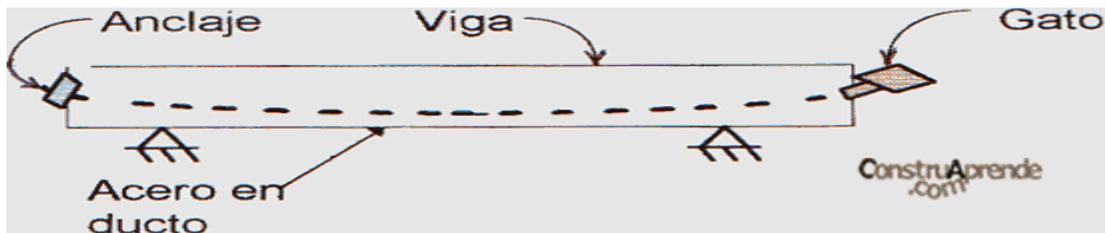


DIAGRAMA I.2.- Método del Postensado.

El uso de acero de alta resistencia para el presforzado es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto.

Las varillas de refuerzo comunes usadas en estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción del presforzado. Se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario, y para otros fines.

I.2.4.- PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL.

Las propiedades que son ventajosas del acero como material estructural son las siguientes:

Alta resistencia. - La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.

Uniformidad. - Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

Durabilidad. - Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.

Ductilidad. - La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.

Tenacidad. - Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

Otras ventajas importantes del acero estructural son:

- Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.

- Rapidez de montaje.
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Posible rehúso después de desmontar una estructura.
- Posibilidad de venderlo como "chatarra".

Las desventajas del acero como material estructural son:

Costo de mantenimiento. - La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

Costo de la protección contra el fuego. - Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.

Susceptibilidad al pandeo. - Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indico previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

Sin embargo, el acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles **I**, **T** y **L** tienen esta propiedad.

I.3. - RELACION ENTRE EL CONCRETO Y EL ACERO.

El concreto es un elemento que trabaja muy bien a compresión y su uso es muy común para esta función. Por otro lado el acero es un elemento que resiste muy bien la tensión. La combinación de esas resistencias, a la compresión y a la tensión, es muy útil en las estructuras de concreto reforzado en donde el concreto se combina con el acero para lograr una estructura aun mas resistente.

El acero trabaja efectivamente con el concreto para dar más resistencia a la estructura de concreto. El buen trabajo en conjunto del acero y el concreto es se aumenta por un fenómeno que se le llama **adherencia**. Es importante que entre el acero de refuerzo exista adherencia suficientemente resistente entre los dos materiales. Esta adherencia proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas. La adherencia es una característica importante en la relación del concreto y el acero porque esta aumenta la habilidad de resistir a los esfuerzos de compresión y de tensión respectivamente; y en su ausencia el trabajo que realiza el concreto seria independiente de lo del acero y vice versa.

Para su elaboración, primero se arma el acero según las especificaciones del proyecto para el elemento de concreto a elaborar y se coloca dentro de la cimbra en la posición correcta y después sigue el vaciado del concreto, también elaborado según las especificaciones establecidas, para llenar los huecos entre las varillas de acero. Después se le da un vibrado para eliminar el aire en la mezcla y para acomodar el concreto.

Después del curado del concreto, ambos materiales forman un elemento estructural resistente a que se le llama estructura de concreto reforzado.

Para lograr una estructura resistente y bien hecha, hay que seguir las indicaciones y las recomendaciones del reglamento que rige en la zona o región para cumplir en todos los aspectos con la seguridad de la estructura.

I.4.- CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

Se debe trabajar con una calidad integral, para un buen funcionamiento y mínima conservación, ya que con ello se pueden alcanzar los grandes objetivos fijados en los planes de desarrollo y que se traducen, en última instancia, en elevar la calidad de vida de los habitantes. El no llevar un control de calidad, trae como consecuencia cuellos de botella locales o regionales, mismos que acarrearán problemas más o menos importantes, pues entorpecen el flujo de las economías. La calidad implica el estricto cumplimiento de las acciones bajo los parámetros clásicos de control de obras que todos conocemos: tiempo-costo-calidad, enmarcados dentro del rubro de seguridad. El concepto anterior no debe limitarse, por lo generalizado de asociar la calidad con laboratorios, únicamente al cumplimiento de normas y especificaciones, sino en su más amplia acepción del concepto para el cumplimiento del contrato, dentro de lo siguiente:

1.- **Tiempo.**- Suministro total de recursos oportunamente, cumplimiento de plazos, verificación de rendimientos, uso de programas de ruta crítica, etc.

2.- **Costo.**- Análisis del mercado local, condiciones impositivas, entorno económico, vigilancia de la aplicación de los procedimientos de construcción, verificando rendimientos y costo en general de la obra. Cumplimiento del proyecto (materiales, líneas, etc.) vigilando oportunamente que dichos proyectos contemplen el volumen total de la obra, y por último, la aplicación de los precios unitarios pactados.

3.- **Calidad.**- Cumplimiento de todas las especificaciones del proyecto en cuanto a características o normas (ACI, ASTM, NOM. etc.) haciendo uso, para el control de las mismas, de todas las pruebas establecidas.

Los dos primeros parámetros (costo y tiempo), en ocasiones, por necesidades de la obra, pueden ser susceptibles de modificarse o variar, sin embargo debemos pugnar porque esto no ocurra; pero este por ningún motivo debe ser el caso de la calidad, debido a las especificaciones existentes, por lo que siempre debemos ver que la calidad no se cambie para el mal de la obra.

El concepto de calidad total o calidad integral se requiere para que las obras cumplan óptimamente para el fin que fueron diseñadas dentro de los parámetros de servicio y funcionalidad. La calidad total o calidad integral debe servir para la prevención y no la corrección.

Con el fin de cumplir con el proyecto, y este tenga una calidad total, se utilizan, por lo general, tres tipos de especificaciones para un proyecto: de proyecto, de materiales y de diseño.

Las especificaciones de proyecto, junto con los planos, suministra a los contratistas información completa referente a los requisitos precisos establecidos por el propietario y el ingeniero para la estructura terminada.

Las especificaciones de materiales son establecidas principalmente de copias de la Sociedad Americana para el Ensaye de Materiales (*American Society for Testing and Materials, ASTM*), y varias oficinas locales o estatales.

Las especificaciones de diseño son preparadas por asociaciones gubernamentales y profesionales que dictan el criterio mínimo aceptable para diseño. ACI, RCDF, ASTM, NOM, etc.

Aunque una obra se apegue a los estándares del proyecto en cuanto a la resistencia, compacidad, relación a/c, curado y recubrimientos, y estos sean logrados satisfactoriamente; solo se garantiza que la velocidad de degradación no será muy rápida, pero en ningún caso que la durabilidad del concreto armado no será indefinida.

I.4.1.- SOLICITACIONES PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

Las estructuras de concreto deben cumplirse con algunas solicitudes fundamentales para que sean adecuadamente funcionales como estructuras. Estas solicitudes se describen a continuación.

1.4.1.1.- SOLICITACIONES GEOMÉTRICAS.

La geometría de los elementos de las estructuras de concreto es aquella característica que les da forma a las estructuras. La geometría consiste en dar forma a las estructuras así como las dimensiones apropiadas para su construcción. Se lleva a cabo previamente los procesos de conceptualización, estructuración, idealización, hipótesis de comportamiento, análisis estructural y el diseño estructural.

Consta de espaciamientos entre elementos, orientación y tipo; el ancho y la longitud del elemento; el drenaje solo y cuando se necesita; y las elevaciones de los elementos de concreto.

I.4.1.2.- SOLICITACIÓN DE CARGAS.

Las estructuras se proyectarán considerando las siguientes cargas y fuerzas cuando existan:

- Cargas muertas;
- Cargas vivas;
- Impacto o efecto dinámico de la carga viva;
- Cargas por viento; y
- Otras fuerzas, cuando existan, tales como:
 - Fuerzas longitudinales
 - Fuerza centrífuga
 - Fuerzas por cambios de temperatura
 - Empujes de tierra
 - Subpresión
 - Esfuerzos por contracción del concreto

- Esfuerzos de erección
- Presión de la corriente de agua
- Esfuerzos por sismo

Los miembros de la estructura de concreto se proyectaran tomando en cuenta los esfuerzos permisibles y las limitaciones del material empleado de acuerdo con las especificaciones AASHTO. En la hoja para cálculo de esfuerzos se incluirá un diagrama o notas sobre las cargas consideradas y por separado se indicaran los esfuerzos debidos a las diferentes cargas. Cuando las condiciones del proyecto así lo requieran, se registrara el orden sucesivo de los colados de concreto en los planos o bien en las especificaciones complementarias.

- **CARGAS MUERTAS.**- Son aquellas que se mantienen constante magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de las cargas muertas es el peso propio de la estructura. Es que puede calcularse con buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material. Para edificios, por lo general se toman como cargas muertas, rellenos, acabados de entresijos y cielos rasos, y se deja un margen para tener en cuenta cargas suspendidas como conductos, aparatos y accesorios complementarios, etc. Por lo regular al calcularse la carga muerta se consideran los siguientes pesos volumétricos:

Hierro fundido	7,800 kg/m ³
Aleaciones de aluminio	2,800 kg/m ³
Madera (Tratada o sin tratar)	800 kg/m ³
Acero estructural.....	7,850 kg/m ³
Concreto simple	2,300 kg/m ³
Concreto reforzado	2,400 kg/m ³
Arena, tierra o grava sueltas	1,600 kg/m ³
Mampostería	2,720 kg/m ³

TABLA I.6. - Pesos Volumétricos de algunos materiales.

- **CARGAS VIVAS**. - Consta principalmente de cargas de ocupación en estructuras de concreto, estas pueden estar aplicadas total o parcialmente o no estar presentes y también es posible cambiarlas de ubicación. Su magnitud y distribución son inciertas en determinado momento, y además sus máximas intensidades a lo largo de la vida útil de la estructura no se conocen con precisión. Las cargas mínimas vivas para las cuales deben diseñarse los elementos estructurales y cubiertas de una estructura en general se especifican en el código de construcción aplicable en un lugar del proyecto.

DESTINO DE PISO O CUBIERTA	CARGA VIVA (kg/m ²)
a) Habitación (casa-habitación), departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares.	170
b) Oficinas, despachos y laboratorios.	250
c) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre).	350
d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales.	450
e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salones de juego y similares).	350
f) Comercios, fábricas y bodegas.	400 - 800
g) Cubiertas y azoteas con pendientes <5%.	100
h) Cubiertas y azoteas con pendientes del 5%.	40
i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
j) Garaje y estacionamiento (solo para automóviles).	250

TABLA I.7. - Cargas Vivas según El Reglamento de Construcción del D.F.

- **FACTORES DE CARGA.**- Se calcula una sección de concreto por el método de diseño plástico se hace necesario recurrir a los factores de carga. Factor de carga número por el cual hay que multiplicar el valor de la carga real o de servicio, para determinar la carga última que puede resistir un miembro en la rotura. Generalmente en una estructura, la carga muerta puede determinarse con bastante exactitud. No así la carga viva, cuyos valores solo se puede suponer el proyectista, pero cuya variación durante la vida útil de la estructura resulta en muchos aspectos imprevisibles. Por esas razones parece lógico que el coeficiente o factores de carga impuestos a la carga muerta sea menor que el coeficiente de la carga viva. Para estructuras que están en lugares y de tales proporciones que los efectos de vientos y sismos puedan despreciarse la capacidad de diseño esta dado por: **1.4** y **1.7** que son factores de carga.

I.5. - MANTENIMIENTO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

La infraestructura de un país y su desarrollo constituyen la plataforma más importante para su crecimiento económico. En este contexto la infraestructura que permite este desarrollo, se ha convertido en un elemento de gran trascendencia de integración nacional, al permitir la trayectoria de su población a lo largo del territorio nacional para hacer realidad la actividad económica. Un ejemplo valido en la actualidad, es el sistema carretero nacional que alcanza los 240,000 km. de longitud, de los que destacan por su importancia 46,000 km., que conforman la Red Federal Carretera.

El término mantenimiento de estructuras se puede definir como: "El conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una estructura se mantenga con las características funcionales, resistentes e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida", es decir, un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en las construcciones civiles. El mantenimiento de las estructuras de concreto es un trabajo muy importante que debe tomarse en cuenta para asegurar el cumplimiento de la función para la cual fueron construidas.

1.5.1.- PROCESOS DE DETERIORO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

En la actualidad, el concreto es el material de construcción más importante y utilizado con mayor frecuencia en obras civiles y edificaciones. La tecnología basada en la teoría y la experiencia de muchos años ha permitido determinar las propiedades de este material y las distintas exigencias que debemos considerar, tanto en su fabricación como en su posterior utilización. El concreto debe su excepcional importancia al acero con el que se puede combinar, dando lugar al concreto armado. Esta combinación permite realizar obras que no sería posible construir solamente de concreto. La resistencia del acero no disminuye con el tiempo, la del concreto tiende a aumentar. Por lo tanto, si son correctos sus cálculos dimensionamiento y se han tenido la supervisión adecuada en su diseño, fabricación, transporte, colocación y curado, la calidad podrá garantizarse por mucho tiempo. Esto es posible si en la concepción y ejecución del elemento no solo se han tenido en cuenta los esfuerzos que actuarán sobre el material, sino también los agentes que en el futuro pueden disgregar este material y afectar al mantenimiento de sus cualidades y resistencia.

Como casi siempre ocurre, estos agentes provocarán defectos que se presentan tarde o temprano. La presentación de ellos depende básicamente a las condiciones que están expuestas las estructuras de concreto. Los defectos, presentados cuando los esfuerzos continuos superan el límite de resistencia de la estructura, aparecen en la superficie de los elementos de la estructura como daños, pero también pueden presentarse en su interior, tras una superficie intacta. Las causas que pueden provocar defectos y daños en las estructuras de concreto pueden ser múltiples, pero pueden tipificarse y englobarse en cuatro grupos definidos:

- Por diseño.
- Por los materiales.
- Por la ejecución.
- Por el uso

Las fallas por diseño son comprendidas de las fallas por el proyecto y la falla por la interpretación del reglamento y constituyen un 43% aproximadamente convirtiéndolas en la mayor causa de fallas en estructuras de concreto.

Las fallas por materiales son provocadas por la baja calidad de materiales utilizados en la fabricación del concreto o la mala dosificación de materiales y constituye aproximadamente el 14% de las causas de fallas.

En la ejecución pueden presentarse fallas por poca supervisión, fallas por deficiencias en el proceso constructivo o la deficiente calidad de la mano de obra entre otras y estos constituyen un 32% aproximadamente.

Las fallas por el uso constituyen un 11% aproximadamente, y son causadas por la función indebida e indestinada que cumple la estructura debido al mal uso de la misma; por tanto, no cumple con los parámetros y las cargas con los que fue construida y estos provocan fallas en sus elementos.

De las fallas que presenta una estructura, aproximadamente el 45% se detectan durante la construcción; el 17% antes de cumplir el tiempo de garantía. Posteriormente del restante, el mayor porcentaje se presenta entre los siete y diez años. El deterioro del concreto pueden tener origen congénito o adquirido en el tiempo, ocasionando riesgo de una acción o causa de daño desde la misma etapa de proyecto o diseño al concebir mal una estructura, durante la ejecución por deficiente planeamiento y organización de esta labor, o durante el periodo de servicio al estar expuestas en mayor o menor grado al ataque de un medio ambiente que puede llegar a ser muy agresivo.

El deterioro congénito da referencia a una estructura que nace con deficiencias de concepción o de diseño o deficiencias durante la ejecución o construcción de la misma. Los síntomas o consecuencias pueden manifestarse inmediatamente o durante el periodo de servicio, actúan directa o indirecta sobre la estructura dependiendo del tipo de error, pero siendo numerosas veces la mayor causante de pérdidas totales.

Los deterioros adquiridos se manifiestan con el tiempo por acciones o causas del medio ambiente, es decir, el intemperismo, presentando síntomas inherentes al tipo de acción y agresor que los ha causado.



Se le llama degradación en elementos de concreto estructurales o no, al daño prematuro que sufren causado por agentes mecánicos, físicos y químicos.



FIGURA I.1.- Causas del deterioro en el concreto.

Algunos de estos agentes provienen del medio ambiente y propiamente se llamarían agentes intemperizantes. Pero otros se generan por defectos o características con las que resulto elaborado un concreto específico. Por lo tanto, la degradación disminuye la resistencia ultima del concreto y también su modulo dinámico de elasticidad.

En cada caso específico real, predomina alguno de dichos mecanismos, pero casi siempre va acompañado por varios de los otros. A continuación se exponen cuatro de los más importantes de ellos.

TIPO 1. - Se presenta cuando el agua disuelve el gel de la pasta de cemento y lo arrastra hacia afuera de los agregados del mortero o concreto. Esta degradación es continua y progresiva y puede llegar hasta la destrucción completa del concreto.

TIPO 2. - Se presenta cuando el medio es agresivo por la presencia de ácidos o sales de magnesio deteriorando el concreto con fisuras y grietas. Acontece este tipo de degradación cuando se dan simultáneamente las tres siguientes condiciones:

- Presencia de humedad dentro del concreto, de origen interno o externo.
- condición debida a la composición química de los agregados del concreto.
- condición del cemento, su contenido de álcalis.

TIPO 3. - Esta degradación es el tipo mas frecuente en las obras civiles porque la causan agentes naturales muy comunes. Consisten en dañinos cambios volumétricos que tienden a fisurar la pasta del cemento en el concreto como son el cambio de temperatura, hielo y deshielo, etc.

TIPO 4. - Resulta de la abrasión mecánica contra las superficies de concreto que queden en contacto con una veloz corriente de agua o aire. Se le llama "desgaste por erosión hidráulica" cuando es causado por el agua a grandes velocidades y que además arrastra partículas sólidas en suspensión. también cuando las partículas son arrastradas por corrientes de aire, se presentan efectos similares, pero a este efecto se le llama "erosión eólica".

además de los tipos anteriores se encuentran estructuras de concreto expuestas a un medio muy agresivo. Un notable ejemplo es el de las obras marítimas que están en contacto con el agua del mar. En estas obras se observan cuatro zonas con diferentes condiciones de exposición:

- Zona permanentemente sumergida.
- Zona que casi nunca se moja por estar muy arriba del nivel más alto del agua.
- El interior de la masa del concreto, a donde el agua solo llega por infiltración.
- La franja que alternativamente se moja y se seca por la variación en el nivel del mar.

I.5.1.1.- FORMAS DE CORROSIÓN.

Para evaluar los daños producidos por la corrosión es muy conveniente clasificarlos según la forma como se producen:

Cuando la superficie del metal se corroe en una forma casi uniforme se dice que la corrosión es de tipo "superficial". Es la forma más benigna o menos peligrosa pues el material se va gastando gradualmente extendiéndose en forma homogénea sobre toda la superficie del acero y su penetración media es igual en todos los puntos. Un ataque de este tipo permite evaluar fácilmente y con bastante exactitud la vida de servicio de los materiales expuestos a él.

A veces el ataque se profundiza más en algunas partes pero sin dejar de presentar el carácter de ataque general constituyendo un caso intermedio entre corrosión uniforme y corrosión localizada, en este caso se dice que se trata de una corrosión "en placas".

Existe otra forma de corrosión, conocida como corrosión "por picadura" que se presenta cuando un elemento de acero de refuerzo que ha sido pasivado se expone a un medio agresivo. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficie del acero de refuerzo pasivos y se propaga hacia el interior del metal formando en ocasiones túneles microscópicos.

La corrosión se puede presentar de varias formas que difieren en apariencia.

Corrosión general. - La corrosión general es la forma más común que se puede encontrar y la más importante en términos de pérdidas económicas. Se caracteriza por un ataque más o menos uniforme en toda la superficie expuesta con solamente variaciones mínimas en la profundidad del daño. En las estructuras se pueden usar recubrimientos especiales para minimizar el ataque de la corrosión.

Corrosión Galvánica. - Se puede producir un daño severo por corrosión cuando dos o más metales distintos se acoplan eléctricamente. Esto se conoce como corrosión galvánica y resulta por la existencia de una diferencia de potencial entre los metales acoplados que causa un flujo de corriente entre ellos. El acero de refuerzo más activo padece una corrosión mas acelerada, mientras que la corrosión en los miembros menos activos se retarda o se elimina.

Corrosión por hendiduras. - La corrosión por hendiduras es un tipo que se presenta en espacios confinados o hendiduras que se forman cuando los componentes están en contacto estrecho. Para que se presente la corrosión por hendidura, la hendidura debe ser muy cerrada, con dimensiones menores a un milímetro. Aunque no se han definido los límites de la brecha, es conocido que este tipo de corrosión no se presenta en espacios más grandes. Para que se presente la corrosión por hendiduras no es necesario que las dos superficies de aproximación sean metálicas. También se ha reportado corrosión por hendiduras formadas por varios materiales no metálicos (polímeros, asfaltos, vidrio, neopreno) en contacto con superficies metálicas. El hecho de que esto pueda ocurrir es de una importancia especial en la aplicación y selección de materiales de juntas de dilatación, apoyos, etc.

Picaduras. - Las picaduras son una parte localizada de corrosión en la que el ataque esta confinado a muchas cavidades pequeñas en la superficie del acero. Las cavidades que se forman pueden variar en cantidad, tamaño y forma. Las picaduras pueden contribuir de manera importante a una falla general, en componentes sujetos a esfuerzos muy altos, dando como consecuencia la falla por corrosión bajo tensión. El picado se puede presentar en varios metales y aleaciones, pero los aceros inoxidables y las aleaciones de aluminio son susceptibles en especial a este tipo de degradación.

Agrietamiento por corrosión y esfuerzos. - El agrietamiento por corrosión y esfuerzos es una falla corrosiva en la que se forman las grietas de un componente bajo la acción combinada de esfuerzos mecánicos y un medio ambiente agresivo. Los esfuerzos y el medio ambiente agresivo se unen para ocasionar una falla súbita.

Por lo general los requisitos para que se presente la corrosión son dos:

1.- **Un metal o aleación susceptibles.** - Aceros de alta resistencia, latones y aceros inoxidable, y aleaciones comunes de aluminio, acero, hierro, etc.

2.- **Un medio ambiente específico.** - Por lo general un ambiente húmedo o salado, por lo general un ambiente lleno de iones específicos (iones de cloruro, iones de monio, etc.)

A pesar de estas condiciones del deterioro de los componentes y elementos de las estructuras de concreto, puede dividirse el conjunto de operaciones y trabajos de mantenimiento de estos en tres fases importantes: Inspección, Evaluación y Mantenimiento.

I.5.2. - INSPECCION DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

La inspección de estructuras de concreto queda definida como el conjunto de acciones técnicas, realizadas de acuerdo con un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de la estructura. Es necesario el establecimiento de una inspección sistemática de las mismas como única fuente para suministrar datos sobre la detección de los daños y la evaluación de su estado.

El concepto de seguridad va de la mano con las estructuras de concreto, por lo que la opinión pública no admite el más mínimo riesgo de colapso en estas estructuras, aunque éste en realidad siempre exista puesto que técnica y económicamente la seguridad absoluta es imposible.

Se pueden distinguir dos tipos de fallas principales: las que se denominan catastróficas, caracterizadas por ser completas y repentinas y, por tanto no anticipables por una inspección; y

las fallas por degradación, cuya característica principal es la de ser graduales y parciales y por lo tanto evitables mediante una inspección sistemática.

En cierta forma, unido al concepto de seguridad, aparece el de funcionalidad o mantenimiento de las condiciones de servicio. La estructura debe ser capaz, con un aceptable grado de probabilidad, de cumplir con las funciones para las que fue diseñado sin hacer gastos innecesarios.

Si el deterioro de las estructuras comienza desde el mismo momento en que son construidas, parece obvio que desde el mismo momento que son construidas, es necesario tener una vigilancia que asegure que se tomen a tiempo las medidas adecuadas para el mantenimiento de la estructura y así se logre la máxima economía. En este sentido hay que considerar no solo los costos directos de reparación de la obra, sino los indirectos que pueden originarse como consecuencia del retraso en reparar el daño, ya que la obra puede llegar a incumplir parcial o totalmente la función para la que fue creada.

Un programa de inspecciones sistemáticas tendrá que proporcionar los datos necesarios para la toma de decisiones sobre mantenimiento, reparación, refuerzo o sustitución de las estructuras. La organización de la inspección sistemática de las estructuras de concreto será función, en gran medida, del propio sistema de gobierno y administración de cada país por lo que no se entrará aquí a considerar los distintos sistemas adoptados por aquellos países que ya han implantado sistemas de inspecciones sistemáticas. La única forma de conocer la condición exacta y evaluar cada uno de los elementos de una estructura de concreto, es mediante un programa de inspecciones.

La inspección es una actividad compleja, que debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de ella dependen las recomendaciones para corregir los defectos, señalar restricciones de carga y para minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que pueden convertirse en daños severos si no son reparados a tiempo. Para obtener una información satisfactoria, las inspecciones deben llevarse a cabo con una cierta periodicidad.

En la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Publica, se hacen, varios tipos de inspección con distintas finalidades:

1.- Para trabajos de mantenimiento normal o rutinario.

2.- Para evaluación estructural.

3.- Por emergencias.

Para programar los trabajos de mantenimiento rutinario, se hacen en forma anual, al efectuarse en inventario de las necesidades de todos los conceptos de la estructura. Las inspecciones para evaluación estructural se recomienda realizarlas cada 2 o 4 años, sin embargo, las estructuras de condición dudosa o con deficiencias conocidas, se vigilan con mayor frecuencia. Por ser esta tipo de inspecciones de carácter minucioso y que requieren herramientas y equipo apropiados, por lo general se recurre a empresas especializadas. De las inspecciones que se requieren para la detección y evaluación de daños, existen tres tipos:

1.5.2.1.- INSPECCIÓN PRELIMINAR.

A realizarse, por lo menos, dos veces al año en cada estructura por parte de personal local no especializado, pero si, adiestrado específicamente para la identificación y evaluación de daños. La brigada de inspección debe estar formada, por lo menos, por tres técnicos y uno de ellos debe ser ingeniero. El personal contará con un equipo mínimo y la inspección será fundamentalmente visual. La época más recomendable para realizar esta inspección es al término de la temporada de lluvias, cuando la disminución de los niveles de agua facilita el acceso bajo las obras y cuando están frescos los indicios de socavación, principal causa de colapsos.

Al término de la inspección preliminar, el jefe de brigada procederá a dar una calificación del estado global de la obra. En virtud de la escasez de información y de la superficialidad de la inspección, no es posible adoptar un sistema cuantitativo sofisticado de calificación, por lo que en forma practica se recomienda que las obras se incluyan en alguno de estos tres grupos.

Grupo "A". - Estructuras que por la gravedad de sus daños requieren atención inmediata.

Grupo "B". - Estructuras que presentan daños que deben ser atendidos en un plazo mediano (6 años), porque su situación puede degradarse a la situación "A".

Grupo "C". - Estructuras que solo presentan daños menores que se pueden corregir con tareas de mantenimiento rutinario a cargo de las brigadas de mantenimiento.

1.5.2.2.- INSPECCIÓN PRINCIPAL.

A realizarse, por lo menos, una vez al año en aquellas estructuras que hayan sido clasificados en el grupo "A" durante la inspección preliminar. Esta segunda inspección la realizará personal especializado en estructuras de concreto, procedente de oficinas centrales o regionales, y tendrá por objetivo ratificar o rectificar la calificación preliminar. Para ello deberá contar con equipos que permitan el acceso a todas las partes de la estructura para observar detalladamente todos sus elementos, y que permita la medición cuantitativa de las respuestas de la estructura con precisión suficiente.

Con los resultados de la inspección principal, podrá calificarse cuantitativamente el estado de cada estructura de concreto mediante un procedimiento pendiente de definirse.

1.5.2.3.- INSPECCIÓN ESPECIAL.

Se realizará por personal altamente especializado en aquellas estructuras de concreto que vayan a ser rehabilitados y tendrá por objeto el recabar los datos necesarios para la realización del proyecto ejecutivo.

En las actividades a realizar, se incluyen, el levantamiento geométrico de la estructura, la determinación de la naturaleza y extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y mecanismo de propagación de los daños. Para esto, es necesario que se realicen con el apoyo de empresas especializadas en estructuras de concreto.

I.5.3.- EVALUACION DE LAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.

La evaluación de estructuras de concreto es un proceso surgido de la inspección de las estructuras de concreto y con los resultados obtenidos en la etapa de la inspección. Se basa en las mismas técnicas y procedimientos para la calificación de una estructura de concreto. Su ejecución se lleva a cabo por las instituciones de vialidad, edificaciones, obras hidráulicas y sanitarias, y eléctricas cumpliendo con programas de mantenimiento o después de la ocurrencia de un evento.

Sus objetivos fundamentales son los siguientes:

- 1.- Garantizar que el mantenimiento de las estructuras se lleve a cabo de una manera optima.
- 2.- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
- 3.- Realizar la optimización de los presupuestos anuales y ejecutar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un periodo determinado.
- 4.- Optimizar los criterios de evaluación para que los proyectos de reparación de las estructuras sean lo mas próspero posible.

