



U.M.S.N.H.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

TESIS PROFESIONAL

VICTOR GUSTAVO MENDOZA AGUILAR

MORELIA, MICH.

2006

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 ESTRUCTURA Y CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS	8
CAPITULO 2 PROCESOS DE ELABORACION DEL CEMENTO	16
CAPITULO 3 AGREGADOS PETREOS	25
CAPITULO 4 CARACTERISTICAS MECANICAS DEL CONCRETO HIDRAULICO	42
CAPITULO 5 ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO HIDRAULICO	52
CAPITULO 6 EFECTOS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	61
CAPITULO 7 CAUSAS Y SOLUCIONES PARA EL AGRIETAMIENTO EN EL CONCRETO	97
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	111

INTRODUCCIÓN.

ANTECEDENTES Y EVOLUCIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Las crecientes necesidades de desarrollo, la búsqueda de soluciones perdurables y la demanda de contar con más y mejores caminos han contribuido para lograr que en la modernización y ampliación de la red carretera de México se esté especificando el uso de pavimentos del concreto hidráulico bajo estándares internacionales de calidad.

1.1 Antecedentes.

En la conformación de nuestra infraestructura carretera ha influido la gran diversidad de climas, tipos de suelo, zonas ambientales y etnias, debido a la extensión territorial de México; su heterogeneidad nos ha marcado el camino del desarrollo y crecimiento.

En México las condiciones de servicio de los aproximadamente 95,000 Km. de caminos pavimentados no son las óptimas, de hecho la mayoría de ellos está catalogado por las propias autoridades como pavimentos en regulares y malas condiciones. Una razón importante del bajo nivel de servicio es debido a que estas carreteras se proyectaron, diseñaron y construyeron, en su mayoría, entre los años de 1925 a 1970. La red estuvo proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre las 6 y 8 toneladas, pero en la actualidad llega a tener camiones cargados que en algunos casos alcanzan a pesar hasta 60 toneladas; esto sin considerar el peso de los vehículos. No se contó tampoco con el crecimiento del tránsito de camiones pesados, sólo se considero el tráfico diario que tenía entonces, entre los 500 y 1,000 vehículos; sin embargo, en la actualidad se tienen valores significativamente mayores, de hasta 15,000 vehículos.

Hasta 1993 la especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue relativamente escasa. Quizá esto se debió, principalmente, a que nuestro país es un importante productor de petróleo y por consiguiente de asfalto. Anteriormente

existía un subsidio importante en el precio del asfalto, los pavimentos asfálticos en nuestro país resultaban en costo muy inferiores a los del concreto hidráulico.

Los pavimentos de asfalto parecían ser una alternativa suficiente; además de la desinformación y desconocimiento de las nuevas tecnologías con pavimentos de concreto hidráulico. Ante el deterioro de las carreteras en la red y considerando los puntos anteriormente planteados, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se dio a la tarea de buscar soluciones alternativas que pudieran soportar adecuadamente las cargas y el volumen de tráfico pesado, buscando que los niveles de servicio permanecieran altos durante períodos mayores. La SCT orientó a una solución con pavimentos de concreto hidráulico, que ante tales exigencias representaban un costo razonable, con una capacidad estructural adecuada, tanto para el volumen de tránsito como para la intensidad del mismo, y un período de vida costeable de acuerdo a la magnitud de la inversión.

1.2 Tecnología.

Para satisfacer la demanda de diseñar y construir los pavimentos de concreto hidráulico, con las mejores tecnologías a nivel mundial y con altos estándares en sus especificaciones, tuvo que llevarse a cabo un programa de capacitación intensivo y avanzado para los técnicos e ingenieros especificadores, esto se logró con el apoyo de la iniciativa privada mexicana, interesada en el desarrollo de la infraestructura del país con base en este tipo de pavimentos. Estas capacitaciones se han seguido desarrollando tanto en México como en el extranjero.

Se realizó una revisión exhaustiva sobre los tipos de maquinaria disponibles en el mercado internacional para realizar estas tareas: plantas de mezclado central para la elaboración del concreto con la calidad y en las cantidades necesarias para lograr altos rendimientos en la pavimentación, pavimentadoras de cimbra deslizante con las características necesarias para lograr altos niveles de servicio, seguridad y confort.



FIGURA 1. Pavimentadora de cimbra deslizante.

Se analizaron también ventajas y desventajas de unas marcas de equipos con respecto a otras, la experiencia de las empresas dedicadas a la fabricación de estos equipos, la facilidad con la que dichas empresas podrían ofrecer los servicios de capacitación, refacciones y mantenimiento e incluso la posibilidad de desarrollar representantes locales, de dichas empresas, para dar servicio en México. Se trabajó en lo referente a equipos para dar el texturizado final al pavimento de concreto, las maquinas cortadoras para conformar los tableros de losas, los diferentes tipos de discos para estos cortes y algunos otros equipos de medición de las características físicas de los pavimentos.

Terminados los análisis anteriores se importaron los equipos seleccionados a nuestro país y se dio inicio al desarrollo de este tipo de soluciones.

1.3 Evolución.

La globalización hizo más imperantes las necesidades de contar con una infraestructura que permita el desarrollo de la actividad económica y social del país.