La evaluación de las obras de estructuras se divide en Primaria, Detallada o Secundaria y Proyecto de Rehabilitación.

I.5.3.1.- LA EVALUACIÓN PRIMARIA.

Esta compuesta por un uniforme cualitativo de la obra, donde se realiza una evaluación diseñada por el consultor siguiendo las normativas nacionales COVENIN o internacionales tipo AASHTO, ACI, ASTM o ATC correspondientes al tipo de obra.

La planilla de la evaluación primaria debe contemplar las condiciones normales de la obra al momento de la evaluación, materiales, componentes, daños, estado de mantenimiento, operatividad, para obras esenciales se deben tener otras especificaciones para evaluación preventiva.

Esta evaluación primaria permita determinar el estado real de las obras dentro de sus condiciones locales, ambientales, de carga, para así determinar un Índice de Vulnerabilidad de la estructura para sus condiciones actuales de servicio, que reúna el carácter estático de los daños si existen y el aspecto dinámico de los factores externos actuantes. Es importante recordar que no existen obras aisladas sino en relación dinámica con otros elementos de un ambiente condicionante.

Normalmente los métodos de evaluación son del tipo cualitativo (**cantidad del deterioro**) y cuantitativo (**gravedad del deterioro**) que permiten de una manera clara, simple y ordenada encarar el problema de evaluar una obra en su condición de uso por simple inspección ocular, ayudado con la instrumentación necesaria, generar tres índices que interpretan el estado de deterioro de la estructura en interrelación con el ambiente condicionante.

GERENCIA DE SISTEMAS DE GARANTÍA DE CONTROL					
PLANILLA DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES EXISTENTES					
REVISIÓN PARA CARGAS VERTICALES					
OBRA					FECHA
DIRECCIÓN					
ENTIDAD FEDERAL			CIUDAD		MUNICIPIO
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			USO		PISOS
TIPIFICACIÓN ESTRUCTURAL					
Número	Elemento	Características			
1	Fundaciones				
2	Columnas				
3	Vigas				
4	Losas				
5	Paredes				
6	Muros				
Modelo a Analizar					
Sobrecargas					
Accesos	Peatonal				
	Vehicular				
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES					
Número	Elemento	Características			
1	Tabiques				
2	Frisos				
3	Acabados				
4	Instalaciones				
5	Equipos				
6	Otros				
DISPONIBILIDAD DE PLANOS					
Arquitectonicos					
Estructurales					
Instalaciones					
ESQUEMA DE LA EDIFICACIÓN					

Formato I.1: Planilla para la Evaluación de Edificios para Revisión de Cargas Verticales.

GERENCIA DE SISTEMAS DE GARANTÍA DE CONTROL					
PLANILLA DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES EXISTENTES					
REVISIÓN BAJO ACCIONES SÍSMICAS					
OBRA					FECHA
DIRECCIÓN					
ENTIDAD FEDERAL			CIUDAD	MUNICIPIO	
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			USO	PISOS	
TIPIFICACIÓN ESTRUCTURAL					
ASPECTOS	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE		PESO	VULNERABILIDAD PARCIAL
		VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD ASIGNADA		
EDAD	ANTES DE 1967	0,7 - 1,0		0,35	
	1967 A 1982	0,4 - 0,7			
	DESPUES DE 1982	0,0 - 0,4			
PISOS	UNO (1)	0,0 - 0,3		0,25	
	DOS (2)	0,3 - 0,5			
	MAS	0,5 - 1,0			
EDIFICIOS CERCANOS	PELIGROSO	0,5 - 1,0		1,00	
	NO PELIGROSO	0,0 - 0,5			
MANTENIMIENTO	ACEPTABLE	0,0 - 0,3		0,50	
	REGULAR	0,3 - 0,6			
	DETERIORADO	0,6 - 1,0			
FUNDACIONES	CON VIGAS	0,0 - 0,3		0,50	
	SIN VIGAS	0,3 - 1,0			
DENSIDAD DE PAREDES	NOMAL	0,0 - 0,3		0,50	
	MEDIANO	0,3 - 0,6			
	BAJO	0,6 - 1,0			
UBICACIÓN DE LAS PAREDES	SIMETRICA	0,0 - 0,1		1,00	
	INTERMEDIA	0,1 - 0,6			
	ASIMETRICA	0,6 - 1,0			
DETALLES CONSTRUCTIVOS	EJES ESVIADOS	0,0 - 1,0		1,00	
	SOPORTE INADECUADO	0,0 - 1,0			
	MALAS CONECCIONES	0,0 - 1,0			
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	MUROS LIVIANOS	0,0 - 1,0		0,25	
	BALCONES, JARDINERAS	0,0 - 1,0		0,25	
	ELEMENTOS DE VDRIO	0,0 - 1,0		0,25	
DIAFRAGMA	RIGIDO	0,0 - 1,0		0,50	
	INTERMEDIO	0,1 - 0,5			
	FLEXIBLE	0,5 - 1,0			
SISTEMA ESTRUCTURAL	BUENA ESTRUCT.	0,0 - 0,2		1,00	
	MEDIANA ESTRUCT.	0,2 - 0,4			
	MALA ESTRUCT.	0,4 - 1,0			
MASAS Y RIGIDECES	BALANCEADO	0,0 - 0,2		1,00	
	INTERMEDIO	0,2 - 0,5			
	DESBALANCEADO	0,5 - 1,0			
IRREGULARIDADES	PISO BLANDO	0,0 - 1,0		1,00	
	COLUMNA CORTA	0,0 - 1,0		1,00	
	DIAFRAGMA DISCONTINUO	0,0 - 1,0		1,00	
	ESCALERAS ASIMETRICA	0,0 - 1,0		1,00	
DAÑOS PREVIOS	VIGAS, COLUMNAS	0,0 - 1,0		1,00	
	PAREDES DE CARGA	0,0 - 1,0		1,00	
	LOSAS	0,0 - 1,0		1,00	
	MURO DE CONTENCIÓN	0,0 - 1,0		1,00	
INDICE DE DAÑOS = SUMATORIA VULNERABILIDAD/ 10					

Formato I.2: Planilla para la Evaluación de Edificios Existentes bajo Acciones Sísmicas.

Estos tres índices de interpretación son los siguientes:

Índice de Daños (ID). - Es el daño existente en los elementos de la obra por los factores estáticos en el momento de hacer la inspección evaluativa.

Índice de Severidad (IS). - Es la acción de los agentes exteriores que causan los daños sobre los elementos de la estructura, representa los factores dinámicos de la evaluación.

Índice de Vulnerabilidad (IV). - Es el nivel de pérdida de uno o de varios elementos estructurales esenciales de la obra al ser sometidos al riesgo de un evento, representa la combinación de los índices de daños y de severidad formando un par ordenado que interpreta la realidad física de la obra, pudiéndose representar por un número porcentual único para cada estructura.

Numerosas estructuras de infraestructura de concreto presentan daños importantes, como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas.

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de la ingeniería civil y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original.

De esta manera, el concreto, roca artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, el intemperismo y otros agentes, se agrieta y se desconcha y tiende otra vez a convertirse en arena, grava y cemento separados.

Así mismo, el acero, formado por hierro con un pequeño agregado de carbono, es un material artificial inexistente en la naturaleza, que por efecto de la oxidación tiende a convertirse en un material más estable.

En los puentes, por ejemplo, para la evaluación de los aspectos de cantidad de deterioro se utiliza notación en números y para gravedad de deterioro se toma notación de letras, estos dos aspectos con sus notaciones se pueden combinar con una matriz de orden de 3 x 3 que se señala a continuación, cuyos elementos simbólicos reúnen en si las dimensiones de la observación, generan la apreciación del grado de deterioro de la estructura y entre paréntesis la categoría de deterioro.

	GRAVEDAD DEL DETERIORO	NO ES GRAVE	MEDIANAMENTE GRAVE	GRAVE
CANTIDAD DE DETERIORO		A	B	C
POCO	1	1A (I) 10%	1B (I) 20%	1C (II) 30%
ALGO	2	2A (I) 40%	2B (II) 50%	2C (III) 60%
MUCHO	3	3A (II) 70%	3B (III) 80%	3C (III) 90%

MATRIZ 1. Grado de Deterioro en Puentes.

ÍNDICE DE DAÑOS	ÍNDICE DE SEVERIDAD	INDICES DE VULNERABILIDAD POSIBLES (I.V)	(I.V) EN %	CONDICIÓN (SEVERIDAD) MANTENIMIENTO
1	A	(1,A)	10	Ideal (poco) preventivo 2 años
1	B	(1,B)	20	Bueno (mediano) preventivo 1años
1	C	(1,C)	30	Bueno (severo) preventivo 6 meses
2	A	(2,A)	40	Semicrítico (poco) Correctivo 12 meses
2	B	(2,B)	50	Semicrítico (mediano) Correctivo 1 sem.
2	C	(2,C)	60	Semicrítico (grave) Plan de Emergencia
3	A	(3,A)	70	Crítico (muy severo) Plan de Emergencia
3	B	(2,B)	80	Crítico (grave) Plan de Emergencia
3	C	(3,C)	90	Crítico (muy grave) Emergencia Inmediata

TABLA 7.- Grados de deterioro de una estructura de concreto (puente)

Categoría I de deterioro.- Corresponde al estado de un puente (o de una estructura de concreto) que se encuentra en buenas condiciones, no precisa de reparación, pero si de un plan de mantenimiento integral.

Categoría II de deterioro.- Corresponde al estado de un puente (o de una estructura de concreto) que presenta daños que ameritan reparación que no es urgente, además de un plan de mantenimiento integral. Necesitan de practicarles una evaluación comprobatoria para dilucidar y establecer de manera definitiva el alcance de la importancia de los daños y hacer las recomendaciones pertinentes, de confirmarse la valuación especial se efectuaran oportunamente las necesarias reparaciones de la obra.

Categoría III de deterioro.- Los puentes (o las estructuras de concreto) de esta categoría presentan daños graves y se han de reparar con carácter de emergencia de acuerdo al siguiente esquema metodológico:

a) Se debe hacer una evaluación de emergencia que especificará medidas inmediatas o un plan de emergencia para evitar el inminente colapso.

b) Se debe practicar una evaluación detallada comprobatoria de las capacidades y demandas de los diferentes elementos del puente (o de la estructura de concreto).

c) De los resultados definitivos de la evaluación comprobatoria se procederá a hacer o no un Proyecto de Rehabilitación del Puente (Estructura de Concreto).

I.5.3.2.- LA EVALUACIÓN SECUNDARIA (DETALLADA).

Se debe procesar la construcción en función de modelos estructurales, evaluando toda la instalación con sus componentes estructurales y equipos, evaluación puntuales tales como informes hidráulicos, suelos, sonoros, ambientales. Por ejemplo para los hidráulicos debido a acusar problemas de socavación se generan programas de desarrollo sostenible de ríos (probablemente en lugares donde se crean los bancos de arena o los meandros). La evaluación detallada se basa en el cálculo de las relaciones **Capacidad / Demanda** donde cada construcción tiene elementos específicos que deben ser revisados y cada uno tiene una relación de **C/D**.

Los elementos evaluados deben tener relaciones de $C/D < 1$, si la relación es menor de 1 el elemento tiene que ser tratado de forma especial y debe ser rediseñado. De la evaluación detallada se generan los Proyectos de Rehabilitación.

El resultado de la evaluación detallada indica el estado general de la obra como un aporte de todos los elementos particulares, generando expresiones que indican un porcentaje (%) total de vulnerabilidad. La evaluación detallada concluye con recomendaciones que deben de ser resueltas bajo el criterio del consultor y el grado de vulnerabilidad general que presenta la obra directamente en un programa de reparación o en un Proyecto de Rehabilitación.

I.5.3.3.- REHABILITACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

No hay mejor índice de evaluación de una obra que la eficiencia estructural de la misma, que esta sujeta a la supervivencia a través del tiempo sin defectos estructurales apreciables. En su evaluación cuando se encuentran defectos estructurales se toma en cuenta un mapa de grietas y se conocen las deformaciones de la estructura se pueden aplicar modelos inelásticos y obtener curvas de capacidad.

También conocer las cargas de los límites de colapso y su relación con las de servicio determina un índice de seguridad confiable. Un análisis elástico o inelástico para las cargas de servicio determina un estado de esfuerzos probable de la estructura útil para la verificación del mismo.

Rehabilitar es hacer que una estructura vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía cuando comenzó su vida útil. Las técnicas de rehabilitación pueden ser reversibles o irreversibles, en la primera se trata de que la edificación obtenga nuevamente su capacidad portante reforzando los elementos sin intervención de elementos nuevos, solo reparación de elementos dañados, que en su conjunto mejoran la ductilidad de la edificación, la resistencia y rigidez de los diafragmas.

Las técnicas irreversibles comprenden la adherencia de elementos nuevos para reforzar la obra evaluada con inyecciones y vaciados, elementos adheridos, morteros, reparación de juntas de construcción, reconstrucción de partes, incorporación de barras de preesfuerzo y reforzamiento de fundaciones. En fin, se puede enunciar que los objetivos principales de un buen mantenimiento son: **MEJORAR, PROTEGER y REPARAR** la estructura.

Por estas razones, las entidades responsables de la operación de las estructuras de infraestructura deben considerar la conservación de las estructuras de concreto como una parte obligada de su quehacer a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y servicio de las estructuras. Desafortunadamente, existe un considerable rezago en el mantenimiento de las estructuras que se traduce en un deterioro creciente de su estado físico. Entre las razones que explican, pero no justifican este rezago, pueden señalarse las siguientes:

- **Escasez de recursos.** - La crisis económica en la que se ve inmerso nuestro país, motiva a un considerable descenso del gasto público y una minimización de recursos disponibles para llevar a cabo la conservación. Por el contrario la crisis debe ser motivo para conservar con mayor esmero la infraestructura existente ya que, de destruirse, sería imposible restituirla por la escasez de recursos.
- **Impopularidad del mantenimiento.** - El crecimiento demográfico, el acceso de grupos cada vez mayores a mejores niveles de vida y la urbanización creciente generan una gran demanda de diversas obras nuevas de infraestructura, ante las cuales el mantenimiento de las obras ya existentes resulta una tarea poco atractiva para la sociedad y sus dirigentes y queda, por tanto, en desventaja en la asignación de recursos.
- **Carencia de la cultura de mantenimiento.** - En una sociedad subdesarrollada existe poca conciencia sobre la necesidad de conservar las obras, tanto públicas como privadas. Puede decirse que un índice del desarrollo de una nación podría obtenerse en función de la proporción de recursos asignados al mantenimiento respecto al gasto total en construcción.

Aun cuando por su magnitud, las estructuras representan una porción impresionante de la infraestructura de un país, el desprecio de su mantenimiento constituye graves consecuencias que garantizan la discontinuidad del funcionamiento de toda la infraestructura.

Su colapso ocasiona, frecuentemente, pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas económicas, tanto por la estructura destruida como por la interrupción o demora de la operación. Por estas razones, mantenerlas es una necesidad esencial. El deterioro de las estructuras de concreto es debido, principalmente, a factores como: edad, diseño, defectos de construcción, incremento de cargas, medio ambiente adverso y a un mantenimiento inadecuado y diferido.

Sin duda que la capacidad para establecer objetivamente las prioridades y de formular estrategias adecuadas para atenderlas, depende de que se logren programas más eficaces que permitan, en primer término, preservar la inversión en las estructuras existentes y proporcionar niveles continuos y adecuados de seguridad y comodidad a los usuarios.

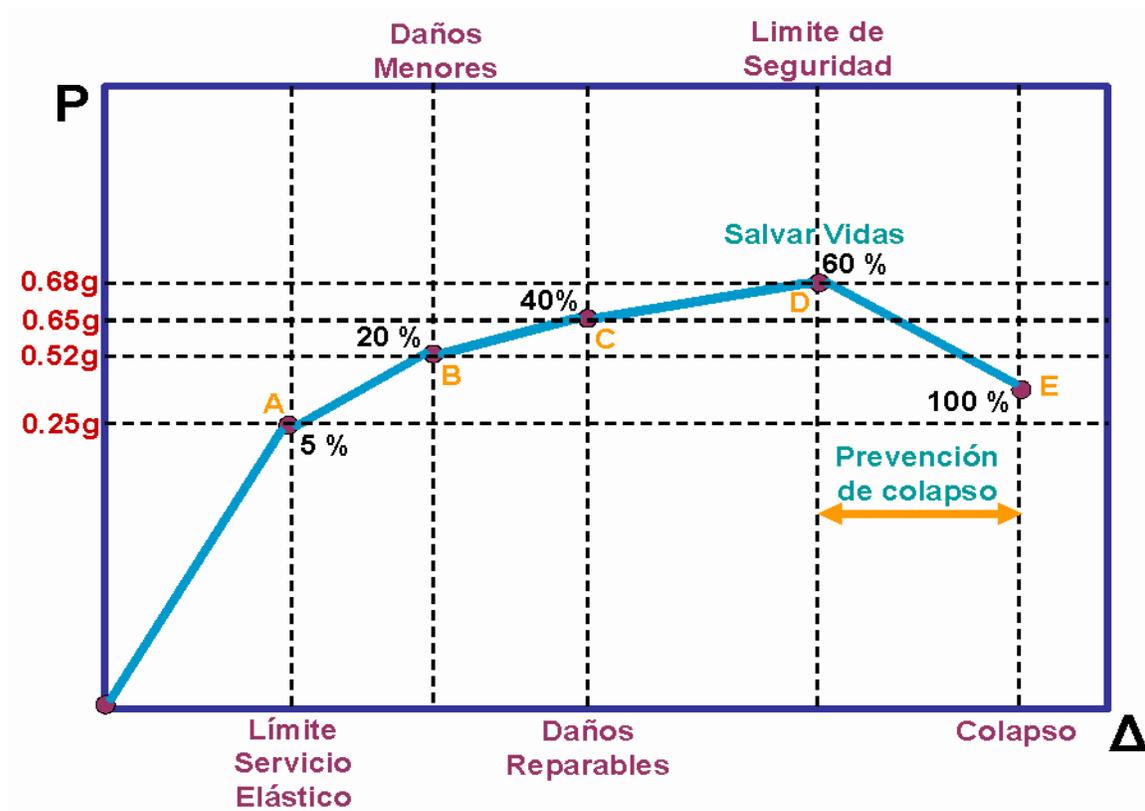
En México hay muy pocos programas establecidos para el mantenimiento de las estructuras de concreto, por lo general cada dependencia que tiene bajo su responsabilidad el cuidado de cierto número de estructuras, tiene un programa que aplica de una forma no muy ambiciosa y mucho menos exitosa.

Dependencias como Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), Comisión Nacional de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); tienen sus propios programas de mantenimiento de sus diversas estructuras, aunque son muy parecidos por ser "copiados" de programas de otros países.

Estos programas pretenden mantener las estructuras de concreto en buenas condiciones de servicio aunque los resultados no son congruentes con los supuestos trabajos de mantenimiento. Los métodos basados en el desempeño estructural que consideran estados límites son una herramienta excelente para el análisis de la rehabilitación de estructuras de concreto. Este enfoque se desvía de los métodos basados en fuerzas, que toman un factor de respuesta "R" para incorporar la ductilidad. Para definir la demanda que genera un evento hay estados límites

que puede tomarse en forma probabilística, en muchos casos siguiendo el modelo de Poisson donde la ocurrencia de un evento no influye en la ocurrencia de otro y donde la probabilidad de que 2 eventos ocurran el mismo tiempo y en el mismo sitio es nula.

Esta ocurrencia probabilística es función del grado de desempeño que se espera de una estructura de concreto en particular. De esta manera se pueden tener niveles operacionales, de función inmediata, de seguridad de vidas y de prevención de colapso.



GRAFICA I.2: Estados Límites Probabilísticas.

Actualmente el concepto de evaluación y de diseño se ha modificado en función de los Estados Límites que se fijen según el tipo de obra y los recursos necesarios para generar seguridad. Un Estado Límite es el punto en el cual se puede superar una condición de diseño.

Los estados límites son fijados por el diseñador de la Obra y el Propietario en función de los grados de servicio y seguridad que se quiere que tenga la estructura de concreto ante la presencia de diversos eventos. En la grafica anterior se explica los estados límites o límites de desempeño.

Los estados límites o límites de desempeño son estados donde se superan las condiciones de diseño, comienzan en "A" planteando un estado límite de servicio en el rango elástico u operacional, donde después de un evento característico no hay que reparar nada y los ingenieros evaluadores dan la orden de función inmediata, se obtienen márgenes menores al 5% de los daños.

Un segundo límite en "B" correspondiente a daños menores genera la utilización de programas de mantenimiento integral con porcentajes de reparación hasta de un 20% de daños. Un tercer estado límite se puede tomar en "C" donde se obtienen daños moderados hasta de un 40% y se debe proceder a encontrar las causas subyacentes de los daños estructurales.

El siguiente corresponde al punto "D" o máximo soporte de capacidad portante de la estructura de concreto ó límite de seguridad donde se recomienda la disfunción de la estructura por tener hasta un 60% de daños estructurales y la obra entra en un periodo de prevención de colapso o etapa para salvaguardar recursos y vidas, es un margen de seguridad, las rehabilitaciones de la estructura normalmente son a largo plazo.

Por último en "E" o límite de colapso donde la estructura esta por caer por el agotamiento estructural si es que no se ha caído ya.

En otras palabras se tienen estados límites de servicio, de daños, de seguridad y de agrietamiento severo, correspondientes a demandas para una vida útil de la construcción, con sus correspondientes probabilidades de excedencia y periodos de retorno.

ESTADO LIMITE	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	VIDA UTIL	PERIODO DE RETORNO
SEGURIDAD.	50%	50 AÑOS	75 AÑOS
FUNCION INMEDIATA.	20%	50 AÑOS	225 AÑOS
SEGURIDAD DE VIDAS.	10%	50 AÑOS	475 AÑOS
PREVISION DE COLAPSO.	2%	50 AÑOS	2,475 AÑOS

TABLA I.8: Estados Límites.

Los profesionales que trabajan en las organizaciones de Planificación y Evaluación de Obras deben gerenciar todos los eventos posibles que pueden causar daños a las obras mediante métodos estadísticos y probabilísticos, donde pasan a jugar un papel preponderante la vida útil de diseño de la obra y el periodo de retorno de esos eventos que están ligados con los estado límites, como se puede ver en la tabla anterior con estados limites para estructuras de concreto, donde por ejemplo en las zonas de alta sismicidad para el límite de seguridad de vidas, existe un 10% de probabilidad de que ocurra un sismo fuerte durante 50 años, pero ocurrirá al menos una vez en 475 años.



FIGURA I.2: Reparación.

Los productos para hacer reparaciones y rehabilitaciones están basados en los diseños específicos generados por los consultores y en la lucha para establecer el equilibrio del sistema capacidad / demanda de la Obra Civil, en la búsqueda de una solución integral de reparación. A continuación se señalan los tipos de productos más importantes:

Aditivos Químicos.- productos de apoyo a las mezclas de concreto estructural, prácticamente para cualquier requerimiento, tales como aditivos reductores de agua (Plastificantes, Superplastificantes e Hiperplastificantes), acelerantes y retardadores, inclusotes de aire, inhibidores de corrosión, aumentantes de la densidad (micro sílices), aditivos para concretos celulares, vaciados bajo agua y aplicaciones especiales.

Morteros para reparación estructural.- Son los morteros modificados con micro sílice diseñados para reparar concreto sometido a cargas estructurales. Estos productos tienen módulos de elasticidad compatibles con el concreto estructural, excelente adherencia, compensación de la retracción y contienen un inhibidor de la corrosión para asegurar su desempeño a largo plazo. Las formulaciones están disponibles para aplicarse por proyección, bombeo y llana en superficies verticales, horizontales y sobre cabeza.

Morteros de renovación superficial.- Son morteros monocomponentes modificados con polímeros, con retracción compensada y diseñados específicamente para restaurar concreto e inhibir el deterioro antes de que ocurran daños posteriores. Productos con bajo modulo de elasticidad para ofrecer resistencia al agrietamiento e incorporar un inhibidor integral de corrosión para una excelente durabilidad. Existen formulaciones que permiten la aplicación con llana o por proyección en superficies verticales, horizontales y sobre cabeza.

Recubrimientos protectores para el acero de refuerzo.- Contienen inhibidores de corrosión que protegen al acero de refuerzo dentro del concreto de los iones de cloruro y la carbonatación. Se incluyen recubrimientos flexibles modificados con polímeros con base cemento y un agente de adherencia y recubrimiento epóxico / cementicio con base agua y proyectable.

Reparación de áreas de tráfico. - Los morteros de fosfato de magnesio ofrecen reparaciones económicas con altas resistencias a edades tempranas y rápidas paradas de en las fabricas para la reparación. Permiten poner en servicio la zona reparada en dos horas después de una de aplicarse el recubrimiento final.

Reparaciones por proyección. - Son productos específicos para reparaciones de concreto utilizando procedimientos de lanzado vía húmeda o seca. Son morteros modificados con micro sílice, fibras de refuerzo e inhibidores integrales de corrosión.

Endurecedores de pisos y toppings. - Es tecnología para pisos cementicios que tiene tráfico pesado, endurecedores superficiales con polvos de agregados metálicos y minerales, bases para pisos autonivelantes y toppings, proporcionan una superficie durable para cumplir con cualquier requisito de servicio.

Fibra de Carbono. - M-bracee, sistema compuesto de refuerzo, diseñado para ofrecer una alternativa diferente a las reparaciones estructurales con la característica del aumento de la capacidad estructural. El sistema se basa en la colocación de láminas de fibra de carbono en diversas capas. Permite una instalación durable y resistente que se hace en forma fácil y rápida.

Grouts. - Para reparación de superficies de concreto, grouteo de precisión y sellado de grietas. Se ofrecen grouts con base cementicia y polimérica.

Resinas epóxicas. - Se utilizan para dos funciones, una primera de adherencia estructural con resinas poliméricas de reparación para unir concreto nuevo con viejo y otra correspondiente a las líneas de inyección de grietas con resinas epóxicas de inyección de uretanos para el control de la infiltración activa del agua.

Compuestos de Curado. - Libres de compuestos orgánicos volátiles, (VOC) promueven la hidratación conveniente del concreto durante el fraguado y los reductores de evaporación diseñados para combatir las condiciones de secado rápido durante el acabado del concreto.

Recubrimientos y selladores.- Son recubrimientos a base de cemento modificados con polímeros para crear diseños arquitectónicos en acabados de superficies horizontales y verticales de concreto y mampostería. Selladores para impermeabilización y protección contra la humedad del concreto y estructuras de mampostería, basados en selladores de silano, un recubrimiento con base cemento modificado con polímeros monocomponente y recubrimiento flexible con base cemento flexible modificado con polímeros.

Recubrimientos y revestimientos poliméricos.- Productos para el control de la corrosión compleja, incluyen puenteo de grietas, sistemas de revestimientos resistentes a la corrosión, revestimientos y pisos poliméricos monolíticos, revestimientos y recubrimientos poliméricos reforzados con hojuelas, revestimientos reforzados con telas, sistemas de curados a baja temperatura, sistemas tolerantes a la humedad y de rápido curado.

Encapsulado de pilotes.- Sistemas de encapsulado de pilotes APE para reparar muelles, columnas y pilotes de concreto armado arriba o bajo el nivel de las aguas, utilizando un proceso polimérico que repara restaura y fortalece el concreto.

Protección de Juntas.- Productos o sistemas para el sellado de juntas en puentes o en edificaciones, protegen los bordes de las ranuras y cumplen funciones de entrada o salida a los movimientos.

A continuación, en los siguientes capítulos se hace la descripción en detalle de los procesos ordinarios y extraordinarios de mantenimiento en las estructuras de concreto simple y/o reforzado.

II.-

MARCO TÉCNICO.

II.1.- GENERALIDADES.

El concreto, como material fundamental de la construcción de estructuras de concreto en México, se somete frecuentemente a procesos de análisis y de evaluación para determinar su estado. El análisis se lleva a cabo mediante pruebas de laboratorio sobre especímenes de concreto obtenidos de los elementos de las estructuras de concreto.

Aunque desde los primeros casos del concreto siempre hubo interés por su durabilidad fue en las últimas décadas cuando adquirió mayor relevancia por las erogaciones requeridas para dar mantenimiento a las numerosas estructuras que se deterioraron prematuramente.

Durante algún tiempo, este problema se asoció principalmente con los efectos dañinos al resultar de los ciclos de congelación y deshielo del concreto, por lo cual no se le consideró la debida importancia en las regiones que por su situación geográfica no experimenta clima invernal severo.

La moderna tecnología del concreto exige que la estructura del concreto resulte tan resistente como se desee y que a la vez soporte las condiciones de exposición y servicios a las que severa sometido durante su vida útil.

Desafortunadamente en México, no existen métodos de prueba para la evaluación del concreto en el estado de mantenimiento de las estructuras de concreto, es decir, el tema de mantenimiento en las estructuras de concreto no tiene base en ninguna norma gobernante, o sea la normatividad para este no existe y por consecuencia no existen los métodos de prueba apropiados para la evaluación de las mismas.

Los subtemas descritos en este capítulo principalmente son los métodos de prueba para el análisis y la evaluación de los materiales y agregados constituyentes del concreto simple y concreto reforzado de acero; y del concreto mismo como elemento estructural fundamental de construcción.

II.2.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, granulometría de sus agregados, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

II.2.1.- PESO ESPECÍFICO.

La densidad de un sólido es la masa de la unidad de volumen de su porción impermeable, a una temperatura especificada, y la densidad aparente es el mismo concepto, pero utilizando el peso en el aire en vez de la masa. Ambas determinaciones suelen expresarse en gramos entre centímetro cúbico (g/cm^3) y no son rigurosamente aplicadas en las pruebas que normalmente se utilizan en la tecnología del concreto, salvo en el caso del cemento y otros materiales finamente divididos.

II.2.2.- LA GRANULOMETRIA.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100 hasta 9.52 mm. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

II.2.3.- POROSIDAD Y ABSORCIÓN.

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todos los agregados de peso normal son porosos en mayor o menor grado dependiendo de su volumen de vacíos entre su volumen total.

II.2.4- SANIDAD.

La sanidad tiene mucha importancia porque es buen índice de su desempeño predecible en el concreto. La sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

El resumen de las pruebas estándares realizadas en el laboratorio son las siguientes:

- Peso volumétrico seco (PVS) suelto de la grava y la arena. PVS compacto de la grava y arena.
- Determinación del porcentaje en retenido según el tamaño máximo.
- Composición granulométrica de la grava y la arena.
- Absorción y densidad de las partículas en la grava y la arena.
- Obtención de la materia orgánica en el material fino.
- Determinación del porcentaje de la arena.

- Determinación de pérdida por lavado. Presencia de material de tamaño menor de 0.074 mm en una arena.
- Determinación de la Humedad.- se determina la humedad de absorción más la humedad superficial.

II.3.- EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO.

Para la evaluación del diseño y la fabricación de mezclas de concreto hidráulico, el revestimiento y la resistencia de las probetas de concreto se consideran las siguientes pruebas estándares de laboratorio:

- Determinación de la relación grava arena en el laboratorio (G-A).
- Diseños de mezclas de concreto hidráulico.
- Fractura de las probetas de ensaye a diferentes edades (resistencia a la compresión).
- Consistencia (Probeta de revestimiento).
- Obtención del peso volumétrico del concreto fresco.
- Ensaye o prueba de flexión a vigas de concreto simple, de sección cuadrada.
- Por medio de una herramienta cortante giratoria con diamante en sus bordes, diferentes diámetros.

II.4.- ENSAYES A LOS MATERIALES DE CONCRETO.

Los ensayos y las pruebas que se les hacen al concreto se realizan de acuerdo a las propiedades específicas requeridas y deseadas del concreto. Estas propiedades y los ensayos correspondientes se describen a continuación.

II.4.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO.

Al examinar la aptitud física del concreto, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de ello, de los aspectos externos que corresponden a sus especímenes. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca del concreto, destacan su permeabilidad y hermeticidad, resistencia a la compresión, durabilidad a la congelación y deshielo, módulo de elasticidad y propiedades térmicas, y su estabilidad volumétrica.

II.4.1.1.- PERMEABILIDAD Y HERMETICIDAD.

El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles.

La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético.

II.4.1.2.- RESISTENCIA.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo $f' c$. La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm^2 cuadrado. un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm^2 cuadrado. resistencia de 1,400 kg/cm^2 cuadrado se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción .

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

La resistencia a la abrasión es aquella en donde los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

La **resistencia a la torsión** para el concreto esta relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La **resistencia al cortante** del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

II.4.1.3.- CONGELACIÓN Y DESHIELO.

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de ensaye de laboratorio ASTM C 666, "*Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*". A partir de la prueba se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo requeridos para producir una cierta cantidad de deterioro.

La resistencia al descascaramiento provocado por compuestos descongelantes se puede determinar por medio del procedimiento ASTC 672 "*Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals*".

II.4.1.4.- MODULO DE ELASTICIDAD.

El modulo de elasticidad, denotando por medio del símbolo **E**, se puedes definir como la relación del esfuerzo normal la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, **E** fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm², y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

II.4.2.- PROPIEDADES TÉRMICAS.

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante.

Entre las propiedades térmicas del concreto, la que interesa con mayor frecuencia para todo tipo de estructuras sujetas a cambios significativos de temperatura, es el coeficiente de expansión térmica lineal, que se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud, que ocurre por cada grado de variación en la temperatura, y que se expresa de ordinario en millonésima/°C.

II.4.3.- ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA.

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilata ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg por metro cúbico.

Otros ensayos estándares de laboratorio frecuentemente realizados en probetas de concreto son los siguientes:

- Modulo de ruptura.
- Compresión.
- Absorción a 24 horas.
- Absorción a horas de ebullición.
- Coeficiente de absorción.

Para los ensayos de Consolidación se tiene los siguientes:

- Coeficiente de Consolidación.
- Coeficiente de Compresibilidad.

II.5.- VARILLAS DE ACERO EMPLEADAS EN CONCRETO REFORZADO.

Los ensayos y las pruebas que se les hacen a las varillas de acero en el concreto reforzado se realizan de acuerdo a las propiedades específicas requeridas y deseadas de ellas. Estas propiedades y los ensayos correspondientes son los siguientes:

- Obtención de sus características físicas.
- Comprobación de sus dimensiones.

- Sección en centímetros cuadrados.
- Peso en kilogramos por metro lineal.
- Prueba de tensión.

Para la Determinación de la Resistencia al Esfuerzo Cortante en el Laboratorio.

- Compresión simple o No Combinada.
- Compresión Triaxial Rápida.

A continuación se enuncian las pruebas estándares del concreto aprobadas por las Normas Mexicanas y por la ASTM y la AASHTO.

No.	DESIGNACION	PRUEBAS A AGREGADOS.
1	NMX-C-196	Prueba de abrasión, máquina de Los Ángeles.
2	NMX-C-416	Límites de consistencia y contracción lineal.
3	NMX-C-416	Equivalente de arena.
4	ASTM D-4791	Partículas planas y alargadas.
5	NMX-C-88	Efecto de materia orgánica.
6	NMX-C-265	Análisis petrográficos.
7	NMX-C-271	Reactividad potencial (Método Químico).
8	NMX-C-180	Reactividad potencial (Método de las barras de mortero).
9	NMX-C-75	Intemperismo acelerado (sanidad).
10	NMX-C-71	Determinación de grumos de arcilla y partículas deleznales.
11	NMX-C-72	Determinación de partículas ligeras.
12	NMX-C-030	Muestreo de agregados en banco o almacén.

TABLA II.1: Métodos de Pruebas a Agregados del Concreto.

No.	DESIGNACION	ENSAYES AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.
1	NMX C-156	Determinación del revenimiento.
2	NMX-C-162	Determinación del peso unitario.
3	NMX-C-157	Determinación del contenido de aire.
4	NMX C-160	Elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos (vigas).

TABLA II.2: Métodos de Ensaye al Concreto en Estado Fresco.

No.	DESIGNACION	ENSAYES AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.
1	ASTM C-856	Estudio petrográfico en muestras de concreto endurecido.
2	NMX-C-128	Módulo de elasticidad con extensómetro.
3	NMX-C-128	Módulo de elasticidad con Strain-Gages.
4	NMX C-177	Determinación de la contracción por secado en barras de concreto.
5	ASTM C-512	Determinación del coeficiente de deformación diferida.
6	NMX C-191	Ensaye a la flexión de vigas de concreto.
7	NMX C-405	Estudios de fuego.
8	NMX C-163	Resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.
9	NMX-C-154	Determinación del contenido de cemento en muestras de concreto endurecido.
10	NMX-C-407	Ensaye físicos de acero de refuerzo. Incluye: Ensaye a tensión, límite de fluencia, límite de ruptura, porcentaje de alargamiento, doblado y características de corrugaciones.

TABLA II.3: Métodos de Ensaye al Concreto en Estado Endurecido.

La mayoría de las Normas Mexicanas fueron derivadas de las normas norteamericanas de la ASTM y la AASHTO. Específicamente para la normalización de la construcción en México está el Organismo Nacional de normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (**ONNCCE**), el cual tiene el objetivo de establecer las especificaciones y métodos de prueba que se deben cumplir en el concreto hidráulico y en su elaboración: dosificado en masa, utilizado como material de construcción, entregado en estado fresco y sin endurecer a pie de obra.

Para la evaluación del concreto se han enunciado algunos métodos de prueba estándar designados por *American Society for Testing and Materials (ASTM)* y la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

No.	DESIGNACION	PRUEBA ESTANDAR PARA LA EVALUACION DEL CONCRETO.
1	ASTM C 42	Obtención y prueba de corazones barrenados y vigas aserradas de concreto.
2	ASTM C 805	Numero de rebote del concreto endurecido.
3	ASTM C 803	Resistencia a penetración del concreto endurecido.
4	ASTM C 597	Velocidad del pulso a través del concreto.
5	ASTM C 496	Resistencia a tensión por separación de especímenes cilíndricos de concreto.
6	ASTM C 78	Resistencia a flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios).
7	ASTM C 293	Resistencia a flexión del concreto (usando una viga simple con carga central).
8	ASTM C 418	Resistencia a abrasión del concreto por sopleteado con arena.
9	ASTM C 876	Potenciales de semicelda acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto.
10	ASTM C 3633	Resistividad eléctrica de sistemas membrana - pavimento.
11	ASTM C 856	Practica estándar para examen petrográfico del concreto endurecido.
12	AASHTO T 259	Resistencia de concreto a la penetración de iones de cloruro.
13	AASHTO T 260	Muestreo y pruebas para el total de iones de cloruro en el concreto y las materias primas del concreto.
14	AASHTO T 227	Determinación rápida de la permeabilidad a cloruros del concreto.
15	ASTM C 457	Determinación microscópica de parámetros del sistema aire - vacío en concreto endurecido.
16	ASTM C 666	Resistencia del concreto a la rápida congelación y deshielo.
17	ASTM C 671	Dilatación crítica de especímenes de concreto sometidos a congelación.
18	ASTM C 672	Resistencia descascaramiento de superficies de concreto expuestas a químicos descongelantes.
19	ASTM C 642	Gravedad específica, absorción, y vacíos en el concreto endurecido.

TABLA II.4: Métodos de Prueba estándar para la Evaluación del Concreto.

De la "MANUAL DE LAS PRACTICAS DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA CIVIL" de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM se encuentran las pruebas que se realizan al concreto y a los materiales que constituyen el concreto en el laboratorio.

1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO.

OBJETIVO.- Determinación de la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) para verificar si éste cumple con las especificaciones con que fue diseñado y poder establecer una opinión.

2. TENSIÓN POR FLEXIÓN.

OBJETIVO.- Determinación de la resistencia a la tensión por medio del ensaye a flexión del concreto con una viga de dimensiones predeterminadas.

3. TENSIÓN INDIRECTA O PRUEBA BRASILEÑA.

OBJETIVO.- Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por medio de una prueba indirecta (Prueba Brasileña).

4. TENSIÓN EN ACERO.

OBJETIVO.- Determinación de la resistencia a la tensión del acero, mediante en ensaye con una probeta de dimensiones predeterminadas, identificando las cargas que definen al esfuerzo de fluencia y esfuerzo último respectivamente, además de elaborar la gráfica esfuerzo-deformación unitaria del acero, identificando los puntos de la gráfica. Debido a que esta práctica está enfocada a varillas corrugadas de acero, torcidas en frío, para esfuerzo de concreto, se comprobará que sus límites de fluencia mínimos sean de 42, 50 y 60 kg/cm², según sea el caso.

5. CONTENIDO DE AGUA EN ARENA Y GRAVA.

OBJETIVO: Obtención del contenido de agua de los agregados pétreos, para poder controlar la cantidad de agua utilizada en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

OBJETIVO. - Realizar el análisis granulométrico de los agregados pétreos, obteniendo el módulo de finura para el agregado fino y el tamaño máximo nominal para el agregado grueso.

7. PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO Y SUELTO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

OBJETIVO. - Determinación de la masa volumétrica seca suelta y compactada de los agregados finos y gruesos.

8. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

OBJETIVO. - Determinación del peso específico aparente del agregado fino y grueso saturado y superficialmente seco, y la absorción del agua de los agregados. Estos datos se emplean para el cálculo y la dosificación del concreto.

9. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL AGREGADO FINO.

OBJETIVO. - Determinación de la presencia de materia orgánica dañina en agregados finos que se usa para la fabricación de morteros o concretos de cemento hidráulico.

10. ANÁLISIS QUÍMICO MACROSCÓPICO PARA ACEROS ESTRUCTURALES DE REFUERZO.

OBJETIVO.- observación y determinación de la presencia de grietas de laminación, traslape o lajeadura, laminación, fisuras por tensión e incrustaciones de materia extraña presentes en las varillas y probetas de acero; de acuerdo a lo señalado por las normas de calidad de los materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

11. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.

OBJETIVO.- Determinación del contenido de humedad superficial, se puede determinar por peso o por volumen; en ambos casos, la prueba se debe efectuar a una temperatura entre 18° y 30°C, (grava y arena).

12. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS (GRAVA Y ARENA).

OBJETIVO.- Determinación del contenido de humedad superficial, se puede determinar por peso o por volumen; en ambos casos, la prueba se debe efectuar a una temperatura entre 18° y 30°C, (grava y arena).

13. ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS (GRAVA Y ARENA).

OBJETIVO.- Determinación del porcentaje de absorción de cada uno de los materiales (grava y arena). La absorción de los agregados es la propiedad de las partículas del agregado de absorber agua por sus poros.

14. DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO CON UNA RESISTENCIA DADA.

OBJETIVO.- Determinación de las cantidades de materiales, agua, cemento, (A/C), grava, arena (G/A) también en ocasiones aditivos para la fabricación de un concreto con especificaciones establecidas.

15. FABRICACIÓN DE CONCRETO LIGERO.

OBJETIVO.- dosificación por el método del ACI una mezcla de concreto con el uso de un agregado poroso (tezontle o escoria volcánica) conociendo previamente su peso volumétrico compactado para realizar su diseño, fabricación y muestreo de la mezcla para que finalmente se compruebe su resistencia de compresión simple.

Objetivo particular.- Conocer el comportamiento del concreto con éste tipo de agregado menos resistente que el regularmente usado.

16. CORTE EN EL ACERO.

OBJETIVO.- Calculo de la fuerza que resiste la probeta de acero al corte, así como esfuerzo cortante.

17. PRUEBA DE TENSIÓN EN UNA PROBETA DE ACERO.

OBJETIVO.- Someter la probeta de acero de 60 cm. de longitud a una carga axial de tensión para determinar la carga que soporte.

18. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL ACERO.

OBJETIVO.- Mediante la gráfica esfuerzo - deformación del acero, realizar el cálculo el módulo de elasticidad.

19. TORSIÓN EN UNA PROBETA METÁLICA.

OBJETIVO.- Someter la probeta de acero al esfuerzo cortante de torsión, para obtener su correspondiente diagrama de momento torsionante, ángulo de torsión, límite de proporcionalidad y el módulo de ruptura.

Las pruebas de laboratorio enunciados muestran la inexistencia de la designación apropiada de pruebas para el concreto estructural en el estado funcional de mantenimiento. El mantenimiento, como parte fundamental de los procesos constructivos en México, carece de estas pruebas estándares en comparación a los países de la Unión Europea y los EE.UU. En los EE.UU.. por ejemplo, el marco técnico del mantenimiento de las estructuras de concreto es tan importante como el de una construcción nueva y tiene la normatividad apropiada para cada contingencia.

Cabe señalar que por consecuencia de este, el presupuesto para el mantenimiento adecuado de las estructuras de concreto en el país es también inexistente debido a la falta de la normatividad que cubra los requisitos necesarios para efectuarlo.

II.-

MARCO LEGAL.

III.1.- GENERALIDADES.

La normatividad de los procesos apropiados del concreto en las estructuras de concreto es la base legal para cualquier trabajo de mantenimiento de ellos. El cumplimiento de este trabajo de mantenimiento debe realizarse conforme al marco legal que rige en el ámbito de la conservación de estas estructuras.

Sin embargo, la existencia de estas leyes no basta para que se realicen el mantenimiento; los métodos apropiados, así como las técnicas para llevarlos a cabo también son importantes para darles mantenimiento adecuado a las estructuras de concreto. Esto sirve como el fundamento legal para guiarse los trabajos de mantenimiento.

En México, la mayoría de las normas se dan por la Dirección General de Normas (DGN) con las estipulaciones de las Normas Oficiales Mexicanas mientras que el Organismo Nacional de normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) cuenta con las Normas Mexicanas.

Sin embargo, todas las normas en vigor en México son aplicables a los materiales que constituyen el concreto y a las respectivas pruebas que se les someta tanto en su elaboración y su uso; pero ninguna esta dirigida al mantenimiento del concreto.

Cabe señalar que las diversas normas de los EE.UU. mediante las asociaciones como son la ASTM, AASHTO y ACI cuentan con varios capítulos para las pruebas sobre el concreto en todos los estados, fresco y endurecido. Estas normas cumplen con las necesidades del mantenimiento en los elementos de concreto simple y/o reforzado.

En este capítulo, solo se enuncian las normas mexicanas que describan y establecen las especificaciones y métodos de prueba del concreto hidráulico, así como las normas que describan las especificaciones para el acero y los aditivos al concreto.

III.2.- NORMATIVIDAD.

Las Normas Mexicanas establecen las especificaciones y métodos de prueba que se deben cumplir en el concreto hidráulico y en su elaboración: dosificado en masa, utilizado como material de construcción, entregado en estado fresco y sin endurecer a pie de obra.

Estas especificaciones se dan por el Organismo Nacional de normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). Las normas mexicanas en vigor, aplicables o las que las sustituyan, son las siguientes:

III.2.1.- EL CONCRETO.

NMX-C-403-ONNCCE-1999 Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico para Uso Estructural.

Definición. - Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones.

Concreto hidráulico. - Es una mezcla de agregados, naturales, procesados o artificiales, cementante y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos; debe ser dosificada en masa o en volumen. Es el material pétreo artificial obtenido de la mezcla en proporciones determinadas de cemento, agregados, agua, y, en su caso aditivos y/o cementantes.

Concreto hidráulico para uso estructural. - Es el concreto hidráulico empleado para formar una parte integral de una estructura o edificación.

Productos Seleccionados. - Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir el concreto hidráulico para uso estructural utilizado como material de construcción en la edificación de estructuras.

III.2.1.1.- ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES COMPONENTES - TOLERANCIAS.

Cemento hidráulico.- El cemento empleado en la elaboración del concreto hidráulico para uso estructural, debe cumplir con las características y especificaciones descritas en la NMX-C 414-ONNCCE en el Capítulo 3.

Agregados.- Los agregados deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-111 en el Capítulo 3. El tamaño máximo del agregado se selecciona de acuerdo con el elemento estructural en que se utilice y con lo dispuesto en el reglamento de construcciones de cada localidad. El tamaño máximo no debe ser mayor de un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, un tercio del espesor de las losas, ni dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquete de barras, o tendones de presfuerzo.

Agua de mezclado.- El agua para el mezclado del concreto debe cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122 en el Capítulo 3. El Director Responsable de obra o equivalente, debe constatar que el agua empleada esté almacenada en depósitos limpios y cubiertos.

Aditivos.- Los aditivos para concreto deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-255, en el Capítulo 3.

III.2.1.2.- REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO - TOLERANCIAS.

Revenimiento.- El contenido máximo de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal del concreto a pie de obra no exceda de 10 cm.

Masa unitaria.- El concreto debe tener una masa unitaria entre 1 900 kg/m³ y 2 400 kg/m³. Para aquellos casos en que se proceda a calentar los materiales para compensar las bajas temperaturas ambientales, la temperatura máxima del concreto hidráulico en el momento de la

producción y colocación no debe exceder de 305 K (32 °C). En climas cálidos, la temperatura del concreto hidráulico en el momento de su producción y colocación no debe exceder de 305 K (32 °C). No debe tener una evaporación mayor de 1lt. /m²/h (un litro por metro cuadrado de superficie por hora).

Temperatura del concreto fresco en climas extremos. - Para contrarrestar el efecto de las temperaturas ambientales altas el Director Responsable de Obra debe determinar la pertinencia de enfriar los materiales y la posibilidad de escarchar el agua, sin que la temperatura del concreto fresco descienda a menos de 283 K (10 °C).

III.2.1.3.- REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO - TOLERANCIAS.

El concreto debe alcanzar la resistencia especificada a la compresión ($f'c$) a la edad de 28 días u otra edad convenida. Esta resistencia debe ser igual o mayor que 20 MPa (200 kgf/cm²), a menos que de común acuerdo productor y usuario establezcan otra.

El concreto que sustituya la mampostería para muros debe tener una resistencia especificada a la compresión ($f'c$) igual o superior a 10 MPa (100 kgf/cm²) y debe llevar recubrimiento y revestimiento de acuerdo con el ambiente al que esté expuesto.

Es admisible que el concreto cumpla con la resistencia especificada $f'c$, si los promedios de resistencia de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas pertenecientes o no al mismo día de colado no son menores que $f'c$ y si ninguna muestra (pareja de cilindros) da una resistencia media inferior a $f'c$ de 3.5 MPa ($f'c$ menos 35 kgf/cm²).

Resistencia a compresión. - Si sólo se cuenta con dos muestras el promedio de las resistencias de ambas no debe ser inferior a $f'c$ de 1.30 MPa ($f'c$ menos 13 kg/cm²), además de cumplir con el requisito concerniente a las muestras tomadas en forma individual.

Módulo de Elasticidad. - El estructurista debe considerar en el diseño el módulo de elasticidad que se puede obtener con los materiales de la zona donde se pretende construir.

El productor del concreto debe contar con información confiable del módulo de elasticidad obtenido con los materiales que se empleen en la obra, misma que debe dar a conocer al estructurista, previa solicitud. El módulo de elasticidad de diseño corresponde al característico. A falta de información confiable, ésta, se debe obtener mediante ensayos preliminares que se realicen al concreto.

El banco de agregados que se emplee para el concreto de los ensayos preliminares debe ser el mismo que se utilice durante la construcción. Cuando se pretenda modificar la fuente de agregados, se debe demostrar previamente el cumplimiento del módulo de elasticidad indicado en el proyecto y revisado por el Director Responsable de Obra o su equivalente.

A menos que el Director Responsable de Obra o su equivalente establezca otro criterio, durante el proceso de obra se debe hacer como mínimo 3 (tres) determinaciones del módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad promedio de tres muestras consecutivas cualesquiera deben ser igual o mayor al módulo de elasticidad de diseño (característico) especificado por el estructurista. El valor mínimo obtenido de muestras individuales debe ser el característico menos una desviación estándar.

A falta de información confiable, la desviación estándar de los valores del módulo de elasticidad se puede tomar igual a $470 f'c$, en MPa ($1,500 f'c$ en kgf/cm^2), lo que no elimina la necesidad de realizar ensayos.

En caso de no cumplirse este requisito, el Director Responsable de Obra debe tomar las medidas pertinentes de acuerdo con la reglamentación local aplicable y asentarlas en la bitácora de obra.

III.2.2.- EL ACERO.

El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, es decir, hierro combinado con un 1% aproximadamente de carbono, y que hecho ascua y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad.

Se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro.

NMX-B-294-1986.- Industria Siderúrgica-Varillas corrugadas de acero torcidas en frío, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto.

NMX-B-072-1986.- Alambre corrugado de acero laminado en frío para refuerzo de concreto.

NMX-B-253-1988.- Alambre de acero estirado en frío para refuerzo de concreto.

NMX-B-292-1988.- Torón de siete alambres sin recubrimiento, relevado de esfuerzos para concreto presforzado.

NMX-B-254-1987.- Acero estructural.

NMX-B-290-1988.- Malla soldada de alambre liso de acero, para refuerzo de concreto.

III.2.3.- LOS ADITIVOS.

Los aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos y/o orgánicos) que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Sus características y propiedades principales son su influencia, que se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la docilidad y compactación necesaria.

NMX-C-117-1978.- Aditivos estabilizadores de volumen del concreto.

NMX-C-140-1978.- Aditivos expansores del concreto.

NMX-C-146-ONNCCE-2000.- Industria de la construcción- Aditivos para concreto- Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento Pórtland. *Establece las especificaciones aplicables a la ceniza volante y la puzolana natural cruda o calcinada para emplearse como aditivo mineral en concreto, cuando se desea una acción cementante o puzolánica o ambas.*

NMX-C-199-1986.- Industria de la construcción- Aditivos para concreto y materiales complementarios- Terminología y clasificación. *Establece las definiciones de términos utilizados en el área de aditivos para concreto y mortero en la industria de la construcción.*

NMX-C-200-1978.- Aditivos inclusores de aire para concreto. *Establece las especificaciones que deben cumplir los materiales propuestos para usarse como aditivos inclusores de aire al añadirse a mezclas de concreto.*

NMX-C-255-1988.- Industria de la construcción- Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto. *Establece las características que deben cumplir los aditivos químicos al agregarse a concretos fabricados con cemento Pórtland, tomando como punto de comparación un concreto testigo.*

NMX-C-356-1988.- Industria de la construcción- Aditivos para concreto- Cloruro de calcio.

III.3.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCION PARA EL DISTRITO FEDERAL.

En el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias, solo se menciona brevemente en tres artículos el tema de mantenimiento y solo para los propietarios de las edificaciones.

Del Título Octavo del Uso, operación y Mantenimiento, Capítulo Único del Uso y conservación de Predios y Edificaciones en los artículos 231, 232 y 233 respectivamente enuncian:

ARTÍCULO 231. - Los propietarios o poseedores de las edificaciones y predios tienen obligación de conservarlos en buenas condiciones de estabilidad, servicio, aspecto e higiene, evitar que se conviertan en molestia o peligro para las personas o los bienes, reparar y corregir los desperfectos, fugas, de no rebasar las demandas de consumo del diseño autorizado en las instalaciones y observar, las siguientes disposiciones:

I. Los acabados en las fachadas deben mantenerse en buen estado de conservación, aspecto e higiene;

II. Los predios, excepto los que se ubiquen en zonas que carezcan de servicios públicos de urbanización, deben contar con cercas en sus límites que no colinden con edificaciones permanentes o con cercas existentes, de una altura mínima de 2.50 m, construidas con cualquier material, excepto madera, cartón, alambrado de púas y otros similares que pongan en peligro la seguridad de personas y bienes;

III. Los predios no edificados deben estar libres de escombros, basura y drenados adecuadamente;

IV. Quedan prohibidas las instalaciones y edificaciones precarias en las azoteas, cualquiera que sea el uso que pretenda dárseles, y

V. El suelo de cimentación debe protegerse contra deterioro por intemperismo, arrastre por flujo de aguas superficiales o subterráneas y secado local por la operación de calderas o equipos similares.

ARTÍCULO 232.- Las edificaciones que requieran de dictamen de impacto urbano o impacto urbano-ambiental, según lo establecido en el Título Cuarto de este Reglamento, deben contar con manuales de operación y mantenimiento, cuyo contenido mínimo será:

I. Tendrá tantos capítulos como sistemas de instalaciones, estructura, acabados y mobiliario tenga la edificación;

II. En cada capítulo se hará la descripción del sistema en cuestión y se indicarán las acciones mínimas de mantenimiento preventivo y correctivo. Los equipos de extinción de fuego deben someterse a lo que establezcan las Normas;

III. Para mantenimiento preventivo se indicarán los procedimientos y materiales a utilizar, así como su periodicidad. Se señalarán también los casos que requieran la intervención de especialistas, y

IV. Para mantenimiento correctivo se indicarán los procedimientos y materiales a utilizar para los casos más frecuentes, así como las acciones que requieran la intervención de especialistas.

ARTÍCULO 233.- Los propietarios de las edificaciones deben conservar y exhibir, cuando sean requeridos por las autoridades, los planos, memoria de diseño y el libro de bitácora, que avalen la seguridad estructural de la edificación en su proyecto original y en caso de existir modificaciones, dichos planos y memoria de diseño deben estar actualizados.

En resumen, en el ámbito legal, o sea en las respectivas normas que se obtienen en México, no hay normatividad que rige en el tema de mantenimiento de las estructuras de concreto.

Las Normas Mexicanas, Normas Oficiales Mexicanas, el ONNCCE bajo el auspicio de la Dirección General de Normatividad y el propio Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal con las Normas Técnicas Complementarias no cuentan con un marco legal para la conservación y los mantenimientos apropiados de las estructuras de concreto en el país.

Además, algunas de las normas en vigor tiene mucha antigüedad y necesitan actualizaciones y modificaciones vigentes para que sean aplicables correctamente.

IV.-

MANTENIMIENTO

RUTINARIO.

IV.1 DEFINICION.