En el año de 1993 la SCT, con el apoyo de Cementos Mexicanos, construyó la primera carretera de concreto hidráulico con el uso de las nuevas tecnologías de pavimentación cumpliendo con especificaciones internacionales, siguiendo estrictas normas de calidad tanto en la producción como en el tendido del concreto y contemplando una serie de alternativas en las especificaciones que permitirían establecer, posteriormente, situaciones comparativas para establecer adecuadamente las características ideales en las especificaciones de los pavimentos de concreto

hidráulico. Así en 1993 el libramiento Ticumán ya era una realidad con una longitud de 8.5km.

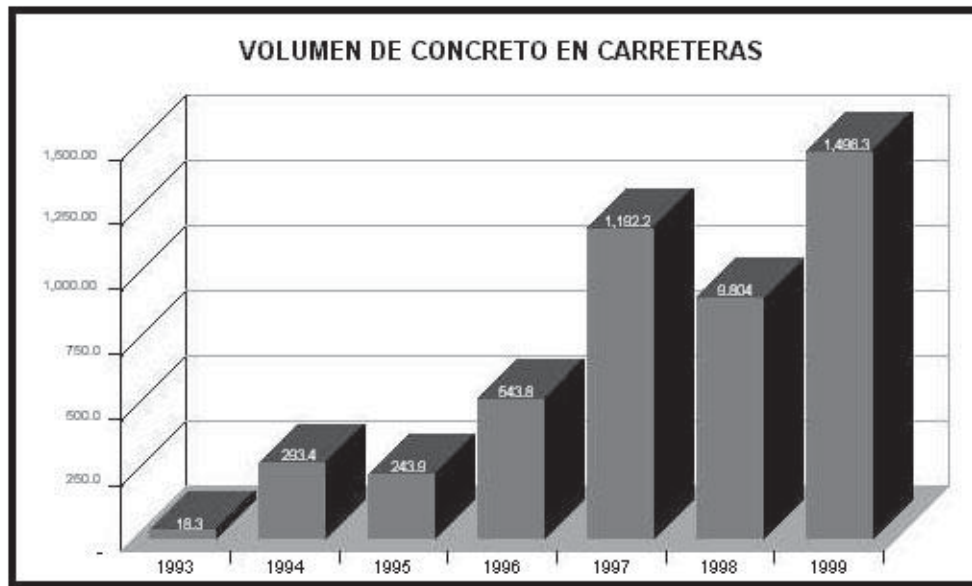


FIGURA 2. Autopista de concreto hidráulico.

A partir de este proyecto y con los resultados programados que se fueron obteniendo del mismo, se continuó con la especificación y construcción de otras carreteras de concreto hidráulico en el país, de tal forma que al final de 1994 ya se habían iniciado los trabajos en los tramos de las Autopistas Guadalajara – Tepic, Tuxpan – Tihuatlán y Tihuatlán – Poza Rica, también el primer tramo de la Cárdenas – Agua Dulce.

El crecimiento y evolución de los pavimentos de concreto hidráulico ha aumentado de una manera muy favorable para el país; esto ha propiciado que la demanda de caminos de excelente calidad aumente por las ventajas que los mismos representan.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del consumo de concreto hidráulico para la construcción de carreteras.



Nota: El volumen de 1999 incluye tramos terminados, en ejecución y licitados.

GRAFICA 1.

1.4 Ventajas.

Las principales ventajas de un pavimento de concreto hidráulico son las siguientes: durabilidad, bajo costo de mantenimiento, seguridad, altos índices de servicio y mejor distribución de esfuerzos bajo las losas.

1.5 Durabilidad.

Es una de las ventajas más significativas de los pavimentos de concreto hidráulico. Para lograr la durabilidad del concreto, es importante considerar, además de la resistencia adecuada ante las sollicitaciones mecánicas, todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones. Para la colocación del concreto hidráulico; se deben de usar las proporciones específicas, con ciertas relaciones agua/cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto, aún con revenimientos bajos, como los utilizados en autopistas.

Es importante, también, conocer las características de los materiales que forman la estructura del soporte y sus grados de compactación, apoyados con los estudios de mecánica de suelos, para lograr óptima durabilidad.

El diseñador debe contar con la suficiente información, para poder estimar de forma precisa el volumen de tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento, para realizar un diseño estructural adecuado y cubrir las expectativas de durabilidad del proyecto por efectos de fatiga.

1.6 Bajo Costo de Mantenimiento.

Los pavimentos de concreto hidráulico se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es, sin duda, una de las ventajas mayores que ofrecen.

La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía permiten que el concreto sea una opción muy económica. Esto se puede visualizar al realizar un análisis del costo ciclo de vida que puede ser comparado con algunas otras alternativas de pavimentación. El análisis del costo ciclo de vida es una herramienta que nos ayuda en la toma de decisiones. El mantenimiento que requieren los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.

1.7 Seguridad.

El concreto hidráulico colocado bajo las especificaciones y con los equipos mencionados, permite lograr una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad, y dada su rigidez, esta superficie permanece plana durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas que disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento, produciendo el efecto de acuaplaneo en los días de lluvia. Otro fenómeno que se evita con la utilización del concreto hidráulico es la formación de severas deformaciones en las zonas de arranque y de frenado, que hacen a los pavimentos ser mas inseguros y maltratan fuertemente los vehículos.