El mantenimiento de estructuras de concreto es una de las actividades más importantes entre las que hay que realizar para llevar a cabo la conservación de un conjunto de elementos estructurales de concreto. Su objetivo final, como la de toda labor de conservación, es la del mantenimiento de todas las condiciones de servicio de la estructura en el mejor nivel posible.

El mantenimiento rutinario lo comprenden aquellas actividades de mantenimiento en las estructuras de concreto que pueden ser realizadas por el personal de las residencias de mantenimiento. Son actividades menores comprendidas de una inspección rutinaria y periódica de los elementos de una estructura de concreto.

Evidentemente, el sistema más sencillo para aportar datos para llevar a cabo el conocimiento del estado de una estructura es la simple observación visual de la misma.

Esta operación de evaluación visual se lleva a cabo por los equipos encargados del mantenimiento ordinario de la estructura de concreto para que de ella puedan extraerse datos útiles y mantener la estructura en buenas condiciones deben darse tres condiciones básicas:

Poder ver. - Lo que significa poder acceder a todas las partes que se desean inspeccionar, y en su caso ayudar con medios complementarios al ojo humano.

Saber ver. - Para lo cual se necesita un equipo de inspección calificado y con suficiente experiencia.

Saber lo que se quiere ver. - Es decir, hay que preparar con antelación las inspecciones, estudiando el proyecto, los posibles incidentes ocurridos en la construcción y los informes obtenidos en anteriores inspecciones, si existen.

Las actividades de una inspección típica de una estructura de concreto consisten en:

- Inspección visual y analizando los señales que da el concreto.
- Revisión de los datos de ingeniería: documentación del diseño y construcción; registros de servicio y mantenimiento; y reporte de inspecciones periódicas.
- Examen del estado actual: levantamiento de diferentes diferencias; monitoreo; revisión y análisis de las juntas; muestreo y prueba; pruebas no destructivas; y análisis estructural.
- Reacondicionamiento de detalles pequeñas en la estructura de concreto.
- Limpieza de las juntas de dilatación.
- Limpieza de drenes y en zona de apoyos.

La revisión visual de las condiciones de una estructura de concreto se basa en unos indicadores claves de un problema y son:

- Agrietamientos.
- Trastorno en la superficie: astillamiento; desintegración de la superficie; oquedades en la superficie; y descaramientos.
- Fugas de agua: humedad superficial y percolación o fugas a través de juntas o grietas.
- Movimientos: deflexiones; levantamientos; y asentamientos.
- Corrosión del metal: manchas por herrumbre; torones de cables postensados expuestos; y varillas de refuerzo expuestas.
- Varios: ampollas en membranas, recubrimientos; estancamientos de agua; y decoloración.

Las tareas de mantenimiento rutinario son ordinarias en comparación con el mantenimiento correctivo que son extraordinarias, en función de que sean labores que se deban llevar a cabo con una periodicidad fija o de que haya que efectuarlas sólo cuando la evolución del estado del elemento a mantener lo demande. Las tareas ordinarias de mantenimiento se refieren básicamente a la de inspección, limpieza y pintura; mientras que las tareas extraordinarias abarcan un amplio campo que va desde la rehabilitación del concreto deteriorado hasta la renovación de elementos de equipamiento como juntas, impermeabilización, etc. El mantenimiento rutinario es una labor substantiva que debe ampliarse para evitar que crezca el número de estructuras de concreto con daños o deterioros.

IV.2. - MEDIOS Y REQUISITOS NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO UNA INSPECCION.

Para realizar una inspección de las estructuras de concreto es necesario tener los medios adecuados para lograr una buena calidad de trabajo y llegar a conclusiones congruentes con la inspección de las mismas. Estos medios son indispensables en una inspección para garantizar la revisión completa y el estado de servicio de cualquier estructura de concreto y hacer las evaluaciones correspondientes de cada uno de sus elementos y de su funcionalidad. Los medios y requisitos más comunes para llevar a cabo una inspección se enuncian a continuación.

IV.2.1. - MEDIOS HUMANOS.

El manual para la inspección de mantenimiento de estructuras de concreto, en puentes por ejemplo, preparado por ASSHTO detalla claramente el perfil que debe cumplir el equipo que este a cargo de la inspección y sobre todo el ingeniero a cargo, que debe tener titulación de ingeniero, un mínimo de 10 años de experiencia en inspección de estructuras con cierto nivel de responsabilidad y, haber tomado un curso completo de preparación basado en el manual de formación de inspectores de estructuras de concreto.

En consecuencia con ello se define que la persona encargada de ocupar ese puesto será responsable de la exactitud de la inspección, el análisis de todo lo que se descubra en la misma y las correspondientes recomendaciones para corregir los defectos y/o deterioros encontrados.

En referencia al jefe del equipo de la inspección se le exige como mínimo una experiencia de 5 años en tareas de inspección de estructuras de concreto y haber realizado un curso de preparación como el antes mencionado.

Aunque pueden variar muy ligeramente, estas condiciones son muy similares a las exigidas en otros países. Esto no hace más que poner en manifiesto la gran importancia de establecer cursos de especialización para la formación de inspectores, del tipo de los establecidos en la Unión Europea y los EE.UU.

IV.2.2. - MEDIOS MATERIALES.

En las estructuras de concreto, la misma estructura habitualmente estará a la vista, pero en muchos casos será imposible la observación detallada sin unos medios auxiliares de acceso a los distintos puntos de la misma. Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal de la inspección a las distintas partes de la estructura se incluyen desde los medios más rudimentarios y básicos (cuerdas, cinturones de seguridad, escaleras, etc.) a sistemas muy complejos como las pasarelas y canastillas desarrolladas especialmente para la inspección de estructuras de concreto con cierta altura considerable, como en los puentes, los edificios multiniveles, cortinas, etc. pasando por sistemas integrados en la propia estructura de concreto (agujeros de acceso a pilas huecas, escaleras de acceso y vigas cajón en puentes).

A la hora de examinar y comparar posibilidades y rendimientos de los distintos sistemas es necesario tener en cuenta aspectos tales como el peso total, peso máximo que puede soportar el elemento, tiempos de maniobra, zona de la estructura que resulta accesible con dicho elemento, superficie ocupada por el elemento estructural en posición de servicio, etc.

Independientemente de los medios auxiliares que facilitan el acceso a las partes de la estructura de concreto que se deseen inspeccionar, no deben olvidarse los medios que sirven de auxilio a la propia vista humana, y pueden encuadrarse dentro de estos medios auxiliares: plomadas, niveles, lupas micrométricas, catalejos, cámaras fotográficas, etc.; hasta las cámaras de televisión y equipos de vídeo, y sobre todo los modernos endoscopios, que permiten ver y grabar en cintas de vídeo partes y zonas inaccesibles para el hombre.

IV.3.- EQUIPOS DE INSPECCION.

Para hacer la lista del equipo de una inspección es importante tener en consideración, si realmente va a ser de gran utilidad, si el costo es bajo, etc. Debe recordarse que si no se cuenta con transporte para el equipo es muy difícil transportarlo de otras formas, por el tiempo y la seguridad del equipo. Para determinar el equipo que se utilizará en una inspección es muy importante tener en cuenta el equipo existente y su utilidad. Existen muchos de estos y son muy variados pero los más útiles e imprescindibles son:

- Botiquín.
- Transportación.
- Botas.
- Nivel de mano.
- Caja de herramientas (llaves).
- Cinturón de herramientas.
- Cepillo de alambre.
- Crayones o gises.
- Escaleras.
- Pasarelas.
- Canastillas.
- Tirfos.
- Poleas.
- Cables de acero de varios diámetros (5/16").

- Reatas o lasos.
- Cintas métricas y metros.
- Radios (walky-talky).
- Cámaras fotográficas.
- Libreta de campo con pluma, plumón o lápiz.
- Chalecos salvavidas.
- Grietómetros.
- Chalecos antirreflejantes.
- Nudos de acero (perros).
- Arnesees.
- Otros.

El equipo para inspección se puede dividir en: equipo general, equipo para señalamiento y equipo para nivelación.

IV.3.1.- EQUIPO GENERAL.

Es el equipo básico que se utiliza y cada miembro de la brigada puede traer sus propias herramientas personales como: una pequeña navaja, un pequeño martillo, una lámpara sorda, etc. Herramientas personales para trabajo y seguridad son:

- Binoculares.
- Martillo ligero.
- Lámpara sorda.
- Navaja de bolsillo.
- Flexómetro.
- Libreta de campo con pluma, plumón o lápiz.
- Cámara (preferible 35 mm).
- Casco.
- Botas.

- Gafas.
- chaleco salvavidas.
- chaleco antirreflejante.

IV.3.2.- EQUIPO PARA SEÑALAMIENTO.

Debe utilizarse este equipo y es muy apropiado cuando se inspeccionan las calzadas o en zonas en donde se presente flujo de personas y/o vehículos:

- Conos de plástico.
- Triángulos.
- chalecos antirreflejantes.
- Señales de seguridad.
- Señales de desvíos.
- Banderas de señalamiento.
- Cinta de seguridad.

IV.3.3.- EQUIPO PARA NIVELACIÓN

Cuando el procedimiento de la inspección lo requiera y sea necesario, para la nivelación de la estructura de concreto o cualquiera de sus elementos se cuenta con el siguiente equipo:

- Tránsito o teodolito.
- Nivel de mano.
- Estadales.
- Cintas métricas.
- Balizas.
- Libreta de tránsito con pluma, plumón o lápiz.

IV.4.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCION.

Los síntomas que presenta la estructura ante una primera inspección visual, nos permite determinar el agrietamiento, las deformaciones y las flechas de la estructura, si existe carbonatación o corrosión.

Una inspección visual debe completarse con una auscultación con métodos topográficos, magnéticos, eléctricos y químicos para determinar corrimientos, posiciones de armadura, profundidades de carbonatación y contenido de ión-cloro y acercarse a la determinación del grado de deterioro de los elementos de concreto. Los ensayos estáticos y dinámicos sirven para conocer la variación de determinados parámetros generales de la estructura de concreto, como son la rigidez, el amortiguamiento, los modos de vibración, etc. Los diferentes elementos que deben ser inspeccionados normalmente son agrupados en cuatro grandes divisiones. Estas divisiones son importantes revisarse durante una inspección para ver su estado tanto estructural como funcional y son:

- Cimientos.
- Subestructura.
- Superestructura.
- Equipamientos.

En general deberán considerarse los siguientes puntos de inspección para cualquier estructura de concreto:

1. Juntas de dilatación.
2. Apoyos.

3. En elementos de concreto reforzado:

- Trabes.
- Columnas.
- Losas.

4. En elementos de concreto presforzado:

- Diafragmas.
- Nervaduras.
- Losa.
- Anclajes.

5. Subestructura:

- Socavación.
- Destrucción por impactos.
- Hundimientos.
- Desplomes.
- Agrietamientos.

6. Revisión de accesos y conos de derrame.

7. Drenaje de la superestructura y la subestructura.

Es importante observar todos los elementos de la estructura de concreto y tomar apuntes de los detalles y dimensiones, a fin de llenar correctamente el formato del reporte de la inspección.

1V.4.1.- SUPERESTRUCTURA.

La inspección de los elementos de la superestructura y los daños típicos que estos presentan varían notablemente dependiendo de que se trate de estructuras de concreto hidráulico, estructuras de concreto reforzado o pretensado u obras prefabricadas.

En el caso de las vigas, debe vigilarse la existencia de grietas y de corrosión del acero de refuerzo, principalmente, en las alas superiores y alrededor de las juntas. Asegurarse de que estén adecuadamente sostenidas, que no haya torceduras o desplazamientos, ni tengan daños debidos a impactos o pérdidas de sección por pandeo. Para las trabes, en caso de existir grietas, deben observarse por un tiempo para determinar si son activas y con la ayuda de un grietómetro medirlas. Debe tomarse en cuenta si han sido tratadas con inyecciones de resina epóxicas. Igual atención requieren las áreas que sufren desintegración de concreto y la existencia de las vibraciones o deflexiones excesivas. En los elementos pretensados es importante la vigilancia frecuente para que el agua no penetre por las fisuras ni por los anclajes extremos de los ductos, ya que cualquier inicio de corrosión es difícil de detectar.

IV.4.2.- SUBESTRUCTURA.

Dentro del término subestructura se incluyen estribos, pilas, losas, zapatas y sistemas de apoyo. Dentro de la amplia variedad de defectos y deterioros observables en este tipo de elementos, deben incluirse en un informe las fisuras y grietas que puedan observarse y que puedan ser indicios de otros problemas relacionados con la cimentación, el mal funcionamiento de apoyos, etc.

Pilas y estribos.- Revisar su cimentación, principalmente, cuando es directa para detectar cualquier inicio de erosión o socavación, la presencia y severidad de grietas, así como mencionar cualquier cambio en la posición o verticalidad. Revisar la existencia de grietas, ya que estas pueden ser indicios de socavación o hundimientos.

Apoyos. - Es importante asegurar su adecuado funcionamiento, cuidando que no existan daños en el anclaje, estén ajustados adecuadamente, libres de materiales extraños para que haya libertad de movimientos. Se debe asegurar que no exista:

- Grietas por compresión, intemperismo o sobrecarga.
- Humedad.
- Sedimentación.

Por lo regular los apoyos de los extremos de las estructuras de concreto son los más intemperizados y necesitan limpieza continua para asegurar su funcionalidad.

IV.4.3.- CIMENTACIÓN.

Normalmente la inaccesibilidad de la cimentación hace que las posibles fallas tengan que ser detectadas indirectamente en forma de movimientos excesivos, fisuración, etc.; o a través de otros signos en la superestructura. Por su interés con relación a posibles fallas en la cimentación cabe señalar la utilidad de dos actividades:

- Nivelación de los tableros y las losas superficiales.
- Inspecciones subterráneas y/o subacuáticas.

Algunas consideraciones que deben observarse, a fin de determinar las condiciones de la cimentación:

- **Nivel de la tierra natural.**- Detectar la presencia de deslaves, asentamientos o rugosidades que motiva la consolidación.
- **Cauces.**- En el caso de los puentes debe verificarse la suficiencia de cauce bajo la estructura, cerciorándose de que no este obstruido por depósitos de materiales de arrastre, como bancos de arena y crecimiento de vegetación que pueden modificar la orientación de la corriente, causando socavación a las pilas o a los estribos.
- **Losas.**- Revisar su nivelación para detectar asentamientos o alguna consolidación que la pueda llevar a la socavación y crear un desnivel en la subestructura y por consecuencia en la superestructura.
- **Zapatas.**- Es importante asegurar que no haya desplazamientos ni hundimientos debido a los movimientos del suelo y que no existan danos en la estructura debido a la humedad o la infiltración del agua.

IV.5.- **EQUIPAMIENTO.**

Dentro de los equipamientos se incluyen la inspección de juntas de dilatación, sistemas de drenaje, muros de contención, barandales, señalización, etc.

Juntas de expansión/dilatación.- Observar que tengan el espacio adecuado para los desplazamientos por efectos térmicos y que estén libres de basura.

Tableros y losas de concreto.- Buscar agrietamientos, descascaramientos, baches u otras evidencias de deterioro.

Sistemas de drenaje. - Revisar el drenaje para evitar encharcamientos, que los drenes estén libres de basura y funciones correctamente.

IV.6.- ENTREGA DE REPORTE.

El archivo de datos de cada elemento de la estructura de concreto inspeccionada puede considerarse formado por dos elementos: Una información sobre la estructura de concreto que permanece invariable (inventario) y una información que si se modifica con el transcurso del tiempo (datos de inspección).

Los puntos esenciales que comprenden un reporte de inspección son:

- Identificación.
- Características geométricas.
- Características funcionales.
- Características estructurales.
- Elementos auxiliares.
- Estado de mantenimiento.
- Observaciones.

En México se carece de una tradición en la inspección sistemática de las estructuras de concreto y no existen documentos tales como los manuales ASSHTO, etc. lo que llevo a adoptar una estructura de reporte que pretendía alcanzar los siguientes objetivos:

- Tratar de condensar la mayor cantidad de información posible.
- Reducir al mínimo las posibilidades de subjetivización de los datos recopilados de la inspección.
- Conseguir que un formato fuera guía de los elementos a inspeccionar en una estructura de concreto.

Por ello se adopto una estructura de campos relativamente complicada, pero en la que el inspector encargado de llenarla solamente tuviera que rellenar con cruces unos pequeños rectángulos, considerando el caso de la SCT para la inspección de puentes y otras estructuras de concreto. La estructuración en capítulos de la ficha debe contener en primer lugar los datos esenciales desde un punto de vista de inventario:

En el capítulo 1 (datos de identificación), además de contener información general, se dan una clasificación de la obra y detallan la singularidad. El capítulo 2 (características geométricas), incluye datos de la estructura. Por su parte, el capítulo 3 (características funcionales) recoge las limitaciones, principalmente de carga.

El capítulo 4 (características estructurales) se configura mediante campos de información en los que únicamente es necesario marcar con una cruz aquellas casillas que corresponden al caso estudiado. Estos campos de información son los siguientes:

- **Tipología general.** - estructura hidráulica, edificio, puente, carretera, etc.
- **Cimentación.** - superficial (zapatas, losas), profundas (cajones, pilotes, pantallas), y el material de la misma.
- **Estribos.** - tipología (muro frontal con aletas o muros en vuelta, estribo perdido, etc.), material del estribo (piedra, ladrillo, tierra armada, hormigón).

- **Pilas.**- No de pilas, tipología (muro corrido, fuste múltiple, prismáticas), sección, material (piedra, hormigón, otros).
- **Tablero o Losa.**- esquema estructural (alma llena o aligerada, celosía), directriz (recta o curva), sección transversal (losa maciza o aligerada), sección cajón, tablero nervurado, material.
- **Apoyos.**- No. de líneas de apoyo, No. total de apoyos, tipología, material.
- **Juntas.**- No. de juntas, longitud, tipología, material.

El capítulo 5 (elementos auxiliares), contiene información sobre defensas de pilas y estribos, etc. Finalmente, el capítulo 6 se dedica a recoger información sobre el estado de mantenimiento actual de la estructura de concreto.

Con el esquema descrito se configura una base de datos en la que existe un registro por estructura con información muy diversa tanto de sus características como de su estado de mantenimiento. A continuación se muestra un formato tipo, para el reporte de la inspección del estado físico de una estructura de concreto, estos formatos pueden variar cuando se trata de estructuras especiales, involucrando las características de cada estructura de concreto.

IV.6.1.- REPORTE DE INSPECCIÓN.

Un reporte de la inspección de elementos de una estructura de concreto debe tener información cualitativa y cuantitativa del estado físico, estructural y funcional de cada estructura de concreto inspeccionada. A esta información es muy importante archivarla para consultas subsecuentes de las acciones sobre la estructura de concreto y forma un historial propio de la estructura.

Puesto que las inspecciones pueden ser visuales o detalladas con equipo de inspección, debe señalarse el tipo de inspección que se realizara para tener bien claro el objetivo de la inspección y para obtener los resultados de inspección deseados.

El reporte de la inspección puede tenerse el formato y las características siguientes:

- información general de identificación sobre la estructura de concreto, incluyendo la entidad en que se encuentra así como su ubicación.
- Nombres de los integrantes del equipo de inspección así como sus puestos (medios humanos).
- Tipo de inspección a realizar (visual y/o detallada).
- Medios materiales para llevar a cabo la inspección.
- características geométricas de la estructura de concreto.
- Estado físico de la estructura de concreto.
- Estado funcional de la estructura de concreto
- Estado estructural de la estructura de concreto.
- Observaciones y conclusiones técnicas del estado de mantenimiento de la estructura de concreto.

A continuación se muestra la propuesta de un formato para la inspección de estructuras de concreto.

ENTREGA DE REPORTE

JEFE DE BRIGADA: ING.

FECHA: DD/MM/YYYY

ESTRUCTURA: X X X

TIPO: X X X

ORIGEN: LUGAR, EDO.

No. EXPEDIENTE: X X X

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:

TIPOLOGIA GENERAL:

OTRO, ESPECIFICAR:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

CONCRETO SIMPLE: ___ **CONCRETO REFORZADO:** ___ **CONCRETO PRESFORZADO:** ___

OTRO, ESPECIFICAR:

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES:

TIPOLOGIA GENERAL:

OTRO, ESPECIFICAR:

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES O DE SERVICIO:

TIPOLOGIA GENERAL:

OTRO, ESPECIFICAR:

ESTADO FÍSICO DE LA ESTRUCTURA:

SE APRECIAN SIGNOS: _____

NO SE APRECIAN SIGNOS: _____

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO)

ESTADO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA:

SE APRECIAN SIGNOS: _____

NO SE APRECIAN SIGNOS: _____

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO)

JEFE DE BRIGADA: ING.

FECHA: DD/MM/YYYY

ESTRUCTURA: X X X

TIPO: X X X

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:

ESTADO FUNCIONAL DE LA ESTRUCTURA:

BUEN: _____

MODERADO: _____

MAL: _____

MANTENIMIENTO:

DESCRIPCIÓN:

REPARACIÓN:

DESCRIPCIÓN:

OTRAS PARTICULARIDADES:

DESCRIPCIÓN:

EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE ACUERDO A LOS GRADOS A, B y C.

CALIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA: (A) / (B) / (C)

A. ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA O MÁS DEFICIENCIAS GRAVES QUE IMPLIQUEN UN PELIGRO INMINENTE PARA LA SEGURIDAD PÚBLICA O QUE PUEDAN OCASIONAR LA INTERRUPCIÓN PROLONGADA DEL USO DE LA ESTRUCTURA. ESTAS ESTRUCTURAS REQUIEREN DE UNA ATENCIÓN INMEDIATA.

B. AQUELLAS QUE PRESENTEN UNA O VARIAS DEFICIENCIAS GRAVES IMPORTANTES, QUE DE NO ATENDERSE PUEDEN EVOLUCIONAR HACIA DEFICIENCIAS. ESTAS ESTRUCTURAS REQUIEREN ATENCIÓN A MEDIANO PLAZO.

C. LOS QUE SOLO PRESENTEN DEFICIENCIAS MENORES CON EVOLUCIÓN LENTA Y ÚNICAMENTE REQUIEREN DE TRABAJOS RUTINARIOS DE MANTENIMIENTO.

IV.-

MANTENIMIENTO

PREVENTIVO.

V.1.- DEFINICION.

El mantenimiento preventivo lo comprenden aquellas actividades de mantenimiento en las estructuras de concreto que pueden ser realizadas por el personal capacitado y calificado de mantenimiento. Son actividades preventivas de mantenimiento comprendidas de una observación y una protección de los elementos de una estructura de concreto antes de y/o contra una posible falla parcial o total en la estructura y para el mejoramiento y funcionamiento adecuado de los mismos.

El mantenimiento preventivo es realizado siguiendo la aportación de los datos proporcionados por el conocimiento del estado de una estructura, es decir, después y/o en conjunto con los trabajos de inspección de la misma durante el proceso de mantenimiento rutinario. Para que de ella puedan efectuarse trabajos de protección y mejoramiento de la estructura. La Protección de la estructura es el proceso de mantener una estructura de concreto en su condición presente o restaurada, minimizando el potencial para el deterioro o daño en el futuro.

Los trabajos del mantenimiento preventivo están muy ligados a los del mantenimiento rutinario y se basa en el mismo principio de prever y evitar la aparición de fallas parciales o totales en la estructura de concreto. El mantenimiento rutinario es un conjunto de trabajos simples y ordinarios mientras que el mantenimiento preventiva es el conjunto de trabajos ordinarios y especiales que se le dan a la estructura de concreto. Para poder llevar a cabo el proceso de mantenimiento preventivo, es importante seguir los pasos anteriormente descritas en el proceso de mantenimiento rutinario, que a continuación se enuncian de nuevo.

Evidentemente, el primero de este proceso para aportar datos para llevar a cabo el conocimiento del estado de una estructura y para efectuar los trabajos de mantenimiento preventivo es la simple observación visual de la misma. Esta operación de evaluación visual, como se había descrita, se lleva a cabo por los equipos encargados del mantenimiento ordinario de la estructura de concreto para que de ella puedan extraerse datos útiles y mantener la estructura en buenas condiciones. Deben darse las tres condiciones básicas anteriormente descritas:

- Poder ver;
- Saber ver; y
- Saber lo que se quiere ver.

Las actividades de una inspección típica de una estructura de concreto consisten en:

- Inspección visual y analizando los señales que da el concreto.
- Revisión de los datos de ingeniería: documentación del diseño y construcción; registros de servicio y mantenimiento; y reporte de inspecciones periódicas.
- Examen del estado actual: levantamiento de diferentes diferencias; monitoreo; revisión y análisis de las juntas; muestreo y prueba; pruebas no destructivas; y análisis estructural.
- Reacondicionamiento de detalles pequeñas en la estructura de concreto de menor consecuencia.

La revisión visual de las condiciones de una estructura de concreto se basa en unos indicadores claves de un problema y son:

- Agrietamientos.
- Trastorno en la superficie.
- Fugas de agua.
- Movimientos: deflexiones; levantamientos; y asentamientos.

- Corrosión del metal.
- Varios: ampollas en membranas, recubrimientos; estancamientos de agua; y decoloración.

Las tareas de mantenimiento preventivo son ordinarias en comparación con el mantenimiento correctivo que son extraordinarias, en función de que sean labores que se deban llevar a cabo con una periodicidad fija o de que haya que efectuarlas sólo cuando la evolución del estado del elemento a mantener lo demande. Las tareas ordinarias de mantenimiento se refieren básicamente a la de inspección, limpieza y pintura, mientras que las tareas extraordinarias abarcan un amplio campo que va desde la rehabilitación del concreto deteriorado hasta la renovación de elementos de equipamiento como juntas, impermeabilización, etc.

El mantenimiento preventivo, así como el mantenimiento rutinario, es una labor substantiva que debe ampliarse para evitar que crezca el número de estructuras de concreto con daños o deterioros en México. Los medios necesarios para efectuar una inspección apropiada y adecuada se enuncian a continuación e involucran los mismos elementos importantes para este trabajo con el posible y frecuente uso de equipos más especializados y más afinados para una inspección particular.

V.2.- MEDIOS NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO UNA INSPECCION.

Para realizar una inspección de las estructuras de concreto es necesario tener los medios adecuados para lograr una buena calidad de trabajo y llegar a conclusiones congruentes con la inspección de las mismas. Estos medios son indispensables en una inspección para garantizar la revisión completa y el estado de servicio de cualquier estructura de concreto y hacer las evaluaciones correspondientes de cada uno de sus elementos y de su funcionalidad.

Los medios y requisitos más comunes para llevar a cabo una inspección se enuncian a continuación.

V.2.1.- MEDIOS HUMANOS.

El manual para la inspección de mantenimiento de estructuras de concreto preparado por ASSHTO detalla claramente el perfil que debe cumplir el equipo que este a cargo de la inspección y sobre todo el ingeniero a cargo.

En consecuencia, la persona encargada de ocupar ese puesto será responsable de la exactitud de la inspección, el análisis de todo lo que se descubra en la misma y las correspondientes recomendaciones para corregir los defectos y/o deterioros encontrados.

V.2.2.- MEDIOS MATERIALES.

En las estructuras de concreto la observación detallada será imposible sin unos medios auxiliares de acceso a los distintos puntos de la misma. Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal de la inspección a las distintas partes de la estructura se incluyen desde los medios y los sistemas desarrolladas especialmente para la inspección de estructuras de concreto pasando por sistemas integrados en la propia estructura de concreto.

Es necesario tener en cuenta aspectos tales como el peso total, peso máximo que puede soportar el elemento, tiempos de maniobra, zona de la estructura que resulta accesible con dicho elemento, superficie ocupada por el elemento estructural en posición de servicio, etc.

Independientemente de los medios auxiliares, no deben olvidarse los medios que sirven de auxilio a la propia vista humana, y pueden encuadrarse dentro de estos medios auxiliares: plomadas, niveles, lupas micrométricas, catalejos, cámaras fotográficas, etc.; que permiten ver partes y zonas inaccesibles para el hombre.

V.3.- EQUIPOS DE INSPECCION.

Para hacer la lista del equipo de una inspección es importante tener en consideración, si realmente va a ser de gran utilidad, si el costo es bajo, etc. Debe recordarse el transporte del equipo de inspección detallada es muy importante, por su utilidad en detectar señales en las estructuras de concreto. Los más útiles son:

- Botiquín.
- Transportación.
- Botas.
- Nivel de mano.
- Caja de herramientas (llaves).
- Cinturón de herramientas.
- Cepillo de alambre.
- Crayones o gises.
- Escaleras.
- Pasarelas.
- Canastillas.
- Tirfos.
- Poleas.
- Cables de acero de varios diámetros (5/16").
- Reatas o lasos.
- Cintas métricas y metros.
- Radios (walky-talky).
- Cámaras fotográficas.
- Libreta de campo con pluma, plumón o lápiz.
- Chalecos salvavidas.
- Grietómetros.
- Chalecos antireflejantes.
- Nudos de acero (perros).
- Arnases.