El color del pavimento de concreto hidráulico, permite una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en días nublados.

1.8 Altos Índices de Servicio.

Los pavimentos de concreto hidráulico permiten ser construidos con altos índices de servicio, por su grado de seguridad y, adicionalmente, siguiendo las recomendaciones de construcción adecuadas, se puede proveer al pavimento de una superficie altamente antiderrapante. La utilización de pasajuntas permite mantener estos

índices de servicio, evitando la presencia de escalonamientos en las losas, sobretodo en tramos donde el tráfico es más pesado.

1.9 Mejor Distribución de Esfuerzos Bajo las Losas.

Por la rigidez de la losa, los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles, en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga y que disminuyen conforme se alejan de la misma. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean mucho menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

1.10 Trabajo Continuo.

Poco a poco se ha logrado tener una mayor experiencia en el diseño, especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México, estas experiencias han mostrando las ventajas de esta solución; de tal modo que cada vez son mas las entidades gubernamentales responsables de la construcción, mantenimiento y operación de los caminos a los que les interesa proveer con las características de un pavimento de concreto hidráulico lo que les significa ahorros sustanciales en mantenimiento, mejores niveles de servicio del camino, mayor vida útil y consecuentemente, economía de los recursos. Podemos afirmar que la pavimentación con concreto hidráulico es una realidad en nuestro país y el siguiente paso, en el que estamos trabajando a pesar de que son mínimas las necesidades, es el de dar a conocer, a los especificadores y constructores, los métodos de rehabilitación, reparación y mantenimiento que se deben seguir en los pavimentos rígidos para aprovechar mejor sus ventajas.

1.11 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.

Se entiende por pavimento al conjunto o subconjunto de capas formadas con material seleccionado, comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento a nivel de rasante.

1

CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS.

Se entiende por pavimento al conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento a nivel de rasante.

Por subrasante se conoce como la superficie de una terracería terminada, siendo esta última el conjunto de terraplenes y cortes de una obra vial.

La calidad de las capas de un pavimento es descendiente hacia abajo.

Cuando el material de terracería es de muy mal calidad puede hacerse necesario el empleo de una verdadera capa subrasante de material de mejor calidad que sirva de transición entre la terracería y el pavimento. Cuando el material de terracería sea de mejor calidad, la capa subrasante

Esta formada por el propio material de terracería con tratamiento constructivo algo mejor, sobre todo en compactación.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS Y ESTRUCTURACIÓN.

Existen dos tipos básicos de pavimentos: Rígido y Flexible.

1) PAVIMENTO RÍGIDO.- Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico, con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre una subrasante o sobre una capa de material seleccionada llamada sub-base (grava – arena). Los concretos usados son de resistencia relativamente grande, generalmente comprendida entre 210 Kg/cm², y 350 Kg/cm².

En general se usa concreto simple y en ocasiones reforzado.

2)PAVIMENTO FLEXIBLE.-Los pavimentos flexibles están formados por una capa o carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, LA BASE Y LA SUB- BASE.

En los aeropuertos es común encontrar una combinación de los dos pavimentos antes mencionados. En el centro de la pista se tiene un pavimento rígido y en las orillas pavimento flexible (un 15%).

Los pavimento se utilizan en la construcción de carreteras, avenidas, calles, bodegas, aeropuertos.

En general cualquier suelo natural es aprovechable para terracerías, excepto los suelos orgánicos o suelos expansivos que producirían deformaciones excesivas a las capas subyacentes.

En la actualidad existe el pavimento llamado SEMIRIGIDO que es, esencialmente un pavimento flexible a cuya base se ha dado una rigidez alta por la adición del cemento o asfalto.

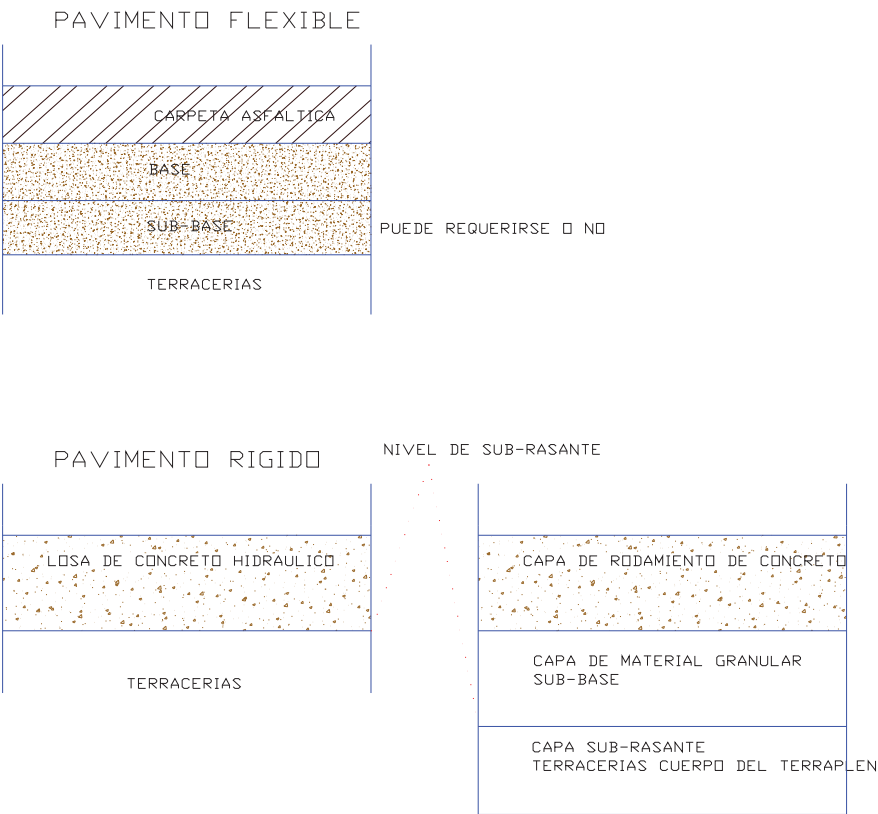
La mejor calidad de las capas superiores del pavimento se debe a la mayor intensidad de los esfuerzos en la superficie del pavimento.