El equipo para usarse en una inspección regular de las estructuras de concreto puede dividirse en los siguientes:

Equipo General.- Es el equipo básico que se utiliza por cada miembro de la brigada Las herramientas personales para trabajo y seguridad son pero no limitadas a las siguientes:

- Binoculares.
- Martillo ligero.
- Lámpara sorda.
- Navaja de bolsillo.
- Flexómetro.
- Libreta de campo con pluma, plumón o lápiz.
- Cámara (preferible 35 mm).
- Casco.
- Botas.
- Gafas.
- Chaleco salvavidas.
- Chaleco antirreflejante.
- Otros.

Equipo para señalamiento.- El equipo apropiado cuando se inspeccionan las zonas en donde se presente flujo de personas y/o vehículos son pero no limitado a lo siguiente:

- Conos de plástico.
- Triángulos.
- Chalecos antirreflejantes.
- Señales de seguridad.
- Señales de desvíos.
- Banderas de señalamiento.
- Cinta de seguridad.

Equipo para nivelación. - Cuando el procedimiento de la inspección lo requiera y sea necesario, para la nivelación de la estructura de concreto o cualquiera de sus elementos se cuenta con pero no limitado al siguiente equipo:

- Transito o teodolito.
- Nivel de mano.
- Estadales.
- Cintas métricas.
- Balizas.
- Libreta de transito con pluma, plumón o lápiz.

Puesto que las inspecciones pueden ser visuales o detalladas con equipo de inspección, debe señalarse el tipo de inspección que se realizara para tener bien claro el objetivo de la inspección y para obtener los resultados de inspección deseados.

El reporte de la inspección puede tenerse el formato y las mismas características como las del mantenimiento rutinario con referencias a los equipos especializados utilizados:

- información general de identificación sobre la estructura de concreto, incluyendo la entidad en que se encuentra así como su ubicación.
- Nombres de los integrantes del equipo de inspección así como sus puestos (medios humanos).
- Tipo de inspección a realizar (visual y/o detallada).
- Medios materiales para llevar a cabo la inspección (equipo especializado utilizado, tolerancia de margen de error, etc.)
- características geométricas de la estructura de concreto.

- Estado físico de la estructura de concreto.
- Estado funcional de la estructura de concreto
- Estado estructural de la estructura de concreto.
- Observaciones y conclusiones técnicas del estado de mantenimiento de la estructura de concreto.

El reporte fotográfico consiste en una colección de fotografías tomadas a la estructura de concreto de la inspección, donde se muestra principalmente el estado de ella. Es de gran ayuda para ilustrar el estado de la estructura en todos sus elementos y sobre todo para mostrar los detalles de signos de la estructura.

Este es el complemento del reporte de la inspección. Es importante la cantidad y calidad de las fotografías para mostrar lo mas detallado posible los señales y signos de la estructura, con el fin de esbozar el estado de la estructura.

El formato para la inspección de estructuras de concreto es igual al anterior del mantenimiento rutinario.

V.4.- EVALUACION DEL ESTADO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

La evaluación del estado de las estructuras de concreto es un trabajo que involucran los procesos reactivos y/o proactivos. Generalmente, la evaluación tiene lugar como resultado de un signo visible de trastorno. El proceso de evaluación es importante en la determinación de factores tales como el estado físico, funcional y estructural de la estructura de concreto. Procesos importantes de esta evaluación son los métodos de laboratorio de prueba estándar para la evaluación del concreto.

Estas pruebas ayudan a comprobar el estado del concreto en los elementos de concreto analizados. En las Normas Mexicanas y las Normas Oficiales Mexicanas también se describen algunas de dichas pruebas para la evaluación del concreto.

V.5.- MÉTODOS DE PROTECCION DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

Existen muchos métodos y, ciertamente, una multitud de productos disponibles para proteger el concreto. El objetivo es reducir la corrosión de los metales en el concreto y los problemas relacionados, así como mejorar las características de la matriz de concreto que causan varios tipos de deterioro. Esto se logra por lo regular limitando la intrusión de humedad, cloruros, dióxido de carbono y otros contaminantes dentro del sub-estrato de concreto, por medio de tratamientos de superficie o principios electroquímicos. Los sistemas protectores también incluyen materiales y métodos que incrementan la capacidad de la superficie de concreto para resistir abrasión, impacto u otras influencias perjudiciales. A continuación, se presenta una visión general de diversos sistemas disponibles para proteger el concreto, junto con una breve descripción de las características de cada uno.

V.5.1.- TRATAMIENTO DE SUPERFICIE.

Durante años, los tratamientos de superficie han sido el método más común de protección. El objetivo de un tratamiento de superficie es limitar la corrosión reduciendo al mínimo el agua libre en los capilares del concreto. Al mismo tiempo, los tratamientos de superficie evitan que emigre más humedad (y la intrusión de cloruros) a través de las grietas, y que alcance el refuerzo. Esta es la clasificación general para tratamientos de superficie que se utiliza en la "Guía de Reparación del Concreto" en la ACI 546.R-96.

- Selladores penetrantes: generalmente por debajo de la superficie;
- Selladores de superficie: hasta 250 mm;

- Recubrimientos multicapas: de 250 a 760 mm;
- Membranas: de 760 mm a 6.25 m; y
- Sobrecubiertas: más de 6.25 m.

V.5.1.1.- SELLADORES PENETRANTES.

Por definición, los selladores penetrantes están dentro del sub-estrato del concreto. La profundidad de penetración varía según el producto, las propiedades del concreto, la existencia de contaminantes y, en cierta medida, la preparación de la superficie.

Los selladores penetrantes no están sometidos a abrasión, generalmente no se degradan debido a la exposición a rayos ultravioleta (UV), no puentean las grietas no movibles y no alteran apreciablemente la apariencia. No ocultan los mantenimientos de concreto ni detienen la penetración de agua a través de las grietas. Debido a que estos productos están por debajo de la superficie de concreto, son excelentes para usarse en tableros de estacionamientos y de puentes. Con frecuencia se utilizan en combinación con recubrimientos para mejorar la durabilidad.

En este grupo se incluyen también: aceite de linaza hervida, silanos, silóxanos, inhibidores de corrosión emigrantes, ciertos epóxicos y metacrilatos de alto peso molecular. Debido a que la mayor parte de estos productos tiene como propósito reducir la humedad, y por lo tanto la intrusión de cloruros, ellos pueden reducir o retardar el comienzo de la corrosión futura y la degradación por congelación y deshielo. El especificador debe verificar las emisiones del compuesto volátil orgánico (*volatile organic compound* - VOC) con el fabricante, ya que esto podría ser un problema en algunas aplicaciones.

V.5.1.2.- SELLADORES DE SUPERFICIE Y RECUBRIMIENTOS MULTICAPAS.

Dependiendo de su aplicación, existen muchos productos que podrían clasificarse como selladores de superficie (grosor de la película seca de 250 mm o menos), o como un recubrimiento multicapas de 250 a 760 mm de grosor de película seca. Los selladores de superficie se usan para proteger plataformas y superficies verticales. Debido a que los mantenimientos del concreto pueden reflejarse a través de ellas, un recubrimiento multicapas podría ser más apropiado allí donde la apariencia es un criterio más importante, como en el caso de las fachadas. Muchos de estos productos impermeabilizan efectivamente la superficie.

Algunos fabricantes de elastoméricos tienen datos que indican que sus productos proporcionan buena resistencia anticarbonatación que podría ser benéfica cuando el recubrimiento del concreto sobre el refuerzo es insuficiente.

En muchos casos, la permeabilidad al agua y al vapor son parámetros importantes para la selección del producto. Aunque la mayoría de los elastómeros no puentea las grietas móviles, pueden ser efectivos en puentear grietas no móviles. Sin embargo, existen algunos recubrimientos elastoméricos que puentean pequeñas grietas móviles si están apropiadamente detalladas.

En este grupo se incluyen epóxicos, poliuretanos, metil metacrilatos, uretanos curados en húmedo, resinas acrílicas, ciertas pinturas (a base de aceite y látex) y elastómeros de silicón a base de agua.

La selección de un producto individual puede depender de su capacidad para respirar (o en algunos casos para actuar como una barrera de vapor), así como para proporcionar resistencia suficiente a la penetración de agua. Muchos de estos productos se ven afectados por los rayos ultravioleta (UV) y se desgastan bajo la abrasión de la superficie. La resistencia al derrape puede verse reducida, a menos que se fortifique con un agregado apropiado.

V.1.5.3.- MEMBRANAS.

Las membranas generalmente se aplican a la superficie del concreto para aplicaciones horizontales. Éstas alteran significativamente la apariencia del concreto, pueden puentear pequeñas grietas movibles y ocultan la mayoría de los mantenimientos realizados sobre el. Con la introducción de agregados apropiados, las membranas proporcionan adecuada resistencia a la abrasión y durabilidad cuando se requiere.

Debido a que efectivamente reducen la introducción de humedad y de cloruros en el concreto, el comienzo de la corrosión futura puede retrasarse significativamente. Cuando está expuesto directamente a la intemperie, la degradación por radiación ultravioleta es un problema potencial. Debido a las regulaciones del compuesto volátil orgánico, la mayoría de los fabricantes han desarrollado productos con pocas, o sin, emisiones. Sin embargo, casi en todos los casos, no tienen un largo historial del uso en servicio.

En esta categoría están incluidos los uretanos, acrílicos, epóxicos, neoprenos, cemento, concreto polímero, ciertos metil metacrilatos y productos asfálticos.

Se requiere mantenimiento frecuente de las membranas expuestas, especialmente en estructuras de estacionamientos, aunque generalmente no es costoso. Existen membranas disponibles que son autocurables y que serían de gran beneficio por debajo de sobrecubiertas soterradas.

Evite situaciones en las que el concreto esté encapsulado con membranas no respirantes en cada lado. En general, las membranas ofrecen buenas propiedades de elongación y excelente permeabilidad al agua, pero únicamente permeabilidad marginal al vapor. Las membranas encima de losas sobre rasante o en situaciones donde existe un impulso de vapor desde abajo deben aplicarse con la mayor precaución. Ha habido casos en que algunas membranas no son compatibles con ciertos productos patentados para el mantenimiento del concreto.

V.5.1.4.- SOBRECUBIERTAS.

Las sobrecubiertas generalmente están adheridas al concreto y agregan un peso proporcional a su espesor, que se debe considerar en el análisis de las estructuras existentes. Puede agregarse refuerzo adicional. Si se instalan para actuar de manera compuesta con la estructura existente, las sobrecubiertas pueden incrementar la resistencia. Las sobrecubiertas pueden ser formuladas para reducir la introducción de humedad, mejorar la durabilidad y la resistencia a la corrosión, así como para evitar la intrusión de cloruros. Muchos de los productos disponibles están reforzados con fibras para reducir la contracción plástica.

Debido al espesor adicional, la sobrecubierta no ofrece la oportunidad de mejorar el drenaje. Aunque las sobrecubiertas inicialmente puentean las grietas, las grietas en movimiento pueden reflejarse a través de ellas. Con mucha frecuencia, las sobrecubiertas se usan para resaltar la apariencia y son muy efectivas para ocultar las apariencias que cubren.

En esta categoría se incluyen formulaciones para concreto de bajo revenimiento, concreto polimerizado, epóxicos, ciertos metil metacrilatos y concreto modificado con polímeros. Para sobrecubiertas adheridas, es mejor seleccionar un producto que tenga propiedades similares al concreto para reducir al mínimo problemas de compatibilidad. Debido a que muchos de estos productos son cementantes, pueden evitarse fácilmente los problemas de permeabilidad al vapor. Los productos que contienen epóxicos y polímeros deben ser evaluados en cuanto a la degradación potencial por los rayos ultravioleta.

V.5.2.- PROTECCIÓN CATÓDICA.

El concepto detrás de este método de control de la corrosión es convertir en catódico el refuerzo ahogado, en oposición al anódico en el que ocurre corrosión. El acero de refuerzo está eléctricamente conectado a un metal sacrificial que se convierte en ánodo. Esto puede hacerse con energía eléctrica (sistema de corriente impresa) o sin energía (sistema pasivo).

Existen varios tipos de sistemas de protección catódica disponibles. La diferencia principal entre unos y otros es el sistema de ánodo y su uso. La protección catódica no reemplaza el refuerzo corroído. Tienen que realizarse todavía todos los mantenimientos estructurales requeridos.

Actualmente no se recomienda la protección catódica para el concreto presforzado debido a que éste podría volverse frágil con el hidrógeno de los aceros de alta resistencia. Si en la estructura hay refuerzo revestido de epóxicos, debe realizarse una determinación de la continuidad eléctrica para establecer si sería efectiva la protección catódica.

La protección catódica solamente está dirigida al control de la corrosión futura. Habrá que usar otras técnicas en cuestiones tales como apariencia, durabilidad y comportamiento del concreto reparado. A diferencia de algunas técnicas y productos que ahora están entrando en el mercado, la protección catódica se ha usado en una u otra forma durante años. Los pilares de puentes se encuentran entre las primeras aplicaciones. La mayoría de los fabricantes pueden proporcionar, al menos, un registro parcial de aplicaciones similares que ahora se utilizan comúnmente.

V.5.3. - INHIBIDORES DE CORROSIÓN.

Se están desarrollando nuevas tecnologías para aumentar o mejorar el arsenal de los sistemas de protección. Entre tales productos se encuentran los inhibidores de corrosión, que se agregan al concreto. Los inhibidores de corrosión sirven para complementar la capacidad natural del concreto para proteger el refuerzo ahogado, formando una capa de óxido pasivante en el acero. Esto ocurrirá normalmente cuando la alcalinidad del concreto se mantenga a un pH de aproximadamente 12.

El producto más comúnmente usado contiene nitrito de calcio. La cantidad que se agrega al concreto se basa en los cloruros anticipados a los que el concreto estará expuesto durante un periodo dado de tiempo.

Después de haberse empleado exitosamente durante aproximadamente 20 años, este producto es apropiado para usarse en reemplazos completos de losas, así como en sobrecubiertas de concreto para tableros de puentes y plataformas de estructuras de estacionamientos.

Recientemente se ha introducido una nueva generación de productos con dos diferentes composiciones químicas. Éstos se aplican a la superficie del concreto existente y están diseñados para migrar hacia el refuerzo ahogado a fin de protegerlo contra la corrosión futura. Estos productos se conocen generalmente como inhibidores migratorios contra corrosión o *Migrating Corrosion Inhibitors* - MCI.

Un producto basado en la tecnología del nitrito de calcio trabaja de la misma manera que el aditivo que ya está en uso. El otro es una combinación a base de agua de surfactantes y aminosales. El fabricante asegura que emigra como un vapor a través del concreto para formar una película protectora delgada monomolecular sobre el acero de refuerzo. Ellos aseguran que los químicos inhibidores de corrosión pueden emigrar hasta 40 mm en 24 días. Extensas pruebas han indicado que ambos productos son efectivos para reducir las tasas de corrosión en el concreto contaminado con cloruros.

Sin embargo, todavía es demasiado pronto para asegurar los beneficios totales que pueden lograrse al incorporar los inhibidores migratorios contra corrosión como parte del sistema de protección. Si en realidad prueban ser efectivos, ellos podrían resolver el problema de "halo".

V.6.- FACTORES EN LA SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN.

Así como uno evalúa la condición de la estructura de concreto antes de seleccionar una técnica de mantenimiento preventivo o de protección, los requisitos para cada proyecto deben ser determinados y cuidadosamente evaluados antes de seleccionar un sistema de protección. Aunque podrían ser adecuados varios sistemas diferentes, los parámetros que son únicos para una estructura particular podrían hacer más atractivo un sistema que otro.

Las implicaciones que un sistema pudiera tener sobre un proyecto particular, incluyendo el potencial de un mantenimiento futuro, necesitan ser tomadas en cuenta antes de la selección. Los factores que deben considerarse incluyen el historial del sistema, los costos iniciales y de largo plazo, apariencia final, medio ambiente, compatibilidad y durabilidad.

V.6.1. - HISTORIAL DEL SISTEMA.

Cierto número de nuevos sistemas para la protección del concreto casi no tiene un historial de servicio. Aunque los resultados de prueba pudieran ser alentadores, la mayoría de los ingenieros y propietarios se muestran renuentes a incorporar tales sistemas en sus proyectos. Sin embargo, existen circunstancias en que los problemas son tan agudos que únicamente la nueva tecnología podría ser la respuesta. Es crucial que el propietario esté consciente de los riesgos. El ingeniero debe obtener el total consentimiento del propietario para cualquier riesgo que sea aceptable en relación con el uso de un sistema sin un historial demasiado largo.

V.6.2. - COSTOS INICIALES Y DE LARGO PLAZO.

El costo es un factor que el propietario no puede ignorar; la mayor parte de los sistemas protectores tiene costos de mantenimiento junto con costos iniciales. Por ejemplo, los selladores y pinturas necesitan ser reaplicados, los sistemas de protección catódica deben monitorearse y ciertos componentes se tienen que reemplazar. En algunos casos, el costo inicial parece muy alto.

Sin embargo, cuando se evalúan sobre el ciclo de vida del método, su uso en un proyecto de mantenimiento preventivo puede ser muy competitivo. Además, si el tiempo fuera de servicio de una estructura es una consideración importante, el alto costo inicial de un método que extienda el uso de la instalación sin interrupción para mantenimientos futuros del concreto bien puede valer la pena.

V.6.3.- APARIENCIA FINAL.

Al igual que con el programa de protección mismo, los propietarios necesitan saber directa y claramente lo que están comprando; en otras palabras, "¿Cómo se verá?" Los ingenieros deben también ver a largo plazo y ellos necesitan preguntarse: "¿Qué aspecto tendrá el sistema después que haya estado en el lugar algunos años?" y "¿Existen factores ambientales que afecten la manera en que un sistema de protección se comporta a lo largo de los años?"

Las respectivas respuestas a estas preguntas deben de darse una convicción total del uso de cualquier de protección del concreto. La parte estética de una estructura de concreto para el propietario de la misma es un factor sumamente importante para que la estructura luzca bonita y atractiva.

V.6.4.- ACATAMIENTO DE CONDICIONES DEL COMPUESTO VOLÁTIL ORGÁNICO.

Para propósitos regulatorios, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU. (*Environmental Protection Agency - EPA*) define un compuesto volátil orgánico como "cualquier compuesto de carbón, excluyendo el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, cloruros o carbonatos metálicos y amonio, que participa en las acciones fotoquímicas atmosféricas". El cumplimiento de las regulaciones actuales del compuesto volátil orgánico es un factor importante que se debe considerar al seleccionar un sistema de protección. Existen dos preocupaciones con relación a los compuestos volátiles orgánicos:

- 1) Los fuertes olores desagradables de los productos a base de solventes que se emiten son un problema en espacios interiores escasamente ventilados; y
- 2) La reacción fotoquímica entre óxidos de nitrógeno y el compuesto volátil orgánico que produce ozono.

Desafortunadamente en México, no existen estas regulaciones y leyes gobernantes contra el uso de algunos productos de protección del concreto que contiene el compuesto volátil orgánico y muchos de los productos en los que han confiado los ingenieros en el pasado ya no se encuentran disponibles en sus formulaciones originales. Para satisfacer las regulaciones de varios países que tienen tales leyes se han introducido en el mercado productos con bajo compuesto volátil orgánico. Las últimas versiones de algunos de estos productos realmente no tienen un historial aceptable. Una vez más es de importancia crítica que el propietario entienda este dilema.

En los EE.UU. desde el año 1991, la EPA, la industria de los recubrimientos y las agencias gubernamentales han estado tratando de alcanzar acuerdos mutuos sobre la limitación de emisiones del compuesto volátil orgánico para toda la nación. El objetivo de estas tratativas es establecer alguna consistencia que permita a los especificadores comparar los productos y las afirmaciones hechas por los diversos fabricantes.

V.6.5. - COMPATIBILIDAD.

Es muy importante revisar la condición de la superficie al considerar cualquier sistema de protección. Muchos de los productos patentados comúnmente utilizados en las protecciones podrían tener una química no compatible con los recubrimientos especificados para usarse sobre ellos. Así pues, el potencial para problemas de compatibilidad debe investigarse nuevamente. Antes de empezar un trabajo de producción, el sistema seleccionado debe probarse en el sitio de la obra.

Además, la eficacia de los selladores penetrantes se ve grandemente influida por la presencia de selladores o recubrimientos existentes. La mayoría de los fabricantes requieren la aprobación de un sustrato del recubrimiento antes de extender una garantía. La remoción de los recubrimientos existentes es muy costosa, a veces sólo se requiere una remoción parcial que podría dar como resultado ahorros significativos en los costos del proyecto.

V.6.6.- DURABILIDAD Y COMPORTAMIENTO.

Al evaluar un sistema de protección, el ingeniero debe determinar las expectativas del propietario respecto a la vida del sistema de mantenimiento. Entre otros factores que hay que considerar, están las condiciones ambientales (exposición a lluvias impulsadas por el viento, variaciones de temperatura, lluvia ácida, exposición a dióxido de carbono, etc.), exposición a rayos ultravioleta, extensión y naturaleza del tránsito (para plataformas) y el uso de la estructura.

V.6.7.- REQUISITOS DE APLICACIÓN.

Antes de seleccionar un sistema de protección, especialmente los tratamientos de superficie, existe cierto número de condiciones básicas que necesitan ser satisfechas. Éstas incluyen:

- Las superficies deben estar secas y sanas. La preparación de la superficie debe implementarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Cabe señalar que los fabricantes de algunos productos afirman que pueden instalarse en superficies húmedas y en un tiempo considerablemente menor a 28 días en el caso de una estructura recién construida de concreto hidráulico fresco.
- Las superficies deben ser relativamente lisas cuando utilicen membranas aplicadas en forma líquida.
- Deben considerarse las condiciones de ventilación y la humedad al seleccionar los productos.
- Deben considerarse las limitaciones de temperatura durante la instalación al programar el trabajo.

No siempre existen las condiciones ideales y la elección de un sistema de protección puede ser influida más por las condiciones de instalación que por otros factores. Por ejemplo, habría que seleccionar productos con una baja emisión de compuestos volátiles orgánicos para emplearse en espacios interiores pobremente ventilados, a fin de satisfacer las regulaciones actuales y para cuidar la salud de los trabajadores.

Sin embargo, este método podría ser más costoso y podría no tener el historial de los productos tradicionales que el ingeniero probablemente ha utilizado exitosamente en el pasado. Otro ejemplo de las influencias que afectan la elección de un recubrimiento sobre una exposición exterior podría ser las limitaciones de las bajas temperaturas.

Quizás el programa de trabajo indique que sea necesario aplicar el recubrimiento final en el otoño. Un factor como éste, que tenga un potencial para un efecto significativo sobre el éxito del proyecto, debería tener prioridad sobre otros parámetros.

A continuación se hace el resumen de los tratamientos y de las pruebas de selladores y recubrimientos para las estructuras de concreto reforzado.

TIPOS	CLASIFICACION(ES) GENERAL(ES)	REQUISITOS DE INSTALACION	CARACTERISTICAS DE DURABILIDAD	CARACTERISTICAS DE RENDIMIENTO
Selladores.	Aceite de linaza hervido. Pulverizado. Aproximadamente 1°C o más.	Superficie limpia, seca y sana. Pobre resistencia a radiación UV.	Mejora la durabilidad en Congelación y deshielo. Se requieren aplicaciones frecuentes.	Oscurece ligeramente el concreto. No puentea las grietas.
	Alkil-alkoxy-silano. Siloxanos.	Superficie libre de pretratamientos. Pulverizada, aplicada con brocha o con rodillo. Se requiere ventilación.	Mejora la durabilidad en congelación y deshielo. Reduce la penetración de sal. Reduce la velocidad de corrosión.	Resistencia mejorada a la absorción de agua y a la corrosión del refuerzo. No puentea las grietas.
	Metacrilato de alto peso molecular.	Superficie limpia, seca y sana. Pulverizada, aplicada con brocha, con rodillo o escoba de goma.	Resistencia variable a radiación UV. Evita que la humedad penetre las grietas.	Sella las grietas.
Recubrimientos.	Epoxy. Sistema de uretano o capa superior epóxica. Sistema de capa superior asfáltica ahulada. Uretano. Sistema de membrana/capa superior de uretano.	Superficie limpia, seca y sana. Pulverizada, aplicada con brocha, con rodillo o escoba de goma. Aproximadamente 10°C o más. Se requiere ventilación. Típicamente se requiere una superficie nivelada.	En general, mejora la durabilidad en congelación y deshielo. Resistencia a abrasión de regular a buena. Resistencia variable a radiación UV.	Generalmente buena resistencia a la absorción de agua. Resistencia desconocida a la corrosión del refuerzo. Puentes pequeñas grietas.
Capas Superpuestas.	Concreto. Concreto con polímeros. Concreto modificado con polímeros	Superficie limpia, seca y áspera. Aplicado a mano o a máquina. Generalmente por encima de congelación. Puede requerirse ventilación.	Mejora la durabilidad en congelación y deshielo. Excelente resistencia a abrasión.	Puede agregar peso. Es posible el acabado arquitectónico. Protege el concreto y el refuerzo. Puede mejorar la capacidad estructural.

TABLA V.1. - Resumen de Tratamientos de Superficie.

En fin, los sistemas de protección del concreto son una parte necesaria y valiosa de cualquier programa exitoso de mantenimiento preventivo. Gracias a la tecnología mejorada, las técnicas están cambiando.

El especificador debe estar actualizado con los más recientes desarrollos y evaluar cuidadosamente los productos a la luz de cada proyecto individual. Solamente entonces podrá extenderse la vida útil de las reparaciones y el propietario podrá lograr beneficios en los costos.

IV.-

MANTENIMIENTO

CORRECTIVO.

VI.1 DEFINICION.

El mantenimiento de estructuras de concreto sigue siendo una actividad sumamente importante para mantener y proteger la integridad y la seguridad de los componentes y elementos estructurales de concreto. La inversión de tiempo, dinero, personal y material para llevar a cabo esta actividad rinde muchos beneficios tales como económicos, funcionales y sociales.

El objetivo final de esto es la conservación de todas las condiciones de servicio de mucha de la infraestructura existente, la mayoría constituida por las estructuras de concreto, en el mejor nivel posible. La negligencia y la falta de una cultura de mantenimiento son algunos de los factores que ponen en peligro las estructuras de concreto y por consiguiente ponen en riesgo la vida de la gente que hace uso de estas estructuras. Las consecuencias a corto, mediano o largo plazo son graves en pérdidas económicas, sociales y humanas por la falta de buen juicio y el mal manejo de recursos.

Sin embargo, la necesidad de realizar un mantenimiento correctivo no se debe a la falta del mantenimiento ordinario. Las acciones agresivas de los desastres naturales, fenómenos impredecibles e imprevistos, también pueden ser causas del colapso o falla de una estructura de concreto. Si se consideran las acciones del sismo, vientos, la lluvia, los huracanes, etc. puede verse que la naturaleza también puede provocar daños y deterioros en las estructuras de concreto.

El mantenimiento correctivo son aquellas actividades de mantenimiento en las estructuras de concreto que suelen ser realizadas después de presentarse una falla parcial o total en la estructura. Son una serie de actividades mayores y extraordinarias comprendidas de un trabajo de rescate y de restauración de la estructura a su original estado de funcionamiento.

La Reparación es el reemplazo de los materiales, componentes o elementos deteriorados, dañados o defectuosos de una estructura de concreto mientras que los sistemas de reparación son los materiales y las técnicas usadas para reparación.

El Reforzamiento es el proceso de reponer la capacidad de los componentes o elementos debilitados a su capacidad de diseño original, o incrementar la resistencia de los componentes o elementos de una estructura de concreto.

Evidentemente, es un trabajo bastante poco económico. Los procesos correctivos de realizar en este tipo de mantenimiento principalmente incluyen el rediseño, redimensionamiento, la reestructuración y la reconstrucción de la estructura de concreto y algunos de las fallas que puedan presentarse son quiebras y colapsos.

VI.2.- METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Las actividades de un mantenimiento correctivo, o sea una reparación de elementos o componentes de una estructura de concreto debe seguirse una metodología. Es esencial una comprensión básica de las causas subyacentes de las deficiencias del concreto para realizar evaluaciones significativas y mantenimiento correctivo exitoso.

Si se entiende la causa de una deficiencia es más probable que sea seleccionado un sistema de mantenimiento correctivo apropiado y, consecuentemente, que el mantenimiento sea exitoso y se obtenga la máxima vida de ello. Deben diferenciarse los síntomas observaciones de una deficiencia, con respecto de las causas, y no los síntomas, siempre que sea posible.

Por ejemplo, el agrietamiento es un síntoma de sobre-esfuerzo, que puede tener una variedad de causas. La selección de la técnica de mantenimiento correcta para el agrietamiento depende de saber si se debe a cambios térmicos repetidos, sobrecarga accidental, agrietamiento por secado, diseño o construcción inadecuados, o a alguna otra causa. Únicamente después de que se conozcan las causas pueden tomarse decisiones racionales respecto de la selección de un sistema apropiado de mantenimiento.