Para cumplir sus funciones un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas:

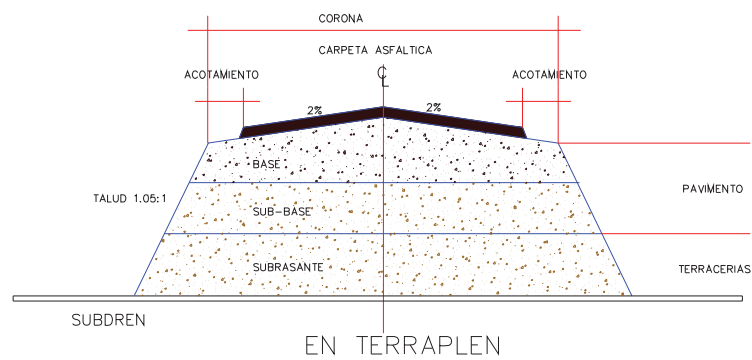
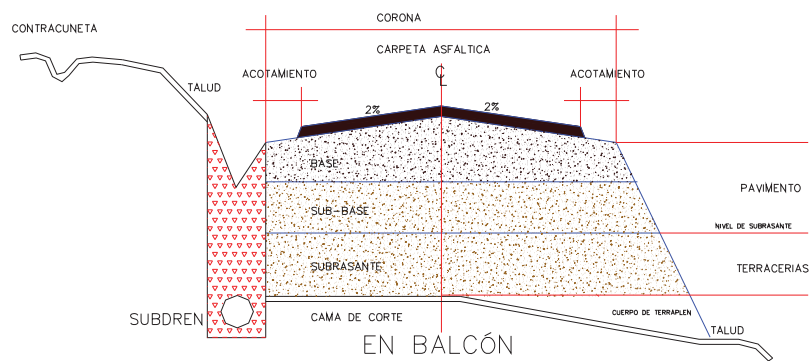
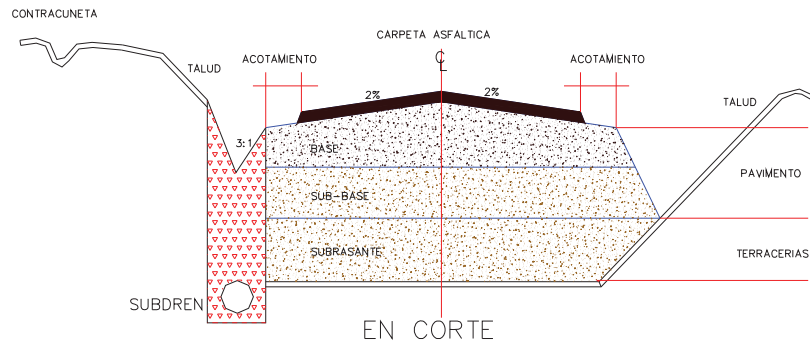
- a).- Ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta del vehículo y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

- b).- Debe tener la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas con el transito y con deformaciones que no sean permanentes.

SECCIONES TIPO DE PAVIMENTOS



SECCIONES TIPO DE PAVIMENTOS



1.2. DEFINICIÓN DE OTROS TÉRMINOS.

A).- TERRACERIAS: Están constituidos por el conjunto de cortes y terraplenes que dan forma a la obra vial; incluyen las terracerías, la denominada capa de subrasante que es una transición entre terracerías y pavimento. Las terracerías están constituidas generalmente por materiales no seleccionados y constituyen en si la sub-estructura de la carretera.

B).- DESPLANTE: Superficie compactada o sin compactar en uno o varios niveles, sobre la cual se asienta una estructura o el camino mismo.

C).- SUB-DRENES: Zanjas con tubería perforada colocada en la parte inferior y rellenas con un material con características especiales, de tal manera que sirva de filtro; tiene por objeto coleccionar y desalojar agua del suelo o de la terracería.

D).- BOMBEO: Pendiente transversal de la superficie de las capas que constituyen la obra vial y que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

E).- DRENAJE TRANSVERSAL: Está constituido por las alcantarillas y puentes que permiten el paso del agua de uno u otro lado de la carretera, generalmente por debajo de esta.

F).- ALCANTARILLA: Es una obra de drenaje transversal con claro menor de 6 mts.

G).- PUENTE: Es una obra que sirve para salvar topografía accidentada, con un claro mayor de 6 mts.

H).- CORONA: Superficie comprendida entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén o entre las inferiores de las cunetas de un corte.

I).- RASANTE: Superficie de rodamiento de una carretera o aeropista terminada conforme a los niveles y secciones de proyecto.

J).- ACOTAMIENTO: Franja comprendida entre la orilla de la carpeta y la corona de un camino.

K).- RIEGO DE IMPREGNACIÓN: Producto asfáltico que se aplica sobre la superficie de la base, con el objeto que penetre en esta.

L).- RIEGO LIGA: Es el producto asfáltico que se aplica sobre la base impregnada y antes de la construcción de la carpeta, con el objeto de lograr continuidad entre estas dos capas.

1.3. FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO.

a).- TERRACERIAS: La función de las terracerías es la de dar forma a la obra civil, recibir las cargas disipadas de los vehículos y formar una sustentación adecuada para el pavimento. Se compactan de 90% a 95%, de su P.V.S.M.(Suelo de mala calidad y carretera importante).

b).- SUBRASANTE: Constituye una transición entre el pavimento y la terracería, se exige que los materiales tengan un V.R.S. mayor del 5% y una expansión menor del 5%.

- -Recibir y resistir las cargas de transito, que le son transmitidas por el pavimento.
- -Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas de transito al cuerpo del terraplén.
- Estas dos funciones son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- -Evitar que el pavimento sea obstruido por las terracerías.
- -Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- -Economizar espesores del pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

c).- SUB-BASE.

- Una de las funciones es de economizar, ya que es más factible realizar una capa aun que de mayor espesor pero de menor calidad que la base.
- La sub-base, mas fina que la base actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.
- Absorbe deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Actúa como dren para desalojar el agua del pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, del agua procedente d la terracería.
- Recibir y resistir las cargas de tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).

d).- BASE

- Proporcionar un elemento resistente al pavimento para transmitir a la sub-base y a la subrasante esfuerzos de menor intensidad.
- Drenar el agua que se introduzca por la carpeta, así como impedir la ascensión capilar.

e).- CARPETA.

- Impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada.

La capacidad de carga de los materiales friccionantes es baja en la superficie por falta de confinamiento, razón por la cual se necesita que sobre de ella exista una capa de material cohesivo y con resistencia a la tensión. Lo anterior lo proporciona la carpeta asfáltica.

1.4. PAVIMENTO RÍGIDO Y FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS.

PAVIMENTO: Constituye la superestructura del camino y tiene como función soportar y transmitir las cargas de los vehículos disipándolas para que las terracerías no sufran asentamientos perjudiciales para el camino.

a).-SUB-BASE. Sirve de apoyo a la losa de concreto hidráulico; protege a la losa de cambios volumétricos en la subrasante que inducirían esfuerzos adicionales a la losa. El bombeo

Se controla con una buena base. La sub-base casi no influye en el esfuerzo de la losa, ya que esta debe ser capaz de soportar las cargas.

b).-LOSA. Similar a la de la carpeta en pavimentos flexibles mas la función estructural y soporte y transmitir las cargas a la subrasante.

En general se usa concreto simple y en ocasiones reforzado.

En cuanto a las obras civiles como edificios, presas, puentes, etc. La gran mayoría estan hechas de concreto reforzado.

Actualmente uno de los materiales con mejores características para la realización de obras es el concreto, material muy importante dentro del campo de acción del Ingeniero Civil. El concreto hidráulico es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas de cemento, agregados pétreos y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo resistente a los esfuerzos de compresión. Adicionalmente en algunas ocasiones se le añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, para mejorar o modificar algunas propiedades del concreto.

El concreto hidráulico junto con el acero son los materiales estructurales más utilizados actualmente en el mundo, por lo que deben presentar ciertas características, como el que sus elementos constituyentes estén dispersados uniformemente, que tengan la resistencia requerida, que sean impermeables, resistentes al desgaste y al clima. En el concreto endurecido buscamos que tenga cierta apariencia o acabado, alta resistencia a la abrasión o a productos químicos agresivos y a otros agentes destructores a los que pueda estar expuesto.

Dada la importancia del concreto hidráulico y de sus propiedades mecánicas, como es la resistencia a la compresión; surge la inquietud de comparar este comportamiento mecánico de resistencia a la compresión con un método no destructivo, como es la utilización del esclerómetro y el método tradicional con la prensa, que destruye al espécimen.

2

PROCESOS DE ELABORACION DEL CEMENTO PORTLAND

2.1 ¿Qué significa cemento?

La palabra cemento es nombre de varias sustancias adhesivas. Deriva del latín caementum, porque los romanos llamaban opus caementitium (obra cementicia) a la grava y a diversos materiales parecidos al hormigón que usaban en sus morteros, aunque no eran la sustancia que los unía.

Hoy llamamos cemento por igual a varios pegamentos, pero de preferencia, al material para unir que se usa en la construcción de edificios y obras de ingeniería civil.

También se le conoce como cemento hidráulico, denominación que comprende a los aglomerantes que fraguan y endurecen una vez que se mezclan con agua e inclusive, bajo el agua.

De acuerdo con la definición que aparece en la Norma Oficial Mexicana (NOM), el cemento portland es el que proviene de la pulverización del clínker obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente dosificadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar, así como otros materiales que no excedan del 1% del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento, como pudieran ser los álcali.