Esta selección de sistema apropiado para efectuar el mantenimiento correctivo en elementos o componentes de las estructuras de concreto suele consistir en:

- La Evaluación.
- Relación de las observaciones con las causas.
- Selección de los métodos y los materiales de reparación.
- Preparación de planos y especificaciones.
- Selección de un contratista.
- ejecución del trabajo de mantenimiento correctivo.
- Control de calidad.

VI.2.1.- LA EVALUACION.

La evaluación tiene que realizarse para familiarizar con la condición presente de la estructura de concreto. Esta evaluación puede incluir una revisión de los documentos disponibles de diseño y construcción, análisis estructural de la estructura en su condición deteriorada, revisión de los datos de la instrumentación estructural, revisión de los registros de cualquier trabajo previo de reparación realizado, revisión de los registros de mantenimiento rutinario y/o preventivo, examen visual, pruebas destructivas (corazones) y no destructivas, así como análisis de laboratorio de muestras de concreto.

Al terminar esta evaluación, el personal encargado con su realización debe tener bien comprendida la condición de la estructura de concreto y puede intuir las causas de cualquier deterioro notado.

VI.2.2. - RELACION DE LAS OBSERVACIONES CON LAS CAUSAS.

después de haber terminado la evaluación de una estructura se usan las observaciones y otros datos complementarios para determinar el mecanismo o los mecanismos de la causa del problema. Puesto que muchas deficiencias son causadas por más de un mecanismo, es necesaria la comprensión básica de las causas de deterioro del concreto para determinar lo que ha ocurrido a una estructura particular de concreto. Es muy importante esta relación, con frecuencia es el factor decisivo entre el éxito o fracaso de un mantenimiento preventivo.

Enfáticamente necesario, antes de comenzar con cualquier propuesta de mantenimiento correctivo, hay que asegurarse de que los problemas designados para reparación hayan sido apropiadamente evaluados en cuanto a la causa-efecto, y grado de influencia, que esos problemas pueden tener sobre la serviciabilidad e integridad presente y a largo plazo de la estructura. Únicamente después de haber terminado la evaluación de la relación entre las observaciones y las causas, el ingeniero puede desarrollar un plan de acción de remedio apropiado, seleccionar los materiales y prepara los planos y las especificaciones.

VI.2.3. - SELECCION DE LOS METODOS DE REPARACION Y LOS MATERIALES.

La selección de los métodos de reparación y los materiales apropiados debe constarse de las siguientes consideraciones:

- Ajustes necesarios para remediar la causa del deterioro; tal como el cambio del patrón del drenaje del agua, la corrección del asentamiento en el cimiento, la eliminación de las fuentes de danos por cavitación, tomar en cuenta los movimientos diferenciales, o la eliminación de la exposición a las sustancias dañinas.
- Las limitaciones como el clima, el acceso a la estructura, imposiciones del propietario de la estructura, la vida de diseño de la estructura reparada, etc.

- Problemas inherentes incorregibles como la exposición continua y constante a un medio ambiente agresivo.
- Limitaciones ambientales gobernadas por la ley, el propietario y el sentido común como son la contaminación del área de reparación, el ruido, etc. que pueden ser mínimas o monumentales.
- Selección del método permanente o temporal de reparación.
- La seguridad estructural antes, durante y después de la reparación.
- La técnica del uso de los materiales y métodos de reparación disponibles para evitar complicaciones causadas por la insuficiencia de literatura del fabricante del uso de una técnica bajo circunstancias particulares.
- Las capacidades de los contratistas de lograr un trabajo de reparación exitoso con el uso de materiales especializados o procedimientos poco comunes.
- La economía de la combinación de los métodos y los materiales que resulten ser técnicamente posibles.

VI.2.4.- PREPARACION DE PLANOS Y ESPECIFICACIONES.

El proceso de preparación de los planos del proyecto de reparación y/o especificaciones debe realizarse con tanta flexibilidad como sea posible, puesto que la totalidad del daño del concreto puede ser no completamente conocida hasta que empieza la remoción de concreto.

Una inspección cuidadosa de la condición - realizada tan cerca como sea posible - debe ayudar a minimizar las variaciones en las estimaciones.

Debe considerarse también las disposiciones especiales para algunas contingencias como la redistribución de cargas en la reparación de losas continuas, vigas, sistemas de trabes; el apuntalamiento y arrostramiento para la reparación de losas, vigas o columnas.

Las especificaciones efectivas de reparación deben ser muy claras y concisas. Todo el alcance de la obra, los requisitos de materiales y las consideraciones de aplicación de los estándares del rendimiento deben ser detallados y específicos.

VI.2.5. - SELECCION DE UN CONTRATISTA.

Esta es una de las fases más importantes de un trabajo de mantenimiento correctivo en una estructura de concreto. El contratista debe ser calificado y capacitado, con pericia en la reparación planeada o en cada tipo de reparación planeada. Debe cumplirse también con la documentación apropiada de acuerdo con la ley para poder ser solicitada para efectuar un trabajo de mantenimiento correctivo.

VI.2.6. - EJECUCION DE LA OBRA.

La ejecución del trabajo de mantenimiento correctivo tiene que realizarse de conformidad con los planos y las especificaciones para lograr éxito. De hecho, el trabajo de concreto en obras de mantenimiento correctivo requiere mayor atención a los detalles y buena práctica que la necesaria para una construcción nueva.

El potencial de aparecer grietas en estas colocaciones es mucho mayor que durante la colocación de concreto en una construcción nueva, debido al grado mayor de fijación. además, todas las partes involucradas deben buscar lo inesperado.

VI.2.7.- CONTROL DE CALIDAD.

El control de calidad de todo el proceso de reparación es muy importante. Tanto la observación cuidadosa como la implementación de un programa de pruebas apropiadas son de suma importancia y puede incluir la toma de corazones para ensayos de compresión, de adherencia o el examen petrográfico.

VI.3.- METODOS Y TECNICAS DE REPARACION.

Los métodos y las técnicas de reparación de danos en estructuras de concreto cubren la remoción del concreto deteriorado existente, la preparación de la superficie de concreto para recibir el nuevo material, la preparación y reparación del refuerzo y los distintos métodos para colocar los materiales de reparación. Como había sido mencionado anteriormente, el cuidado que se tenga durante las fases de remoción y preparación de un proyecto de reparación puede ser el factor mas importante en la determinación de la longevidad de la reparación, sin importar el material o la técnica usada; considerando que la reparación incluye el reemplazo de componentes deteriorados, un trabajo muy delicado de realizar por la incorporación de nuevos elementos.

VI.3.1.- REMOCION DEL CONCRETO.

La reparación o rehabilitación de la parte o elemento de una estructura de concreto involucrara la remoción del concreto deteriorado, dañado o defectuoso. Desafortunadamente, existen muy pocas guías disponibles para proporcionar asistencia en la selección de la mejor técnica o el mejor método de remoción que debe usarse. En la mayoría de los proyectos de reparación del concreto, las zonas del concreto dañado no están bien definidas.

Las referencias, o a lo mejor la mayoría de ellas, establecen que todo el material dañado o deteriorado debe ser removido, pero no siempre es fácil determinar cuando se ha removido todo ese material o cuando se ha removido demasiado. Se recomienda continuar la remoción del

material hasta que empiecen a quebrarse las partículas del agregado en vez de removerse de la matriz del cemento. Sin embargo, en algunos concretos de menor resistencia, el agregado puede no fracturarse.

La remoción del concreto por sopleteado u otros medios violentos puede causar daño al concreto que se pretende permanezca en su lugar. En proyectos de mantenimiento correctivo cuando se empleo sopleteado para remover el concreto dañado, se encontraron grandes áreas delgadas y delaminadas y se identificaron usando un martillo para verificar la sanidad. Tales delaminaciones deben ser removidas antes de que los materiales de mantenimiento sean colocados.

En el caso de que el concreto sea removido por herramientas de impacto, existe el potencial de daño por agrietamiento a pequeña escala a la superficie del concreto dejado en su lugar. A menos de que esta capa sea removida, el material de reparación sufrirá lo que parece ser una falla de adherencia; así pues, un material de mantenimiento perfectamente sano y aceptable puede fallar debido a la preparación inapropiada de la superficie.

En todos los casos en los cuales el concreto ha sido removido de una estructura por un medio primario como el sopleteado, o de impacto, el concreto que permanezca en el lugar también debe ser preparado, usando un método secundario como es el cincelado, sopleteado abrasivo, o chorros de agua a alta presión, para remover cualquier material dañado de la superficie.

La remoción de área limitadas de concreto puede requerir el aserrado del perímetro del área removida par proporcionar un grosor mínimo adecuado del material de mantenimiento en el borde de la reparación, es decir, evitar bordes biselados; y también para mejorar la apariencia del área mantenida.

Aunque la remoción del concreto trata principalmente del material deteriorado y dañado, sin embargo, algo del concreto sano puede ser removido para permitir modificaciones en la estructura. así que la efectividad de varias técnicas de remoción pueden diferir para concreto deteriorado y para concreto sano; algunas pueden ser más efectivas en el concreto sano

mientras que otras técnicas pueden trabajar mejor para concreto deteriorado. A continuación se presentan descripciones de un número de técnicas de remoción del concreto.

VI.3.1.1.- CONSIDERACIONES GENERALES.

La selección de las técnicas de remoción del concreto debe de ser efectiva, segura, económica y debe minimizar el daño al concreto dejado en su lugar. La técnica de remoción elegida puede tener ser un factor significativo sobre el periodo de tiempo que una estructura puede estar fuera de servicio. Algunas técnicas permitirán realizar una parte significativa del trabajo sin que la estructura quede fuera de servicio y cabe señalar que la misma técnica de remoción puede ser inapropiada para todas las partes de una estructura dada.

En general, el ingeniero responsable debe especificar el resultado a lograr por la remoción del concreto, y debe permitirse al contratista de reparación seleccionar el método de remoción mas apropiado sujeto a la aceptación del ingeniero. En algunas circunstancias el ingeniero puede necesitar especificar las técnicas de remoción que quizás lleguen a usarse, o aquellas que sean prohibidas considerando que las propiedades mecánicas del concreto a remover proporcionan información importante para determinar el método y el costo del concreto removido.

El monitoreo de las operaciones de remoción es esencial para limitar la extensión del daño al concreto que permanece. La evaluación de la superficie normalmente se hace por inspección visual o por sondeo. Esta evaluación puede realizarse antes, durante o después de la remoción del concreto usando uno de los siguientes métodos:

- Sacando corazones para exámenes y pruebas de resistencia.
- Pruebas de velocidad de pulso.
- Pruebas de eco de pulso.

La estimación de la cantidad de concreto dañado a remover antes de la reparación es una tarea poco fácil, especialmente si se tiene la intención de que solo sea removido el concreto deteriorado. Son muy comunes las exageraciones sustanciales y esto implica que la estimación de imprecisiones debe ser minimizada.

VI.3.1.2.- CLASIFICACION DE LOS METODOS DE REMOCION.

Los métodos de remoción del concreto pueden ser clasificados en categorías por la manera en la cual el proceso actúa en el concreto. Estas categorías son el sopleteado, cortado, impacto, labrado, preamartillado o raspadura.

METODOS DE SOPLETEADO.- Los métodos de sopleteado emplean un gas que se expande rápidamente, confinado en una serie de perforaciones para producir la fractura controlada y la remoción del concreto. El más común es el sopleteado explosivo y se considera el medio más rentable y expedito para remover grandes cantidades de concreto. Este método generalmente involucra la perforación de agujeros, la colocación de un explosivo en cada agujero y la detonación del explosivo. Se han desarrollado técnicas controladas de sopleteado con el fin de minimizar el daño al material que permanece después del sopleteado como es el sopleteado de colchón. Las maquinas de sopleteado y las series retardadas de tapas explosivas eléctricas se usan también para el sopleteado controlado con el empleo de una secuencia de tiempo apropiado para proporcionar mayor control al reducir la vibración del suelo. El sopleteado controlado ha sido usado exitosamente en varios proyectos de mantenimiento correctivo.

METODOS DE CORTE.- Los métodos de corte generalmente emplean aserrado mecánico, calor intenso, o chorros de agua a alta presión para cortar alrededor del perímetro de las secciones de concreto para permitir su remoción. Los métodos de corte incluyen cortes con sierras de diamante, antorcha de pólvora, lanzas térmicas, equipo de arco eléctrico y chorros de agua a alta

presión. El tamaño de las secciones de corte y que se separan depende de la disponibilidad del equipo de levantamiento y transporte.

- **Chorro de agua a alta presión.**- Esta usa un pequeño chorro de agua que sale a alta velocidades, comúnmente produciendo presiones de 10,000 a 45,000 psi (69 a 310 Mpa) y mayores. Los más comunes son el chorro a presión ultraalta y el chorro de cavitación.
- **Sierra.**- Las sierras de diamante o de carburo están disponibles en tamaños que van desde muy pequeños (capaces de ser manejadas con la mano) hasta muy grandes (capaces de cortar a profundidades de hasta 1.30 m).
- **Corte mecánico.**- Este método emplea quijadas accionadas eléctricamente para cortar el concreto y el acero de refuerzo; es aplicable para hacer cortes a través de losas, tableros y otros elementos delgados de concreto. La principal limitación de este método es que los cortes deben empezar desde bordes libres o desde agujeros hechos por rompedores manuales u otros medios.
- **Corte térmico.**- La antorcha de pólvora, la lanza térmica y la lanza de pólvora emplean el calor intenso generado por la reacción entre el oxígeno y los metales pulverizados para fundir una ranura en el concreto. Son especialmente efectivos para cortar concreto reforzado y su aplicabilidad dependerá principalmente de la velocidad a la cual la escoria resultante pueda fluir desde la ranura. Sin embargo, se consideran lentos y, por lo tanto, no son ampliamente usados.
- **Cortes con alambre de diamante.**- El corte se realiza con un alambre que contiene módulos impregnados con diamantes. El alambre es enrollado alrededor de la masa de concreto que ha de cortarse y se reconecta con el paquete la unidad motriz para formar un arco continuo. Este es girado en el plano del corte mismo tiempo que el jalado a través del elemento de concreto. Se usa este método para cortar una estructura de cualquier tamaño, en tanto que el alambre pueda ser enrollado alrededor del concreto. Este

sistema proporciona un método efectivo para cortar grandes o pequeñas estructuras de concreto.

METODOS DE IMPACTO. - Los métodos de impacto son los sistemas de remoción de concreto más usados. Generalmente emplean el golpeteo repetido de una superficie de concreto con una herramienta de alta energía o una gran masa para fracturar o astillar el concreto. Sin embargo, es esencial tener cuidado con su uso porque a en una remoción a profundidad parcial puede producir microgrietamiento extensivo en la superficie del concreto que permanece en el lugar y este puede producir un plano debilitado por debajo de la línea de adherencia.

- **Rompedores manuales**. - El rompedor manual o martillo cincelador es probablemente el mejor conocido de todos los aparatos para la remoción del concreto. Los rompedores manuales están disponibles en varios tamaños con diferentes niveles de energía y eficacia. Los más pequeños comúnmente son especificados para usarse en la remoción parcial del concreto o concreto alrededor de acero de refuerzo mientras que los grandes se usan para completar la remoción de grandes volúmenes de concreto.
- **Rompedores montados en aguilón**. - El rompedor montado en aguilón es algo similar al rompedor manual, excepto que esta operado mecánicamente y es considerablemente mas grande. Sin embargo, ellos difieren de las herramientas neumáticas manuales, en que estas trabajan en el principio de muy alta energía y baja frecuencia, en vez de baja energía y muy alta frecuencia que se encuentra en las herramientas manuales. La herramienta mecánica normalmente es fijada al aire comprimido o presión hidráulica.
- **Desbastadores**. - Son mejor conocidos por su capacidad para remover el concreto de una superficie a poca profundidad. Las cabezas de los desbastadores son de varios tamaños y formas geométricas, y pueden montarse sobre los cilindros en diferentes números. El tamaño del equipo depende del número de cilindros y es normalmente operado por aire comprimido.

VI.3.2.- PREPARACION DE LA SUPERFICIE.

La preparación de la superficie que ha de ser mantenida es uno de los pasos más importantes en la reparación o en el mantenimiento de una estructura de concreto. Este proceso involucra aquellos pasos tomados después de la remoción del concreto deteriorado.

La reparación será óptima en la medida en que lo sea la preparación de la superficie, sin importar la naturaleza, sofisticación, o extensión del material de reparación.

En caso del concreto reforzado, el mantenimiento correctivo debe incluir la preparación apropiada del acero de refuerzo, con el fin de desarrollar una adherencia con el concreto de reemplazo para asegurar el comportamiento deseado en la estructura. Se hace la examinación de la preparación del concreto y sus componentes tal como se requerirá a continuación.

VI.3.2.1.- CONSIDERACIONES GENERALES.

La preparación de la superficie consiste de los pasos finales necesarios para preparar la superficie del concreto para recibir los materiales de mantenimiento. La preparación apropiada de la superficie de concreto depende de las operaciones que preceden y del tipo de mantenimiento correctivo que se va a emplear. La mayoría de los métodos descritos en la remoción del concreto también pueden usarse para la preparación de la superficie.

Sin embargo, un método apropiado para la remoción del concreto puede no ser efectivo para la preparación de la superficie requerida. Por ejemplo, algunos métodos de remoción del concreto pueden dejar la superficie del concreto demasiado lisa, áspera, o irregular para la operación subsecuente.

En estos casos pueden necesitarse métodos de remoción o métodos específicamente intencionados para la preparación final de la superficie; además, algunos métodos de remoción del concreto pueden dañar o debilitar la superficie del concreto. En muchas situaciones, el

mantenimiento correctivo propuesto puede requerir únicamente hacer áspera la superficie, exponer el agregado grueso o fino, remover una delgada capa del concreto dañado, o la limpieza de la superficie del mismo.

La mayoría de los métodos descritos de la remoción del concreto pueden usarse para este tipo de preparación de la superficie dentro de los límites descritos anteriormente. Estos ofrecen gran variedad de características posibles de la superficie. La elección de métodos apropiados es extremadamente importante, pues influye fuertemente tanto en los costos como en el rendimiento del mantenimiento.

VI.3.2.2.- MÉTODOS DE PREPARACION DE LA SUPERFICIE.

Algunos de los métodos típicos de preparación de la superficie de concreto se describen a continuación:

- **Limpieza química.** - Los métodos de limpieza química en la preparación de la superficie, en la mayoría de los casos, no son apropiados para usarse con materiales de mantenimiento del concreto. Sin embargo, con ciertas capas y algunas condiciones, puede usarse detergentes, fosfato trisodico, y varios limpiadores de concretos patentados. Es importante que sea removido todo vestigio del agente de limpieza después de haber quitado el material contaminante; y no deben usarse solventes para limpiar el concreto, pues esto provoca la disolución del contaminante y lo llevan mas adentro del concreto.
- **Corrosión acida.** - Se ha usado por mucho tiempo la corrosión acida de la superficie de concreto para remover lechadas y cantidades normales de mugre. El acido removerá suficiente pasta de cemento para proporcionar una superficie áspera que mejorara la adherencia de los materiales de reposición. El ACI 515 1.R recomienda que el acido sea usado únicamente cuando no pueda utilizarse otro medio alternativo de preparación de la superficie y el ACI 503 R no recomienda el uso de acido para corroer.

- **Preparación mecánica.**- La técnica de la preparación mecánica consiste en la remoción mecánica de delgadas capas de concreto superficial usando equipos como herramientas de impacto (rompedores, devastadores, esmeriles, y escarificadores). Puede obtenerse una variedad de superficies dependiendo del equipo utilizado.
- **Preparación abrasiva.**- esta técnica consiste en la remoción de delgadas capas de concreto superficial usando algún equipo abrasivo, como sopleteado de proyectiles, o sopleteado de agua a alta presión.

VI.3.3.- REPARACION DE REFUERZO.

La causa mas frecuente de daño en el acero de refuerzo es la corrosión. Otras causas posibles de daño son el fuego y el ataque químico. Después de haber determinado la causa del daño es necesario exponer el acero, evaluar su condición, y preparar el refuerzo para las técnicas de mantenimiento.

Los pasos apropiados para preparar el refuerzo ayudaran a asegurar que el método de la preparación sea una solución a largo plazo, en vez de ser temporal. El enfoque mas económico y común para reparar el deterioro que resulta de la corrosión del refuerzo es reponer el concreto únicamente donde han ocurrido descaramientos o delaminaciones.

Generalmente, este enfoque deja un concreto contaminado con cloruro que rodea el área reparada y que es altamente conductora a la corrosión. De hecho, las reparaciones pueden agrava la corrosión en el área adyacente a ellas.

Los pasos que debe seguirse en el mantenimiento correctivo del acero de refuerzo son descritos a continuación.

VI.3.3.1.- REMOCION DE CONCRETO ALREDEDOR DEL ACERO.

El primer paso en la reparación del acero de refuerzo o de presforzado para la reparación o limpieza es la remoción de concreto deteriorado que rodea el refuerzo. Es importante tenerse mucho cuidado para asegurar que no se cause mayor daño al acero de refuerzo o de presfuerzo en el proceso de remover el concreto. Los rompedores de impacto pueden dañar seriamente el acero de refuerzo o de presfuerzo, si el rompedor se usa sin tomar en cuenta la localización del refuerzo. Entonces, debe utilizarse un pacometro para determinar la localización y profundidad del refuerzo en el concreto, y una copia de los planos estructurales para poder determinar donde esta localizado el refuerzo.

Una vez que se hayan removido las áreas más grandes del concreto deteriorado debe usarse un martillo cincelador mas pequeño para remover el concreto en la vecindad del refuerzo teniéndose mucho cuidado en no vibrar el refuerzo, pues de otro modo se causara daño a su adherencia al concreto adyacente al área de reparación. Se debe cuidarse los siguientes aspectos de la remoción del concreto:

- **Cantidad a remover.**- Se remueve todo el concreto débil y dañado. Si durante el proceso de remoción el acero de refuerzo es expuesto y tiene herrumbre o productos de corrosión sueltos, o no esta bien adherido al concreto circundante, entonces se recomienda que la remoción del concreto continúe hasta crear un espacio claro por detrás del acero de 6 mm (1/4") mas la dimensión del agregado de tamaño máximo del material de reparación.
- **Inspección del acero de refuerzo.**- después del paso anterior tal como se requiere, el acero de refuerzo debe limpiarse e inspeccionarse cuidadosamente para determinar si el refuerzo debe ser reemplazado. La inspección tiene el objetivo de determinar si el acero de refuerzo es capaz de comportarse tal como lo pretende el diseñador. En caso de que el refuerzo sufre de la corrosión, quizá deba ser reemplazado o complementado con el acuerdo del ingeniero responsable.

VI.3.3.2.- LIMPIEZA DEL ACERO DE REFUERZO.

Deben ser completamente limpiadas todas las superficies expuestas del refuerzo de todo mortero suelto, oxido, aceite, u otros contaminantes. El grado de limpieza requerido dependerá del procedimiento de mantenimiento y el material seleccionado. Para áreas limitadas, puede ser aceptable la limpieza con cepillo de alambre u otros métodos manuales.

En general, el sopleteado con arena es el método preferido para la limpieza del acero de refuerzo. Al limpiar el acero, y al soplar las partículas sueltas del área de resane después de la limpieza, es importante que ni el acero de refuerzo ni el sustrato de concreto sean contaminados con aceite de la compresora. Existe la posibilidad de que el acero de refuerzo recién limpiado se oxide entre el tiempo en que es limpiado y el momento en que se coloca el siguiente concreto. En este caso es recomendable limpiarse las varillas de refuerzo inmediatamente antes de que se coloque el concreto.

VI.3.3.3.- REPARACION DEL REFUERZO.

Generalmente se usan dos tipos de refuerzo en estructuras de concreto - acero de refuerzo y acero de presfuerzo. Debido a los diferentes mecanismos por los cuales cada tipo se conforma para proporcionar el refuerzo estructural requerido, son necesarios diferentes procedimientos de reparación. Dependiendo de la condición del refuerzo expuesto, puede tomarse una decisión para una reparación alternativa.

ACERO DE REFUERZO. - Puede necesitarse una o dos alternativas de reparación para el acero de refuerzo: reemplazo de las varillas deterioradas o complementación de las varillas parcialmente deterioradas. La decisión de la alternativa a emplear es estrictamente la de ingeniería, basada en el propósito del refuerzo y la capacidad estructural requerida para el elemento reforzado.

- **Reemplazo.** - Un método de reemplazo del refuerzo es cortar el área dañada y empalmar varillas de refuerzo. La longitud del traslape debe ser de acuerdo con los requisitos del ACI 318. Si se usan soldadura debe ser realizada de acuerdo con el ACI 318 y el American Welding Society D1.4. Debe evitarse soldadura de punto, debido al mayor grado de destreza requerido para realizar una soldadura de penetración completa, pues el lado expuesto de las varillas generalmente no es accesible.

Otro método de empalmar varillas es el de emplear las conexiones mecánicas descrito por el ACI 439.3R de los dispositivos de conexión mecánica patentados que se pueden conseguir comercialmente. Esta conexión también debe cumplir con los requisitos del ACI 318.

- **Refuerzo complementario.** - Esta alternativa se usa cuando el refuerzo ha perdido la sección transversal, el refuerzo original era inadecuado, o el elemento existente deba ser reforzado. La varilla de refuerzo debe ser limpiada de acuerdo con las descripciones anteriores de la limpieza de acero de refuerzo.

Se debe cincelar el concreto para permitir la colocación de la varilla complementaria al lado de la varilla vieja y la longitud de la varilla complementaria debe ser igual a la longitud del segmento deteriorado de la varilla existente mas una longitud del empalme traslapado en cada extremo igual a los requisitos del empalme traslapado para el diámetro mas pequeño de varilla de los dos especificados en el ACI 318.

- **Recubrimiento del refuerzo.** - El recubrimiento de las varillas nuevas y existentes que hayan sido limpiadas para emplearse en la reparación puede ser realizado con epoxi, una lechada de látex-cemento, o un recubrimiento rico en zinc para la protección contra la corrosión por la contaminación de cloruros. El recubrimiento debe ser aplicado a grosores menores que 0.3 mm para evitar la pérdida de desarrollo de adherencias en las deformaciones.

ACERO DE PRESFUERZO.- El acero de presfuerzo en elementos estructurales es básicamente de dos tipos: **adherido y no adherido**. El deterioro a los torones o varillas generalmente son el resultado de impacto, corrosión, o fuego. El fuego puede templar el acero de presfuerzo de alta resistencia trabajado en frío. La flexibilidad en reparación de cualquier tipo es limitada. A diferencia de las varillas de refuerzo de acero dulce, los torones de alta resistencia quizá necesiten ser retensionadas después de la reparación para restaurar la integridad estructural inicial del elemento. Por consiguiente, las opciones de reparación para torones adheridos son diferentes de aquellos para torones no adheridos.

- **Torones adheridos.**- Puesto que este torón está adherido, no puede ser retensionado. Sin embargo, puede proporcionarse externamente un torón sustituto. El elemento debe ser modificado para poder proporcionar los anclajes extremos necesarios para los nuevos torones; es importante evitar excentricidades indeseables. Es importante señalar que los casos de deterioro de torones difieren según la situación y la configuración del elemento y puede permitir solo una reparación específica. En tales casos, las reparaciones se desarrollan en una base de examen caso por caso, cuando no son aplicables los procedimientos generales.
- **Torones no adheridos.**- Estos son instalados en el interior de las camisas ahogadas en el elemento de concreto y son protegidos contra la corrosión por las camisas o por un material que inhibe la corrosión. Generalmente, puede ser retensionado este tipo de torón. Por lo tanto, existe cierta flexibilidad para reparar torones no adheridos.

Una porción deteriorada de un torón puede ser expuesta cincelandos y quitando el concreto y cortando la camisa. Se corta el torón en ambos lados del deterioro donde el torón sano es evidente y este proceso debe llevarse a cabo con mucha precaución. La porción removida del torón es reemplazada con una nueva sección que es empalmada al torón existente en la localización de los cortes. Entonces, el torón reparado es retensionado.

VI.3.4.- MATERIALES DE REPARACION.

Los materiales de mantenimiento y de reparación disponibles de estructuras de concreto se encuentran en diferentes categorías. Las propiedades típicas, aplicaciones típicas y estándares aplicables se describirán a continuación así como la selección apropiada de los materiales de mantenimiento correctivo. Los materiales de mantenimiento generalmente se dividen en dos categorías importantes: materiales cementantes, y materiales polímeros.

VI.3.4.1- MATERIALES CEMENTANTES.

Con el fin de igualar las propiedades del concreto que está reparándose, el concreto de cemento Portland y el mortero u otras composiciones cementantes frecuentemente son las mejores opciones para los materiales de reparación.

Concreto convencional.- El concreto convencional está compuesto de cemento Portland, agregados finos y gruesos, y agua. El uso de aditivos para acelerar o retardar la hidratación es muy frecuente, incluso mejorar la trabajabilidad, reducir los requisitos de agua de mezclado, u otras propiedades del concreto.

Generalmente, por economía, se usan en combinación con el cemento Portland los materiales puzolánicos tales como ceniza volante o humo de sílice o para proporcionar propiedades específicas como reducir el calor de hidratación temprana, desarrollo mejorado de resistencia a largo plazo, o resistencia incrementada a la reacción de agregados alcalinos y ataque de sulfatos.

La selección de las proporciones de concreto debe permitir la trabajabilidad (reventamiento), densidad, resistencia y durabilidad necesarios para una aplicación particular de acuerdo con el ACI 211.1. La relación de agua-cemento del concreto de reparación debe ser tan baja como sea posible para minimizar el agrietamiento por contracción y un contenido de agregado grueso tan alto como sea posible. También se complementan las propiedades del concreto de acuerdo a su peso (ACI 201.2R) y su elaboración, transporte y colocación de acuerdo con el ACI 304R. El

concreto convencional tiene las ventajas de ser fácil de conseguir y fácil de colocar. El costo es económico y su fabricación, colocación acabado y curado son relativamente fáciles.

Las limitaciones del concreto convencional incluyen un medio ambiente agresivo donde se necesitara un aditivo apropiado para contrarrestar la acción agresiva ambiental, y las condiciones de clima desfavorables así como los cambios de temperatura y las acciones del agua o el viento.

Se aplica el concreto convencional en mantenimientos correctivos que involucran secciones relativamente gruesas y grandes volúmenes de materiales vaciados de reparación, para reparaciones a profundidad parcial o total, o para dar nueva superficie a capas superpuestas donde el espesor mínima es mayor que aproximadamente 100 mm.

El concreto convencional es mas utilizado para reparaciones en muros, pilotes y estructuras hidráulicas. El premezclado, manufacturado y entregado en un estado recién mezclado y no endurecido del concreto están cubiertos por el ASTM C94.

Mortero convencional.- El mortero convencional es una mezcla de cemento Pórtland, agregado fino y agua; y frecuentemente se usa con aditivos reductores de agua, agentes expansivos y otros modificadores para minimizar la contracción. Las ventajas del mortero convencional son similares a las del concreto convencional. Además, puede ser colocado en secciones más delgadas.

Las limitaciones del mortero convencional son su exhibición de contracciones por secado incrementada en comparación con el concreto, y el requerimiento de altos contenidos de aire para proporcionarle durabilidad adecuada en congelación y deshielo. Se aplica el mortero convencional en las mismas situaciones que el concreto convencional, siempre que se requieran secciones delgadas de reparación.

La producción, propiedades, empaquetado y prueba de materiales combinados, empaquetados y secos para concreto y mortero son cubiertos por el ASTM C387.

Ferrocemento.- El ferrocemento es un término usado para describir una forma de concreto reforzado que difiere del concreto reforzado o presforzado convencional, principalmente por la manera como los elementos reforzados están dispersos y arreglados de acuerdo con el ACI 549R. El ferrocemento esta comúnmente construido con mortero de cemento hidráulico reforzado con capas cerradamente espaciadas de una malla de alambre continua y relativamente pequeña. La malla puede ser de acero u otros materiales apropiados. El ferrocemento tiene la ventaja de tener una relación de resistencia a tensión-peso muy alta, y un rendimiento superior respecto del agrietamiento, en comparación con el concreto reforzado.

La limitación que enfrentara el ferrocemento es simplemente por la naturaleza de la reparación. Las aplicaciones del ferrocemento incluyen para la reparación de estructuras con superficies curvas, puesto que no se requiere de moldes. Los estándares para el ferrocemento actualmente no existen pero información adicional puede encontrarse en el ACI 549R y 549.1R.

Concreto reforzado con fibras.- Este concreto es convencional con fibras metálicas o de polímeros agregados para alcanzar mayor resistencia a la contracción plástica y al agrietamiento relacionado con el servicio. Tiene la ventaja de que las fibras se agregan durante la producción del concreto y están en el concreto cuando es colocado y se pueden usar para proporcionar refuerzo en delgadas capas que no son suficientemente gruesas para incluir varillas de refuerzo. En muchas de sus aplicaciones, no se pretende emplear el concreto reforzado con fibras como un refuerzo primario. Se ha usado para reparaciones usando métodos convencionales de colocación y del concreto lanzado. Se ha usado también para capas superpuestas en pavimentos de concreto, estabilización de pendientes y refuerzos de estructuras.

La limitación del concreto reforzado con fibras se presenta en el revenimiento por la adición de fibras y puede causar problemas de trabajabilidad; y pueden ocurrir manchas del oxidante en la superficie de concreto reforzado con fibras de acero, debido a la corrosión de las fibras en la superficie. El ACI 544.3R, 544.4R y ACI 504.1R tienen información sobre el concreto reforzado con fibra o el concreto lanzado. El ASTM C1116 cubre la proporción de materiales, dosificación, entrega y pruebas de concreto reforzado con fibra y concreto lanzado.

Lechadas.- Las lechadas se dividen en dos categorías: cemento hidráulico o químico. Las lechadas de cemento hidráulico son mezclas de cemento, agregado y aditivos, que cuando se revuelven con agua producen una consistencia fluida, bombeable y fácil de trabajar con llana sin segregación de los constituyentes. Las lechadas químicas consisten de soluciones de químicos que reaccionan para formar un gel o un precipitado sólido, al contrario de las lechadas de cemento que se basan en suspensiones de partículas sólidas en un fluido.

Las lechadas de cemento son económicas, fáciles de conseguir e instalar y compatibles con el concreto y pueden modificarse con aditivos para satisfacer requisitos específicos de una obra a un costo relativamente bajo. Las lechadas químicas a su vez tienen la ventaja de su aplicación en ambientes húmedos y sus amplios rangos de tiempo de fraguado para formar gel, exhiben excelente adherencia a sub-estratos limpios y secos, tienen bajas viscosidades, y son particularmente apropiadas para el control del flujo del agua a través de juntas y grietas.

La principal limitación de las lechadas de cemento se presenta cuando se inyecta en reparaciones y se puede usarse solo cuando el ancho de la abertura es suficiente para aceptar las partículas sólidas suspendidas en la lechada. En las lechadas químicas el costo es la mayor limitación; además, se requiere de un alto grado de destreza para el uso satisfactorio y tienen una vida de envase relativamente corta.

Las lechadas de cemento se aplican desde para adherir el concreto viejo con el nuevo hasta para rellenar grandes grietas en durmientes o rellenar los vacíos alrededor y por debajo de una estructura de concreto. Las lechadas de cemento están cubiertas por el ASTM C1107 mientras que las lechadas químicas están cubiertas por el ASTM C881.

Concreto denso de bajo revenimiento.- Este concreto es una forma especial de concreto convencional. Generalmente tiene un factor de cemento de moderado a alto, una relación agua-cemento de menos de 0.40, y exhibe revenimientos de trabajo de 50 mm o menos. El concreto denso de bajo revenimiento gana resistencia rápidamente y se distingue por su alta densidad y reducida permeabilidad.

Este concreto tiene la ventaja de un servicio de larga duración, hasta 20 años, cuando se instalan apropiadamente. El costo es relativamente baja y puede colocarse usando equipo convencional con pequeñas modificaciones.

El concreto denso de bajo revenimiento es limitado por el requerimiento de un esfuerzo máximo de consolidación para lograr la densidad óptima, o el uso de aditivos reductores de agua de alto rango para mejorar su trabajabilidad. Se usa este concreto frecuentemente como una capa de desgaste final en una reparación compuesta para obtener una superficie de concreto de alta calidad, resistencia a abrasión y durabilidad.

Concreto con agregado precolado. - Se produce este concreto adicionando agregado grueso en un molde e inyectando una lechada de cemento Pórtland y arena (usualmente con aditivos), o un material resinoso para rellenar los huecos. La diferencia entre este concreto y el concreto convencional es que contiene un porcentaje mayor de agregado grueso. El mezclado y colocación de este se da en el ACI 304R y 304.1R.

El concreto con agregado precolado tiene la ventaja de tener una contracción por secado de aproximadamente un medio del correspondiente al concreto convencional debido al contacto punto a punto del agregado grueso. Además, no tiene el problema de segregación debido a que el agregado es precolado con la lechada bombeada bajo presión permitiendo el llenado de todos los huecos del sustrato con mortero. Tiene un costo menor de colocación en construcciones bajo el agua con su capacidad de desplazar el agua de los huecos entre las partículas del agregado durante la inyección de acuerdo con el ACI 304R y el 304.1R.

Se necesita una destreza en su colocación y se aconseja que las reparaciones sean realizadas por personal capacitada en el uso de este método de construcción. El concreto con agregado precolado se emplea en grandes proyectos de reparación, particularmente donde se requiere colocación del concreto bajo el agua como son las reparaciones de estanques alambiques, presas, puentes, muros de contención y zapatas. También se utiliza para reparar vigas y columnas en plantas industriales, tanques de agua y otras instalaciones similares.

Los estándares están proporcionados por el ASTM C937 para el fluidificador para lechada y el ASTM C938 para describir el proceso de laboratorio para la selección de proporciones para mezclas de lechadas requeridas en la protección del concreto con agregado precolado.

Cementos de fraguado rápido.- Se caracterizan los materiales cementantes de fraguado rápido por los tiempos cortos de fraguado. Algunos de esos cementos pueden exhibir un desarrollo muy rápido de resistencia, ya sea a compresión que exceden los 6.90 Mpa en tres horas. El cemento Pórtland tipo III con aceleradores se ha usado para el resanado del concreto por mucho tiempo, y se ha utilizado más que la mayoría de los otros materiales en secciones a toda profundidad.

Los cementos de fraguado rápido tienen la ventaja de proporcionar un acelerado desarrollo de resistencia que permite que la reparación sea más rápido que los materiales de reparación convencionales. Las limitaciones se presentan cuando ellos, debido a sus constituyentes, no pueden tener tan buen rendimiento en un ambiente de servicio específico como el concreto convencional, y debe ser limitada su exposición a los sulfatos y agregados reactivos debido al contenido de niveles anormalmente altos de álcalis de estos materiales.

Sin embargo, son especialmente útiles en situaciones de reparación donde se requiere un rápido retorno al tráfico, como reparación de pavimentos, tableros de puentes y pistas de aeropuertos. El estándar se da en el ASTM C928 para materiales de concreto o morteros cementantes para reparaciones rápidas a pavimentos y a estructuras de concreto de cemento hidráulico endurecido.

Concreto lanzado.- El concreto lanzado es una mezcla de cemento Pórtland, arena y agua, "lanzado" a su lugar por aire comprimido. Además de estos materiales, el concreto lanzado puede contener también agregado grueso, fibras y aditivos. El lanzado apropiado de este concreto es un material de reparación durable y estructuralmente adecuado capaz de excelente adherencia con el concreto existente y con otros materiales de construcción.

Tiene la ventaja de ser aplicable en reparaciones de secciones delgadas de menos de 150 mm de profundidad y en superficies grandes o pequeñas con contornos o formas irregulares y puede ser más económico que el concreto convencional debido a los ahorros en los costos de moldaje. Se limita la aplicación del concreto lanzado si no se lleva a cabo por un operador de boquilla capacitada con la habilidad y experiencia de trabajarlo. El rendimiento puede ser pobre si la preparación de la superficie vieja es inadecuada.

Se ha usado el concreto lanzado para reparar puentes de concreto deteriorado, edificios, muros de amarre, presas, túneles y otras estructuras de concreto; y el rendimiento de la reparación del concreto lanzado ha sido bueno.

Los estándares gobernantes para el concreto lanzado son el ACI 506.2 que proporciona especificaciones para construcción con concreto lanzado, y el ASTM C1116 que cubre las proporciones de materiales, dosificación, entrega y prueba de concreto y concreto lanzado reforzado con fibra.

Materiales de adherencia. - Pueden usarse los materiales de adherencia para agregar nuevos materiales de mantenimiento a un sustrato de concreto preparado existente. Los materiales de adherencia son de tres tipos: a base de epóxicos, de látex y a base de cemento.

- **Los epóxicos.** - Los sistemas epóxicos se cubren en el ASTM C881. Debe tenerse cuidado al usarlos en clima caliente debido que las altas temperaturas pueden causar un curado prematuro y la creación de un rompedor de adherencia. La mayoría de los materiales de adherencia de resinas epóxicas crea una barrera de humedad entre el sustrato existente y el material de reparación pero hay que tenerse cuidado de no permitir atrapar la humedad en el concreto directamente por detrás de la barrera de humedad para evitar el congelamiento en esta zona.
- **látex.** - Los sistemas a base de látex se cubren en el ASTM C 1059. Los agentes de adherencia de látex se clasifican como tipo I - Redispersibles y tipo II - No redispersibles. Los agentes de adherencia tipo I pueden aplicarse a la superficie de

adherencia varios días antes de colocar los materiales de mantenimiento; sin embargo, la resistencia de adherencia es menor que la proporcionada por los agentes de adherencia tipo II. Los agentes de adherencia del tipo I no deben emplearse en áreas sujetas a agua, alta humedad o aplicaciones estructurales. Los sistemas del tipo II actúan como rompedores de adherencia una vez que se les ha aplicado una piel o se han curado.

- **Cemento**. - Los sistemas de adherencia a base de cemento se han empleado por muchos años. Se utilizan el cemento Pórtland neto o una mezcla de cemento Pórtland y un relleno de agregado fino, generalmente proporcionado en una relación de 1:1 por peso y se le agrega agua para proporcionar consistencia cremosa uniforme.

VI.3.4.2.- MATERIALES POLIMEROS.

La documentación para el mejoramiento de las propiedades del concreto endurecido por la adición de polímeros está presente en el ACI 548.1R con la bibliografía de las principales referencias que cubren los polímeros en el concreto. Tres tipos básicos de materiales de concreto usan polímeros para formar compuestos: concreto impregnado de polímeros, concreto modificado con polímeros, y concreto con polímeros.

- **Concreto impregnado con polímeros**. - Es un concreto de cemento Pórtland hidratado impregnado con un monómero que es subsecuentemente polimerizado. La impregnación se hace generalmente usando monómeros que contienen un iniciador de la polimerización que puede activarse por el calor. El monómero más utilizado es el metil metacrilato, aunque se han usado otros monómeros. Es importante lograr un casco completo de concreto impregnado en las superficies expuestas para lograr mejoras significativas en la durabilidad del concreto.

La impregnación de polímeros ha sido aplicada a estructuras de concreto para reducir los requisitos de mantenimiento y restaurar el concreto deteriorado dándole mejor durabilidad. Se ha utilizado también en tableros de puentes, vertederos, estanques

amortiguadores, piedras de guarnición y edificios deteriorados. Tiene la ventaja de poder ser nuevamente impregnado el concreto existente colado con la impregnación a condición de que se sigan los procedimientos apropiados según el ACI 548R y esto puede mejorarse varias propiedades importantes, incluyendo resistencia a abrasión, resistencia a penetración por agua, ácido, sales y otros medios dañinos, y resistencia a ciclos de congelación y deshielo.

Se limita el concreto impregnado de polímeros en la reducción de permeabilidad del concreto, pero no completamente impermeable y puede ser atacado lentamente por los agentes agresivos como el ácido sulfúrico.

- **Concreto modificado con polímeros.** - El concreto modificado con polímeros a veces ha sido llamado concreto de cemento Portland polimerado y concreto modificado con látex. Es identificado como cemento Portland y agregado, combinado al momento de la mezcla con polímeros orgánicos que están dispersos o redispersos en agua. Esta dispersión se llama látex, y el polímero orgánico es una sustancia compuesta de miles de moléculas simples combinadas en grandes moléculas. Las moléculas simples se conocen como monómeros y la reacción que los combina se llama polimerización. El polímero puede ser un homopolímero si está hecho por la polimerización de un monómero o de un copolímero si se polimerizan dos o más monómeros. El uso del término "concreto modificado con polímero" incluye tanto el mortero como el concreto.

Se agregan dispersiones de polímeros al concreto para mejorar las propiedades del producto final como son la resistencia de adherencia mejorada a los sub-estratos de concreto, flexibilidad incrementada y resistencia a impacto, resistencia mejorada a la penetración por agua y por sales disueltas, y resistencia mejorada a la acción de la congelación. Los polímeros hechos por la polimerización de la emulsión han sido el más ampliamente usado y aceptado según el ACI 548.3R como el estireno butadieno, los látex acrílicos, y los polímeros y copolímeros de acetato de vinilo.

Tiene la ventaja en las capas superpuestas de concreto para exhibir excelente rendimiento a largo plazo y los hacen más resistentes al daño por congelación y deshielo, y exhiben mínima falla de adherencia después de muchos años de servicio. Tiene buena trabajabilidad y facilidad de aplicación. La mezcla y el manejo del concreto modificado con polímero es similar al concreto y mortero de cemento Pórtland convencional pero su curado es diferente. El concreto modificado con polímero generalmente requiere un día o dos de curado húmedo seguido de un curado al aire.

Sus aplicaciones incluyen capas superpuestas de tableros de puentes, estructuras de estacionamientos y pisos y resanes de superficies de concreto. Normalmente se aplica en secciones que van de 19 a 50 mm de grueso. Estos sistemas restauran las secciones perdidas y proporcionan una superficie nueva altamente resistente al desgaste, que es muy durable contra la intemperización. Los estándares se dan el ASTM C685 y el ACI 548.4 para concretos de este tipo.

- **Concreto con polímeros.** - El concreto con polímeros es un material compuesto en el cual el agregado es adherido en una matriz densa con un aglomerante de polímero. Los compuestos no contienen una fase de cemento hidratado, aunque puede emplearse cemento Pórtland como un agregado o relleno. El concreto con polímeros se ha hecho con una variedad de resinas y monómeros como son el poliéster, epoxia, furano, vinil ester, metil metacrilato y estireno. Las resinas de polímeros son atractivas debido a su moderado costo y la disponibilidad de una gran variedad de formulaciones con propiedades muy buenas.

Las propiedades del concreto con polímeros dependen en gran parte de las propiedades y la cantidad del polímero usado, modificado ligeramente por los efectos del agregado y los materiales de relleno. Estos exhiben curado rápido; altas resistencias a tensión, flexión y compresión; buena adhesión a la mayoría de las superficies; buena durabilidad en congelación y deshielo; baja permeabilidad al agua y a soluciones agresivas; y buena resistencia química.

La mezcla, colocación y consolidación del concreto con polímeros se realiza de una manera similar al concreto convencional con vibración externa ocasional. Se limita por la necesidad ocasional de solventes orgánicos para limpiar el equipo cuando se usen polímeros y epoxis. Los sistemas volátiles se evaporan rápidamente y no presentan problemas de limpieza pero tales sistemas son potencialmente explosivos y requieren de equipo que no emita chispas. Los estándares se dan por el ASTM C881 y el ACI 503.4 para este tipo de concreto.

VI.3.5.- SELECCION DE MATERIALES.

La selección de materiales de reparación y de mantenimiento de estructuras de concreto tiene la ventaja de que existe una gran variedad de materiales convencionales y especiales disponibles para la reparación del concreto.

Sin embargo, la selección de materiales apropiados, proporcionado por esta gran oportunidad para armonizar las propiedades de estos materiales con los requisitos específicos del proyecto también presenta el potencial para la selección de un material inapropiado. Las resistencias a adherencia y compresión son propiedades importantes del material en muchas reparaciones y con frecuencia son proporcionadas por los proveedores de materiales. A continuación se enuncian otras propiedades de los materiales que pueden ser de igual o mayor importancia.

VI.3.5.1.- PERMEABILIDAD.

Un concreto de buena calidad es impermeable a los líquidos, pero cuando la humedad se evapora en la superficies, la acción capilar lo lleva hacia la superficie seca, un líquido de reemplazo. Si se usan materiales impermeables para grandes resanes, capas superpuestas, o recubrimientos, entonces puede quedar atrapado entre el concreto y el material de reparación impermeable la humedad que se eleva a través del concreto de la base. Esta humedad atrapada puede causar

fallas en la línea de adherencia o saturar críticamente el concreto de la base y causar fallas durante la congelación y deshielo si el concreto base no tiene aire incluido adecuado.

VI.3.5.2.- MODULO DE ELASTICIDAD.

Es necesariamente importante asegurar que el modulo de elasticidad del material de mantenimiento armonice muy bien con el concreto original para las áreas reparadas que estarán sujetas a cargas paralelas a la línea de adherencia. Si los módulos de elasticidad difieren, la carga puede provocar deformaciones diferentes que pueden originar fallas del material de mantenimiento o del concreto original.

VI.3.5.3.- CONTRACCION.

La mayoría de las reparaciones están hechas sobre concreto de cemento Pórtland mas viejo y ya no sufrirá contracción significativa pero el material de mantenimiento también debe estar libre de contracción o ser capaz de contraerse sin perder adherencia.

Puede reducirse la contracción de los materiales de mantenimiento cementantes usando mezclas con relaciones muy bajas de agua-cemento, o utilizando procedimientos de mantenimiento que minimicen el potencial de contracción como el empleo del concreto de agregado precolado y empacado en seco.

VI.3.5.4.- COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA.

El coeficiente de expansión térmica en el material de reparación es importante usarse con uno similar al del concreto existente. La compatibilidad térmica es importante al realizar grandes resanes o colocar capas superpuestas.

Los cambios significativos en la temperatura podrían causar fallas en caso de que haya una gran diferencia en las propiedades térmicas de los dos materiales, ya sea en la interfase o dentro del material de menor resistencia. Este factor es más importante en ambientes frecuentemente sujetos a grandes cambios de temperatura; sin embargo, también debe considerarse in medio ambiente donde los cambios de temperatura no sean tan grandes o frecuentes.

VI.3.5.5.- PROPIEDADES QUIMICAS.

Las propiedades químicas de los materiales de mantenimiento se han provocado recientemente especial atención a los problemas que involucran corrosión del refuerzo empotrado. Un pH alcalino (cerca de 12) para concreto proporcionara protección contra la corrosión al refuerzo ahogado. Sin embargo, los materiales de mantenimiento con valores de pH de moderados a bajos puede proporcionar, si a caso, muy poca protección al refuerzo ahogado. Cuando tengan que usarse dichos materiales debido a restricciones como tiempo de curado o requisitos de resistencia, entonces, debe considerarse la protección adicional del refuerzo existente que deba incluir técnicas como protección catódica o recubrimientos. La relación costo-beneficio para cada sistema debe evaluarse para cada proyecto específico.

VI.3.5.6.- PROPIEDADES ELECTRICAS.

La resistividad o la estabilidad eléctrica de un material de mantenimiento pueden afectar el rendimiento del concreto dañado por la corrosión después de la reparación. Los materiales con alta resistencia tienden a aislar las áreas reparadas de las áreas adyacentes no dañadas. Comúnmente, se acepta que los diferenciales en el potencial eléctrico como resultado de las variaciones de la permeabilidad o el contenido de cloruros entre el material de mantenimiento y el concreto original podrían incrementar la actividad de la corrosión, provocando una falla prematura.

VI.3.5.7.- PROPIEDADES DE COLOR.

El color de material de mantenimiento no debe diferir de el de la superficie adyacente para la reparación de superficies de concreto arquitectónico. Deben hacerse ensayos en un modelo a escala real en el sitio de la obra antes de empezar el trabajo de mantenimiento real. Las condiciones con que será aplicado el material de mantenimiento y su índole de servicio anticipadas son consideraciones importantes en la selección de del material. Cada proyecto de reparación tiene sus condiciones únicas y requisitos especiales, y solo después de examinarse cuidadosamente estas cuestiones puede establecerse el criterio final de mantenimiento. Una vez que se conocen los criterios, con frecuencia se encontrara que puede usarse mas de un material con resultados similares y buenas. La selección final del material o la combinación de los materiales deben tomar en consideración la facilidad de aplicación, el costo, la disponibilidad de mano de obra calificada y equipo.

VI.4.- SISTEMAS DE PROTECCION.

Los sistemas de protección son los materiales y métodos que reducen la corrosión de los metales en el concreto y en el deterioro de este, limitando la intrusión de humedad, cloruros y otros contaminantes en el concreto por medio de recubrimientos o principios electro-químicos. Los sistemas protectores también incluyen materiales y métodos que incrementan la abrasión de la superficie, o impactan la resistencia, o mejoran la resistencia a otras influencias dañinas. Los principales sistemas de protección se describen a continuación:

VI.4.1.- TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE.

Los tratamientos de superficies para el mantenimiento del concreto incluyen aplicaciones horizontales y verticales. Las técnicas y materiales seleccionados deben ser consistentes con el uso pretendido. El objetivo es limitar la corrosión estableciendo las condiciones que reduzcan el agua libre en el concreto, al mismo tiempo que evitan mayor intrusión de humedad y cloruros.

Estos tratamientos son muy efectivos pero contando con materiales de calidad y buena mano de obra. Los tratamientos superficiales se agrupan en las siguientes clasificaciones: selladores penetrantes, selladores de superficie, recubrimiento tipo lozeta y capas superpuestas.

El comportamiento de los sistemas de tratamientos superficiales tiene las siguientes características:

- Permeabilidad al agua.
- Permeabilidad al vapor.
- Resistencia a la corrosión del refuerzo.
- Puentado de grietas.
- Resistencia a derrape.
- Apariencia.

Selladores penetrantes. - Son materiales que luego de la aplicación generalmente están dentro del sustrato del concreto. La profundidad de penetración varía según el producto y las propiedades del concreto sobre el cual se aplica el sellador. La profundidad de la penetración se determina, en gran medida, por el tamaño de la molécula del sellador y el tamaño de la estructura de poros en el concreto.

La penetración profunda, aunque puede ser deseable especialmente para superficies sujetas a abrasión, no es el criterio más importante para la efectividad de un sellador. Estos productos incluyen, pero no están limitados, aceite de linaza hervido, silanes, siloxanes, ciertos epóxicos y metacrilatos de gran peso molecular.

Su aplicación puede ser con rodillo, escoba de goma o pulverizadores al sustrato de concreto. La preparación apropiada de la superficie es muy importante para su éxito, debido a la sensibilidad de los selladores penetrantes a los contaminantes y a los selladores previamente aplicados al sustrato. Los selladores penetrantes tienen una buena resistencia a rayos ultravioleta y a la abrasión y no pontearan las grietas nuevas o existentes.

Selladores de superficie. - Los selladores de superficie son productos de 0.25 mm o menos de espesor que generalmente están sobre la superficie del concreto. Estos productos incluyen variedades de epoxias, poliuretanos, metacrilatos de metil, uretanos curados en humedad y resinas acrílicas. Ciertas pinturas a base de aceite o a base de látex serian incluidos en esta clasificación si tuvieran menos de 0.25 mm de grueso, como son el butadieno estireno, acetato polivinilo, acrílico o combinaciones de estos con polímeros dispersos en agua. Generalmente, estos productos pueden estar pigmentados pero no alteraran apreciablemente la textura de la superficie, y la mayor parte de las manchas de superficie se reflejaran a través de ella. Se pueden aplicar con brocha, rodillo, escoba de goma o pulverizador. Deben seguirse las recomendaciones de seguridad del fabricante. Los selladores de superficie, en general, reducen la resistencia a derrape pero no puntean las grietas móviles y pueden ser efectivos para cerrar grietas pequeñas no móviles.

A muchos de los selladores de superficie se afecta los rayos ultravioleta y se desgastan bajo abrasión de la superficie. Sin embargo, las epoxias y los metacrilatos de metil no muestran buena resistencia a abrasión y rinden mejor que otros productos en esta clasificación. La preparación de la superficie es sumamente importante para todos estos productos.

Recubrimientos tipo lozeta. - Son materiales con espesor seco mayor a 0.25 mm y menor que 0.75 mm aplicados a la superficie de concreto. Los polímeros base de estos productos incluyen, pero no están limitados, acrílicos, butadienos-estirenos, acetatos polivinilos, hules clorinados, uretanos, poliésteres, y epóxicas. Los recubrimientos tipo lozeta alteraran la apariencia de la superficie. Pueden ser pigmentados y parcialmente enmascararán las manchas en la superficie del concreto.

Pueden aplicarse estos productos con brocha, rodillos, escoba de goma o pulverizador. Debe ser resistente a la oxidación, a la abrasión, a las perforaciones y a los químicos suaves (sales, grasa y aceite, ácido de bacterias y detergentes). Las resinas epóxicas son materiales de reparación comúnmente usados que tienen buena adherencia y características de durabilidad. Pueden mezclarse las resinas con agregados finos para mejorar la resistencia a abrasión y derrape.

Membranas. - Los sistemas de membranas son tratamientos de superficie con un grosor de más de 0.70 mm y menos que 6 mm aplicados a la superficie del concreto. Estos productos incluyen, pero no están limitados, uretanos, acrílicos, epóxicos, neoprenos, cemento, concreto de polímeros, ciertos metacrilatos de metil y productos asfálticos. Estos productos alteran significativamente la apariencia y disimulan las manchas en la superficie del concreto. Las membranas elastoméricas entran en este grupo, así como algunos recubrimientos tipo lozeta.