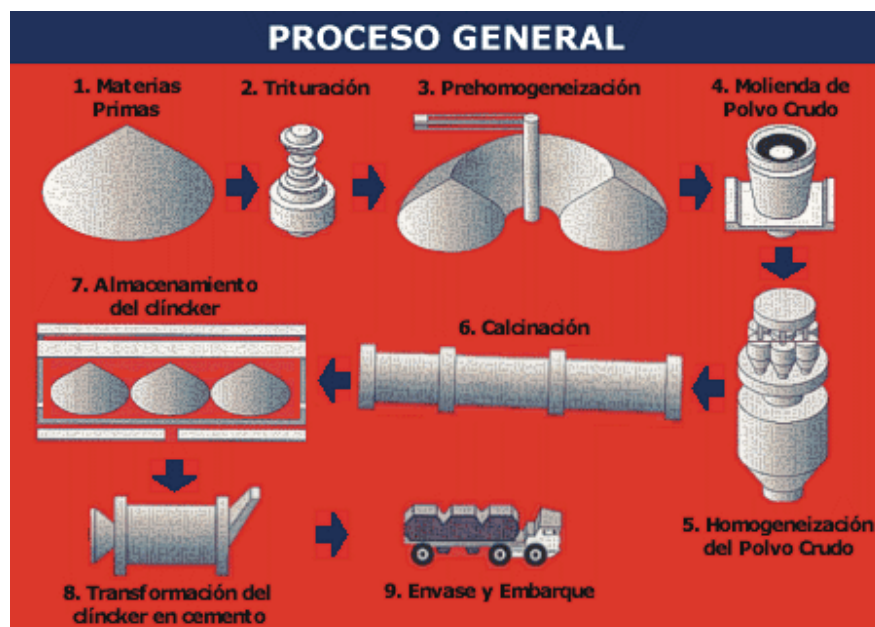
2.2 FABRICACIÓN DEL CEMENTO

El cemento portland se fabrica en cuatro etapas básicas:

1. Trituración y molienda de la materia prima.
2. Mezcla de los materiales en las proporciones correctas, para obtener el polvo crudo.
3. Calcinación del polvo crudo.

Molienda del producto calcinado, conocido como clínker, junto con una pequeña cantidad de yeso.

Continuación se muestra una figura ilustrando el proceso general de la obtención y fabricación del cemento.



Enseguida se describe de una manera mas amplia cada parte del proceso.

2.2.1. Materias Primas

La caliza y la pizarra se obtienen de canteras cercanas a las fábricas. Las canteras son propiedad de la cooperativa. El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco.

Caliza

Se encuentra en las capas superficiales de muchos cerros y montañas, en depósitos de profundidad variable, Los hay de más de 200 metros. Para la fabricación de cemento se sacan volúmenes muy grandes porque la caliza representa el 80% de las materias primas que forman el clínker. Por eso conviene que esté cerca de la planta; de no ser así el costo del cemento se elevaría demasiado por razón del acarreo.

Primero se explora el cerro para conocer el volumen y saber el grado de pureza del material que se va a explotar. El análisis químico permite conocer la calidad de una cantera de caliza. Se considera buena la que tiene carbonato de calcio en un 95% o más. Abajo de 90% ocasiona problemas.

Debido a su dureza se extrae de las canteras con el empleo de explosivos. Una voladura puede producir de 30 a 100 mil toneladas de materia prima.

Pizarra

Se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis. La pizarra representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formará el clínker. Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, sólo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia.

Debido a que la composición de éstos varía de un punto a otro de la corteza terrestre, es necesario asegurar la disponibilidad de las cantidades suficientes de cada material.

Sílice

Eventualmente se agregan arenas sílicas que contienen de 75% a 100% de sílice, para obtener el óxido de silicio requerido en la mezcla cruda. La Cruz Azul posee jales de sílice en Tlapujahua, Mich. Los jales son un desecho de las minas, rico en óxido de silicio.

Hematita

A lo que aporta mineral de fierro se le llama 'hematita', aunque pueden ser diversos minerales de fierro o escoria de laminación. La hematita contiene entre 75 y 90% de óxido férrico. Con estos minerales se controla el contenido de óxido férrico de la mezcla. La hematita constituye entre el 1 y 2% de la mezcla cruda.

Caolín

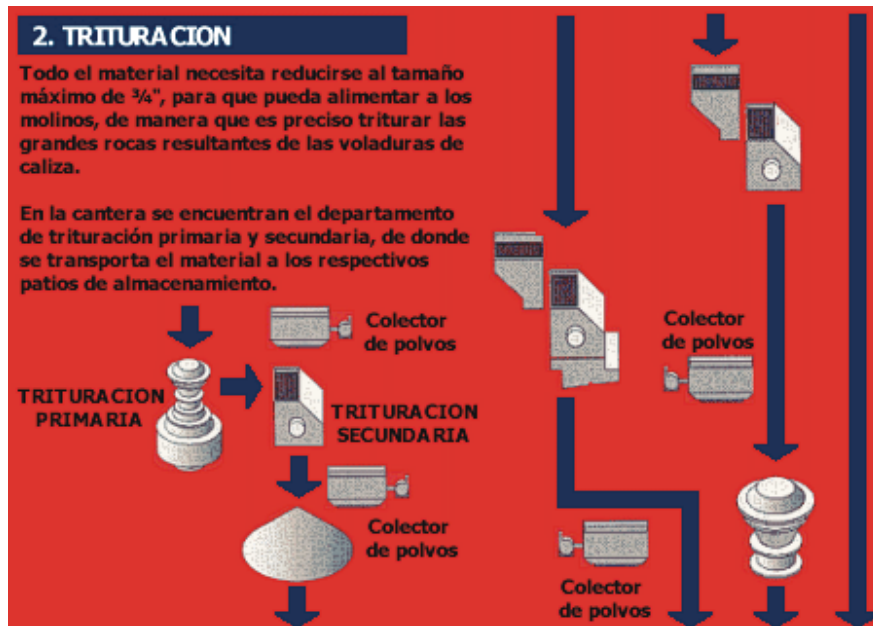
El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco. La Cruz Azul lo consigue en Agua Blanca, Ver., al norte del Estado de Hidalgo, de donde lo envía por ferrocarril a la planta de Lagunas, Oaxaca.

En la siguiente lamina se observa de manera esquematica este proceso de materias primas:



2.2.2. TRITURACIÓN

Este proceso se muestra de manera grafica en la siguiente lamina :



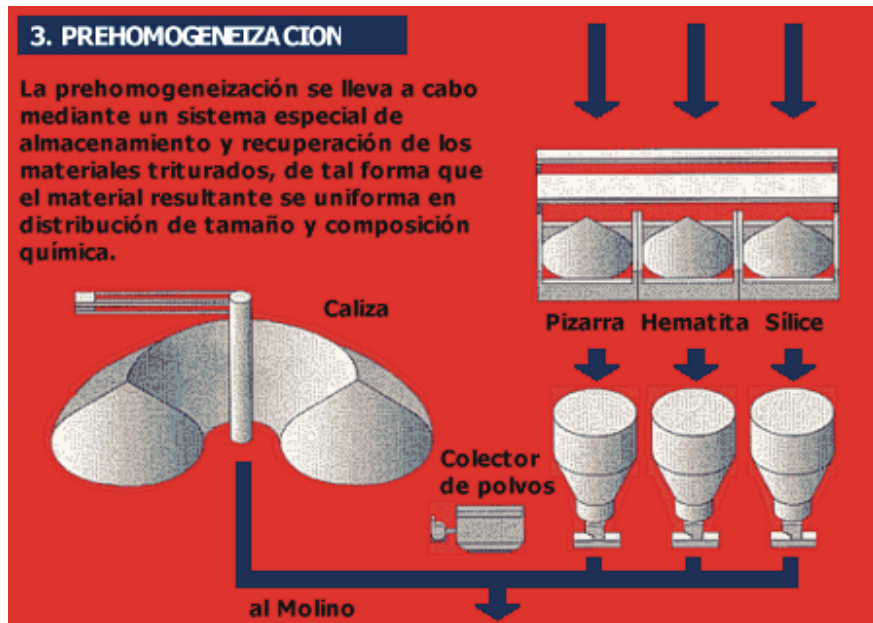
2.2.3. PREHOMOGENEIZACIÓN

De los patios de prehomogeneización los minerales son transportados por medio de sistemas de bandas, y descargados a tolvas, las cuales alimentan a los poidómetros para dosificar los materiales.

Los poidómetros son mecanismos que tienen una banda giratoria bajo la cual hay una báscula electrónica. Si cae poco material, la velocidad de la banda aumenta y viceversa.

Una vez triturada, prehomogeneizada y dosificada, las materias primas alimentan a los molinos de crudo.

De manera ilustrativa se muestra enseguida:



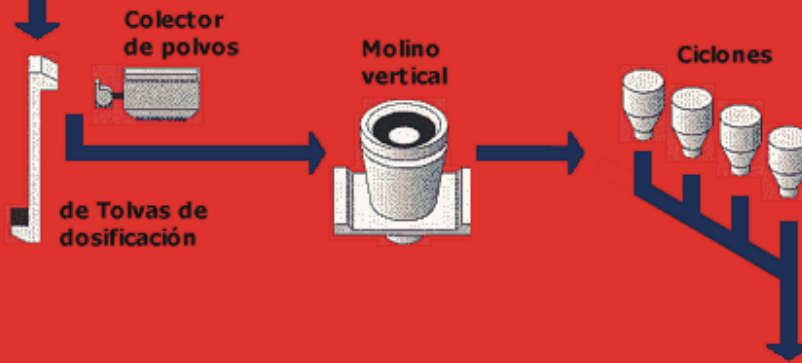
2.2.4. MOLIENDA DEL POLVO CRUDO

El resultado del análisis indica si es preciso ajustar la dosificación y la finura, ya que la mezcla cruda necesariamente debe conservar cierta relación entre los óxidos de silicio, aluminio, fierro y calcio.

Se lleva un estricto control químico, además, las partículas de caliza no deben ser mayores de 125 micras y las de cuarzo no deben medir más de 45 micras para garantizar una operación normal del horno. si la mezcla de polvo crudo no fuera uniforme, el horno tendería a enfriarse o a calentarse demasiado, lo que obligaría a ajustar la velocidad o el flujo de combustible.