Estos productos pueden aplicarse por medio de brocha, escoba de goma, o rodillo, llana o pulverizador. La mayoría de estas membranas son resistentes a la absorción del agua y puentean pequeñas grietas, de menos de 0.25 mm, con y sin movimiento. Los sistemas de membranas tienen que probarse para verificar las características siguientes de rendimiento: permeabilidad, elongación, resistencia a la tensión, resistencia a rompimiento, adhesión, módulo de elasticidad, resistencia a abrasión, flexibilidad a bajas temperaturas y transmisión de vapor de agua.

Capas superpuestas. - Son productos de 6 mm o más de espesor que, en general, están adheridos a la superficie del concreto. Estos productos incluyen, pero no están limitados, concreto con polímeros, concreto epoxico, ciertos metacrilatos de metil y concreto modificado por polímeros. Las capas superpuestas cambian la apariencia de la textura y la elevación de la superficie original del concreto. (ACI 548.1R) Pueden aplicarse y colocarse las capas superpuestas con llana, enrasarse, pulverizarse o sembrarse en una o más capas sobre la superficie del concreto y esto le agrega peso proporcional a su espesor. Por lo tanto, debe considerarse el peso muerto adicional en el análisis de la estructura existente. Para que una capa superpuesta rinda apropiadamente, la superficie a la cual esta adherida debe estar limpia y sana.

VI.4.2.- SELLADORES DE JUNTAS.

Los selladores de juntas en el concreto funcionan para minimizar la intrusión de líquidos, sólidos o gases, y para proteger el concreto contra daño. Los sistemas de protección de las juntas incluyen el sellado de las grietas, juntas de contracción (de control), juntas de expansión y juntas de construcción.

- **Grietas.**- Se deben a la contracción, cambios térmicos, tensiones relacionadas con la estructura o acortamiento por tensión a largo plazo. Antes de seleccionar un sellador debe determinarse la razón del agrietamiento e identificarse las grietas movibles.
- **Juntas de contracción (de control).**- Son juntas instaladas a propósito y diseñadas para regular el agrietamiento que pudiera ocurrir, en otros casos, debido a la contracción del concreto de acuerdo con el ACI 504R. Frecuentemente se denominan juntas de control porque se hacen con la intención de controlar las localizaciones de grietas.
- **Juntas de expansión (de aislamiento).**- están diseñadas para evitar la trituración y la distorsión, incluyendo desplazamiento, pandeo y alabeo, de las unidades estructurales de retención de concreto que podría ocurrir, de otra manera, debido a la transmisión de fuerzas de compresión, pueden desarrollarse por expansión cargas amplificadas, o movimientos diferenciales surgidas de la configuración de la estructura o sus asentamientos como se da el ACI 504R. Las juntas de expansión se hacen proporcionando un espacio sobre la sección transversal completa entre las unidades estructurales de colindancia.
- **Juntas de construcción.**- Estas son juntas hechas antes y después de la interrupción de la colocación del concreto o a través del posicionamiento de unidades prefabricadas. Las localizaciones normalmente son predeterminadas, a modo de limitar el trabajo que pueda hacerse en una sola vez a un tamaño conveniente con el mínimo perjuicio a la estructura acabada, aunque también pueden requerirse por interrupciones imprevistas en las operaciones del vaciado de concreto. Dependiendo del diseño estructural, puede

requerirse que funcionen mas tarde como juntas de expansión o contracción, con las características ya descritas, o puede determinarse que estén bien adheridas, a modo de mantener la integridad estructural completa. Las juntas de construcción pueden correr horizontal o verticalmente, dependiendo de la secuencia de colocación prescrita por el diseño de la estructura según el ACI 504R.

Los métodos de sellado de las juntas incluyen técnicas de inyección, rebajado y calafateado, adherencia, instalación de sellos premoldeados o la instalación apropiada de sistemas de protección de superficie como las membranas elastoméricas. El ACI 504R discute diferentes técnicas y materiales para sellar juntas, y el ACI 503.1 discute los materiales epóxicos.

VI.4.3. - PROTECCION CATODICA.

El acero de refuerzo en el concreto generalmente esta protegido contra la corrosión por una película pasiva de oxido creada por el cemento Pórtland alcalino. Sin embargo, cuando iones agresivos, como los cloruros, contaminan el concreto alrededor del acero de refuerzo, la película de oxido pasiva es debilitada o destruida y puede ocurrir la corrosión del acero de refuerzo.

El proceso de la corrosión es electroquímico donde se forman áreas anódicas y catódicas en el acero. Cuando estas son eléctricamente continuas y en el mismo electrolito, ocurrirá corrosión en las áreas anodicas. La corrosión es creada cuando ocurre un flujo de corriente eléctrica a través de la celda de corrosión, los ánodos, cátodo y el electrolito. Puede encontrar información adicional sobre la corrosión del acero en el concreto en el ACI 222R.

Un procedimiento probado para controlar la corrosión del acero de refuerzo en el concreto contaminado es la protección catódica. Se basa en el principio de hacer que el acero de refuerzo empotrado sea catódico, evitando así mayor corrosión del acero. Esto puede lograrse conectando eléctricamente el acero de refuerzo a otro metal, por ejemplo el zinc o el platino, que se convierte en el ánodo, con o sin la aplicación de una provisión de energía externa.

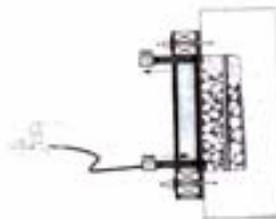
La protección catódica puede usarse para proteger casi cualquier tipo de estructura de concreto reforzado. Los tipos de elementos estructurales incluyen losas horizontales (estacionamientos y garajes, tableros de puentes, pisos, techos y balcones); elementos verticales (secciones de muros, torres y estructuras similares); y elementos estructurales (vigas, columnas, cimientos y estructuras de puentes).

De hecho, el empleo de la protección catódica es muy útil en estructuras de concreto reforzada encontradas expuestas a medio ambiente muy desfavorable en donde se encuentran las posibilidades de efectos químicos debido al clima o la salinidad en referencia a puentes sobre el mar. La constante vigilancia, tanto de la película protectora de la estructura como del metal de sacrificio es un trabajo sumamente importante para evitar el ataque de los químicos dañinos al acero de refuerzo en la estructura.

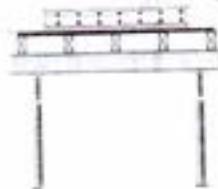
Resumen de Metodos.



Cimbra y colado en lugar.



Agregado precolado lechadeado.



Reparacion a profundidad total.

Molde y Bomba.



Concrete lanzado (seco)

Concrete lanzado (humedo)



Aplicado Manual.



Tecnicas de capas sobrepuestas y horizontales.

VII.-

ANEXOS.

REFERENCIAS.

Las referencias especificadas y/o recomendadas en los documentos de las organizaciones productoras de estándares mencionados en este trabajo se enlistan enseguida con su designación serial. Todas las referencias están en inglés. Las marcadas con asterisco están en español (traducidas por el IMCYC).

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

T 259 Método estándar de prueba para la resistencia del concreto a la penetración de iones de cloruro.

American Concrete Institute (ACI).

201.2R Guía para un concreto durable.*

211.1 Practica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, muy pesado y masivo.*

222R Corrosión de metales en el concreto.

223 Practica estándar para el uso de concreto de contracción compensada.

234R Guía para el humo de sílice en el concreto.

304R Guía para medir, mezclar y colocar concreto.

304.1R Guía para el uso de concreto con agregado precolocado para aplicaciones de concreto masivo y estructural.

- 305R Colado de concreto en clima caliente.*
- 306R Colado del concreto en clima frío.*
- 306.1 Especificación estándar para colado de concreto en clima frío.
- 308 Practica estándar para el curado de concreto.*
- 318 Reglamento para las construcciones de concreto estructural.*
- 355.1R Reporte más reciente sobre anclaje en el concreto.
- 439.3R Conexiones mecánicas de varillas de refuerzo.
- 503R Uso de compuestos epóxicos con concreto.
- 503.4 Especificaciones estándar para reparación del concreto con morteros epóxicos.
- 504R Guía para el sellado de juntas en estructuras de concreto.
- 506R Guía para el concreto lanzado.
- 506.1R Reporte más actualizado sobre concreto lanzado reforzado con fibras.
- 506.2 Especificación para materiales, proporcionamiento y aplicación de concreto lanzado.
- 506.3R Guía para la certificación de técnico de boquilla del concreto lanzado.
- 515.1R Guía para el uso de sistemas impermeables al agua, a prueba de humedad y protectoras y sistemas de barreras decorativas para el concreto.

- 544.3R Guía para la especificación, proporcionamiento, mezclado, colocación, y acabado de concreto reforzado con fibras de acero.
- 544.4R Consideraciones de diseño para el concreto reforzado con fibras de acero.
- 548R polímeros en el concreto.
- 548.1R Guía para el uso de polímeros en el concreto.
- 548.3R Reporte más actualizado sobre concreto modificado por polímeros.
- 548.4 Especificación estándar para concreto modificado con látex.
- 549R Reporte más reciente sobre ferrocemento.

American Society for Testing and Materials (ASTM).

- B 117 Método de prueba del ensayo de pulverización de sal (niebla).
- C 33 Especificación para agregado de concreto.
- C 94 Especificación para concreto premezclado.*
- C 150 Especificación para cemento Pórtland.
- C 267 Método de prueba para la resistencia química de morteros.
- C 387 Especificación para materiales empaquetados, secos y combinados para mortero y concreto.

- C 642 Método de prueba para el peso específico absorción y vacíos en concreto endurecido.
- C 672 Método de prueba para resistencia a descascaramiento de superficies de concreto expuestas a químicos descongelantes.
- C 685 Especificación para concreto hecho por dosificación volumétrica y mezclado continuo.
- C 711 Método de prueba para la flexibilidad a bajas temperaturas y tenacidad de selladores de una parte, elastoméricos, y del tipo solvente descimbrante.
- C 806 Método de prueba para la expansión restringida de mortero de cemento expansivo.
- C 836 Especificación para membrana elastomérica impermeable al agua aplicada en líquido frío, con alto contenido de sólidos para usarse con una capa de desgaste separada.
- C 845 Especificación para cemento hidráulico expansivo.
- C 878 Método de prueba para expansión restringida de concreto compensador de contracción.
- C 881 Especificación para sistemas adherentes a base de resinas epóxicas para concreto.
- C 928 Especificación para materiales cementantes de endurecimiento rápido, secos y empaquetados para reparaciones de concreto.

- C 937 Especificación para fluidificador de lechadas para concreto con agregados precolocados.
- C 938 Practica para el proporcionamiento de mezclas de lechada para concreto con agregados precolocados.
- C 1059 Especificación para agentes de látex para la adherencia del concreto fresco, al endurecido.
- C 1107 Especificación para lechadas de cemento hidráulico, seco y empaquetado (sin contracción).
- C 1116 Especificación para concreto reforzado con fibras y concreto lanzado.
- C 1202 Método de prueba para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.
- C 1240 Especificación para humo de sílice para usarse en concreto y mortero de cemento hidráulico.
- D 56 Método de prueba para el punto de inflamación por el probador cerrado.
- D 93 Método de prueba para el punto de inflamación por el probador cerrado Pensky-Martens.
- D 412 Métodos de prueba para hule vulcanizado y hules termoplásticos y elastómeros termoplásticos - tensión.
- D 429 Método de prueba para las propiedades del hule - adhesión a sub-estratos rígidos.

- D 522 Métodos de prueba para el ensayo del doblado con mandril de recubrimientos orgánicos aplicados.
- D 523 Método de prueba para brillo especular.
- D 1353 Método de prueba para materia no volátil en solventes volátiles para usarse en pintura, barniz, laca y productos relacionados.
- D 1474 Método de prueba para la dureza de indentación de recubrimientos orgánicos.
- D 1475 Método de prueba para la densidad de pintura, barniz, laca, y productos relacionados.
- D 1640 Métodos de prueba para el secado, curado o formación de película de recubrimientos orgánicos a temperatura ambiente.
- D 1642 Métodos de prueba para la elasticidad o dureza de barnices.
- D 1647 Método de prueba para la resistencia de películas secadas de barnices al agua y álcalis.
- D 1653 Método de prueba para la transmisión del vapor de agua de películas de recubrimiento orgánico.
- D 2047 Método de prueba para el coeficiente estático de fricción de superficies de pisos recubiertas y pulidas, medidas en la maquina James.
- D 2134 Método de prueba para determinar la dureza de recubrimientos orgánicos con el rocker de dureza del tipo Sward.

- D 2196 Métodos de pruebas para las propiedades reológicas de materiales no newtonianos por el viscomero rotacional (Brookfield).
- D 2197 Métodos de pruebas para la adhesión de recubrimientos orgánicos por el probador de adhesión por raspado.
- D 2240 Métodos de prueba para las propiedades de hule dureza por durómetro.
- D 2247 Práctica para probar la resistencia al agua de recubrimientos en humedad relativa del 100%.
- D 2370 Método de prueba para las propiedades tensión de recubrimientos orgánicos.
- D2620 Método de prueba para la estabilidad a luz de recubrimientos claros.
- D 2794 Método de prueba para la resistencia de recubrimientos orgánicos a los efectos de la deformación rápida (impacto).
- D 3273 Método de prueba para la resistencia al crecimiento del molde en la superficie de recubrimientos interiores en una cámara ambiental.
- D 3274 Método de prueba para evaluar el grado de desfiguración de la superficie de películas de pintura por el crecimiento microbial (fungal o de algas) o acumulación de tierra y mugre.
- D 3278 Método de prueba para el punto de inflamación de líquidos por el aparato copa cerrada - establecer flama.
- D 3359 Método de prueba para la medición de la adhesión por la prueba de cinta.
- D 3363 Método de prueba para la dureza de la película de la prueba de lápiz.

- D 3456 Práctica para determinar, por medio de pruebas de exposición al exterior, la susceptibilidad de las películas de pintura al ataque microbiológico.
- D 4138 Método de prueba para la medición del espesor de una película seca de los sistemas de recubrimiento protector por medios destructivos.
- D 4141 Práctica para realizar pruebas aceleradas de exposición al aire libre para recubrimientos.
- D 4214 Métodos de prueba para evaluar el grado de formación de polvo de tiza de películas de pinturas exteriores.
- D 4541 Método de resistencia de adherencia de recubrimientos usando probadores de adhesión portátiles.
- E 84 Método de prueba para las características de quemado de la superficie de materiales de construcción.
- E 96 Métodos de prueba para la transmisión del vapor de agua de los materiales.
- E 514 Método de prueba de la permanencia del agua en la mampostería.
- G 26 Práctica para operar aparatos de exposición a la luz (tipo arco de xenón) con y sin agua para la exposición de materiales no metálicos.

American Welding Society (AWS).

- D1.4 Reglamento de soldadura estructural acero de refuerzo.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de Normas (DGR), Norma Oficial Mexicana (NOM).

NOM-C-83-1997.- Industria de la Construcción - Concreto - determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

NOM-C-163-1997.- Industria de la Construcción - Concreto - determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.

NOM-C-169-1997.- Industria de la Construcción - Concreto - obtención y prueba de corazones y vigas extraídas de concreto endurecido.

NOM-C-191-1988.- Industria de la Construcción - Concreto - determinación de la resistencia a la flexión el concreto usando una viga simple con cargas en los tercios del claro.

NOM-B-294-1986.- Varillas corrugadas de acero, torcidas en frío, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto.

NOM-B-310-1981.- Métodos de prueba a la tensión para productos de acero.

Organismo Nacional de normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), Normas Mexicanas (NMX).

NMX-C-403-ONNCCE-1999.- Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico para Uso Estructural.

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias (RCDF, NTC).

CUESTIONARIO: Mantenimiento de Estructuras de Concreto.

Para fines de obtener una vista amplia de las distintas condiciones de mantenimiento de estructuras de concreto en México y en el extranjero, se les aplico una encuesta tipo cuestionario con motivos de tener otras opiniones y puntos de vista de los profesionales en la industria de la construcción de algunos Ingenieros Civiles sobre el tema de mantenimiento de las estructuras de concreto; información del cual se muestran a continuación.

1. NOMBRE.
2. PROFESION (ING, ARQ, ETC)
3. PAIS.
4. ANOS DE EXPERIENCIA.
5. DEFINICION PERSONAL DEL MANTENIMIENTO.
6. OPINIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN SU PAIS DE RESIDENCIA.
7. CONCLUSIONES.

MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACION.

Conforme a las respuestas que ellos proporcionaron, se han adjunto las opiniones de los que parecen ser las más concretas para fines de aportación.

Name: Kevin L. McWhorter.

Profession: Construction Engineer.

Country: United States.

Years of Experience: 12.

Personal Definition of Maintenance:

The main objective of maintenance is to observe the Life Cycle Cost of all building components. Life Cycle Costing (LCC) is a method used to evaluate the economic performance of investments in building and building systems and it should be evaluated prior to the actual design and construction of a building. Simply put, if you know how much it will cost to maintain different components of a building (over its lifetime), then you can properly design & construct a building in such a way as to significantly improve its efficacy.

View about Maintenance of Concrete Structures in your country of Residence:

In the United States, there is a growing amount of deteriorating concrete infrastructures that not only affect the productivity of the society, but also has a great impact on resources, environment and human safety. The poor and uncontrolled durability with repairs and maintenance of all of these concrete structures are consuming much energy and resources and are producing a heavy environmental burden and large quantities of waste. Therefore, the increasing amount of repairs and maintenance of concrete structures is not only a question of technical performance and economy, but also a question of impact to the environment.

Conclusions: It is very good to carry out preventative maintenance of a concrete structure before a stage is reached where patch repairs may be necessary.

NAME: Engr. Yinka Adewuyi.

PROFESSION: Structural Engineer.

COUNTRY: Nigeria.

YEARS OF EXPERIENCE: 23.

PERSONAL DEFINITION OF MAINTENANCE:

Keeping equipment operating at optimum throughout service life by strict adherence to designers' inspection/service schedule.

VIEWS ABOUT MAINTENANCE OF CONCRETE STRUCTURES IN YOUR COUNTRY OF RESIDENCE:

Maintenance culture in my part of the world is almost non-existent. My approach is to design a structure that is almost maintenance free.

CONCLUSIONS: Architecture and structure should be designed to be "self servicing".

NOMBRE: SAMUEL MUSOBOZI RWAKIJUMA

PROFESION: INGENIERO CIVIL

PAIS: UGANDA

AÑOS DE EXPERIENCIA: 1

DEFINICION PERSONAL DEL MANTENIMIENTO:

• TRABAJO PERIÓDICO DE CARÁCTER PREVENTIVO Y PLANIFICADO, QUE SE REALIZA EN LAS CONSTRUCCIONES DURANTE SU EXPLOTACIÓN PARA CONSERVAR LAS PROPIEDADES Y CAPACIDADES QUE SON AFECTADAS POR EL USO, AGENTES ATMOSFÉRICOS O SU COMBINACIÓN, SIN QUE SUS COMPONENTES FUNDAMENTALES SEAN OBJETO DE MODIFICACIÓN O SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL.

OPINIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN SU PAIS DE RESIDENCIA:

• TRABAJO QUE SE REALIZA EN LAS CONSTRUCCIONES INTRODUCIENDO VARIACIONES EN EL DISEÑO, CAMBIOS, O MEJORAS TÉCNICAS Y FUNCIONALES EN CORRESPONDENCIA CON LA ÉPOCA EN QUE SE REALICEN.

• TRABAJO QUE SE REALIZA EN LAS CONSTRUCCIONES DURANTE SU EXPLOTACIÓN PARA ARREGLAR O SUSTITUIR PARTES Y ELEMENTOS COMPONENTES.

• TRABAJO QUE SE REALIZA EN LAS CONSTRUCCIONES DE VALOR HISTÓRICO, ARQUITECTÓNICO O AMBIENTAL PARA PRESERVAR O RESTABLECER SUS CARACTERÍSTICAS ORIGINALES CON ERICTOS REQUISITOS DE AUTENTICIDAD.

- ACCIÓN DIRIGIDA A DEVOLVER EN UN EDIFICIO DECLARADO INHABITABLE E INSERVIBLE LAS CONDICIONES NECESARIAS PARA SU USO ORIGINAL U OTRO NUEVO.

CONJUNTO DE TRABAJOS QUE SE EJECUTAN PARA OBTENER LA DURABILIDAD, SEGURIDAD Y EFICIENCIA MÁXIMA Y MANTENER LAS CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN. ADEMÁS SE EMPLEA COMO ACCIÓN QUE ENCIERRA TODO EL CONJUNTO DE ACCIONES POSIBLES A REALIZAR DENTRO DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO.

CONCLUSIONES: EN UGANDA NO HEMOS CONSERVADO NUESTROS EDIFICIOS COMO DEBERIA DE SER AUNQUE SE ESTAN HACIENDO OBRAS DE MANTENIMIENTO CON VOLUMENES DE \$20 MILLONES. EL TEMA DE MANTENIMIENTO ES MUY AMPLIO Y SE DEBE ESTUDIARLO CON MUCHA PROFUNDIDAD.

NOMBRE: ANASTACIO ALBORTANTE ESPINOSA

PROFESION: INGENIERO CIVIL

PAIS: MEXICO

AÑOS DE EXPERIENCIA: 18.

DEFINICION PERSONAL DEL MANTENIMIENTO:

Conjunto de operaciones y procesos necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, maquinaria y equipo puedan seguir funcionando y operando adecuadamente con seguridad hacia todas las personas que las utilicen.

OPINIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN SU PAIS DE RESIDENCIA:

El mantenimiento de las estructuras de concreto en la ciudad de México D.F. principalmente se debe a que se encuentra en una zona de alta sismicidad y asentada en una zona lacustre, provocando agrietamiento de la estructura debido a movimientos sísmicos y asentamientos. Cuando se presenta un sismo mayor de 7 grados es necesario que un director responsable de obra realice una inspección de la estructura para verificar las condiciones servicio de la estructura para la que fue diseñada.

El mantenimiento incluye, como primer paso, una inspección periódica de la estructura. El inspector debe estar familiarizado no solo con el concreto como material, sino también con la acción estructural. Por ejemplo, si se observa agrietamiento, el inspector debe ser capaz de distinguir entre grietas debidas a la sobrecarga de una estructura apropiadamente diseñada o causada porque la estructura es inadecuadamente fuerte, por un lado y grietas inducidas por la corrosión del refuerzo o por la acción química- incluyendo la reacción álcali - agregado, o por la formación retardada de ettringita o por los efectos térmicos, por otro lado. El inspector debe

tener también el suficiente tacto para no alarmar a los ocupantes de las oficinas y sobre todo, de los departamentos, quienes podrían apresuradamente llegar a la conclusión de que su estructura se encuentran en problemas.

El mantenimiento que siga a la inspección debe comprender pequeños trabajos de reparación. Reparar significa hacerlo bien, pero antes de efectuar cualquier trabajo de reparación sustancial, para distinguirlo del cosmético; es esencial establecer plenamente la extensión y las causas del problema. De otro modo, el problema puede ser recurrente y requerir trabajos repetidos de reparación. De modo que no puedo exagerar la importancia de entender las causas del deterioro y daño aparentes.

Es posible que las grietas observadas se deban a cambios en la temperatura o en la humedad, en combinación con una restricción de la deformación. Puesto que estos cambios continuaran ocurriendo en el futuro, llenar simplemente las grietas con un material rígido dará como resultado la aparición de nuevas grietas, probablemente justo en la cercanía de las antiguas. Lo que se necesita es emplear un material de relleno flexible que pueda acomodarse alternado la contracción y la expansión en el futuro. Además, debido a que la deformación que ha de acomodarse solo puede desarrollarse sobre cierto ancho mínimo, puede ser de hecho beneficio ensanchar la grieta antes de rellenarla. El movimiento reversible de grietas es cuando el agrietamiento se debe a movimientos de suelo, el cual es también reversible. Una posibilidad mas es que las grietas sea estable y antigua, debido a una contracción anterior, o a tensiones térmicas iniciales. En tal caso, una solución adecuada probablemente sea rellenar con un material de remiendo. Si la grieta es derecha y sigue el refuerzo, lo mas probable es que se trate de agrietamiento por corrosión y esta es precisamente lo que hay que tratar y no solamente la grieta en si.

La corrosión también puede deberse a la despasivación del acero como consecuencia de la carbonatación de la pasta de cemento hidratada. Esta es la causa más probable por encima de nivel del suelo en las áreas de tierra adentro. La determinación de la profundidad de carbonatación es muy simple y el reemplazo de la cubierta de concreto por un material apropiado probablemente pueda proporcionar una solución duradera.

FOTOS.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO.



Presas/Cortinas de Concreto.



Estadios.



Edificios.



Puentes.

EQUIPO DE INSPECCION.





APRECIACION DE DANOS.







MANTENIMIENTO PREVENTIVO.





MANTENIMIENTO CORRECTIVO.





VIII. -

CONCLUSIONES.

El mantenimiento de las estructuras de concreto es una actividad compleja que forma parte de los procesos de la construcción y exige un conocimiento profundo del comportamiento de los materiales de construcción y de las técnicas ejecutivas. Además, es un trabajo sumamente importante de realizar para mejorar la calidad de la gran variedad de estructuras de concreto que México posee. Tiene que cuidarse los aspectos del medio ambiente, el diseño apropiado y detalles adecuados, evitar los problemas congénitos de supervisión durante su construcción y la vida útil de las obras construidas. Se necesita una actualización fundamental en las técnicas de mantenimiento así como un cambio importante en el paradigma de los procesos y procedimientos de mantenimiento de las estructuras de concreto.

Como el problema no es aislado de México, sino que también representa una importante inversión en los países desarrollados, se trata de mantener el enlace con los diversos centros de investigación a nivel mundial acerca de los avances pertinentes a este trabajo de mantenimiento para que de esta manera se deriven las búsquedas particulares de correcto diagnóstico de los problemas de deterioro de las estructuras de concreto y como resolverlos antes de que se conviertan en graves consecuencias. Por otra parte, la disposición de los recursos necesarios para fines de mantenimiento de las estructuras de concreto debería de ser un objetivo principal de las instituciones y entidades autorizadas para efectuarlo. Para este fin se necesita la normatividad adecuada y actualizada para apoyar el manejo de recursos destinados al mantenimiento de las estructuras existentes y no solo para la construcción de nuevas obras.

Por último, es necesario que sean revisados los currículos vigentes de las escuelas de ingeniería para que incluyan los conceptos y las prácticas básicas de inspección, diagnóstico, alternativa y proyecto de intervención y sobre todo la actualización en la formación académica y profesional.

Por consecuencia de estas acciones se lograrán la reducción de los gastos elevados y las intervenciones repetitivas y frecuentes de efectuar mantenimiento correctivo a las estructuras de concreto en lugar de un mantenimiento preventivo.

IX.-

BIBLIOGRAFÍA.

Concreto Premezclado - **Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado (AMIC)**, Publicación 1.

Estructuras de Concreto Reforzado - **R. Park, T. Paulay**, Editorial Limusa, Primera Edición, Tercera Reimpresión, México 1986.

Evaluación de estructuras de concreto - Técnicas y materiales para su reparación - **Ing. Felipe de Jesús García Rodríguez**, IMCYC 2002.

Guía para reparar estructuras de concreto, ACI 546R-96 - **ACI** 1996, IMCYC 2001.

Introducción a la Mecánica de Sólidos - **Egor P. Popov**, Editorial Limusa, Decimotercera Reimpresión, México 1996.

Mantenimiento y Reparación de las Estructuras de Arquitectura e Ingeniería - **Ing. Wifredo Crespo Pérez**, Documentos de Trabajo No. 7, 1991 - 2003.

Manual de Construcción en Acero - **Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C.** Volumen 1, Editorial Limusa, Segunda Edición, México 1991.

Manual del Concreto - **Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)** Tomos I, II y III-1984.

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección - **Paulo Helene, Fernanda Pereira**, SmartSystem Consulting Ltda. Sao Paulo 2003.

Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento del Concreto - Análisis, estrategias y técnicas de reparación (Concrete Repair and Maintenance Illustrated) - **Peter H. Emmons**; RS Means 1993, IMCYC 2005.

Materiales de Construcción - **Felix Orus**, Editorial Dossat, Septima Edición, Madrid España-1977.

Normas de construcción - **Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)**, Parte VIII, Primera Edición, México 1981.

Problemas en el concreto - **Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC)**, Noriega Limusa.

Problemas en el concreto: causas y soluciones - **John C. Ropke**, Editorial Limusa e IMCYC, Primera Reimpresión, México 1990.

Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias, 2005.

Tecnología del Concreto, Tomo 3 - **A. M. Neville**, Editorial Limusa e IMCYC, Segunda Reimpresión, México 1989.

<http://www.aci-int.org/>

<http://www.astm.org/>

<http://www.cemexmexico.com/>

<http://www.construaprende.com/tesis02/2006/09/.html>

<http://www.imcyc.com/>

<http://www.mantenimiento.htm>

<http://www.mantenimientos.htm>

<http://www.mantenimiento/mundial>

<http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimientoindustrial/mantenimiento-industrial.shtml>

<http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimientorehabilitacion/mantenimiento-rehabilitacion.shtml>