4. MOLIENDA DE POLVO CRUDO

La molienda se realiza para facilitar la reacción química de los materiales en el horno. En los molinos se hace un muestreo a cada hora, se verifica la composición química mediante análisis por rayos X, y con tamices se comprueba la finura del polvo.

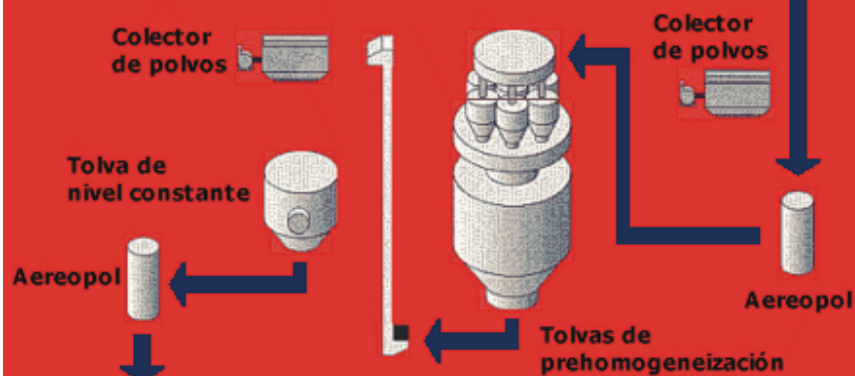


2.2.5. HOMOGENEIZACION DEL POLVO CRUDO.

Esta etapa se muestra en la siguiente lamina:

5. HOMOGENEIZACION DEL POLVO CRUDO

El producto de la molienda se lleva a un silo homogeneizador, donde un sistema neumático mezcla el material para mejorar su uniformidad, y lo deposita en los silos de almacenamiento. De los silos sale a una tolva de nivel constante que lo transporta a la parte más alta de la unidad de calcinación.



2.2.6. CALCINACIÓN

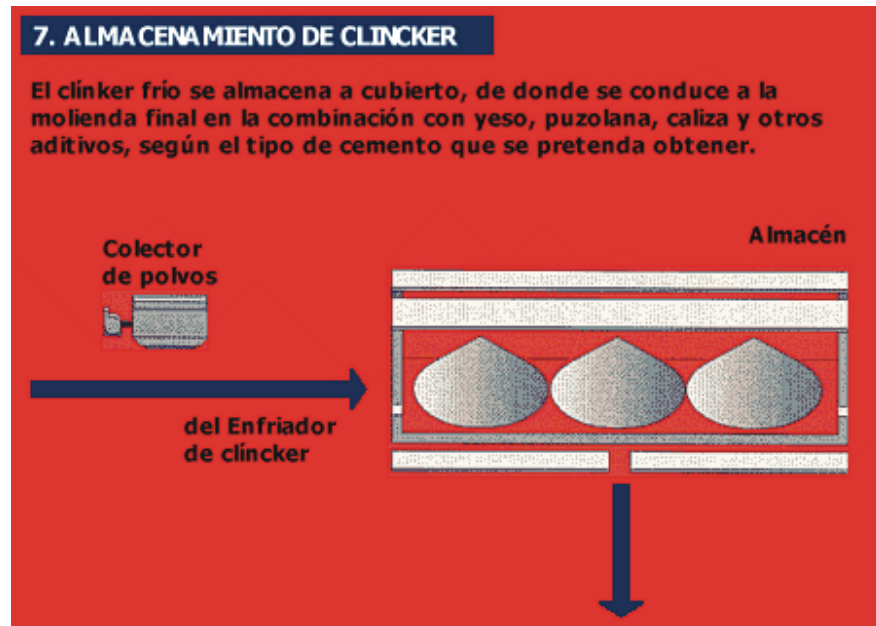
Los cambios físicos y químicos son graduales. Cuando el polvo crudo entra a la cuarta zona del horno cambia su composición química en una suma de compuestos que se llama clínker.

La palabra clínker procede del inglés y significa 'escoria'. Se define clínker como el producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxido de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente calculadas.

El producto de la calcinación debe tener una composición química predeterminada. No debe haber exceso de cal porque aparecería como cal libre en el cemento y hacer un concreto produciría expansiones y grietas. Sería un cemento insano. Es importante, por ende, evitar la cal libre mediante la correcta dosificación de las materias primas y una clinkerización a la temperatura adecuada, (1450° C).



2.2.7. ALMACENAMIENTO DE CLINKER



3

AGREGADOS PETREOS.

3.1 INTRODUCCIÓN

Tal vez uno de los problemas más triviales pero más difundidos en relación con los agregados para concreto, es la terminología que se utiliza para su identificación. Esto se debe a que en forma indiscriminada se generan diferentes definiciones y clasificaciones para hablar de ellos. También se debe destacar la influencia que genera la procedencia de los diferentes términos utilizados, que tienen alguno de los siguientes orígenes y alcances:

Origen o Procedencia	Alcance o Influencia
Asociaciones tipo ASTM o ACI	Continental o Mundial
Normas, reglamento, leyes, etc.	País
Costumbres, denominación de origen, práctica local, etc.	Ciudad o región

A esta diversidad de definiciones, se deben agregar las diferentes formas de clasificar que son empleadas en el caso de los agregados para concretos.

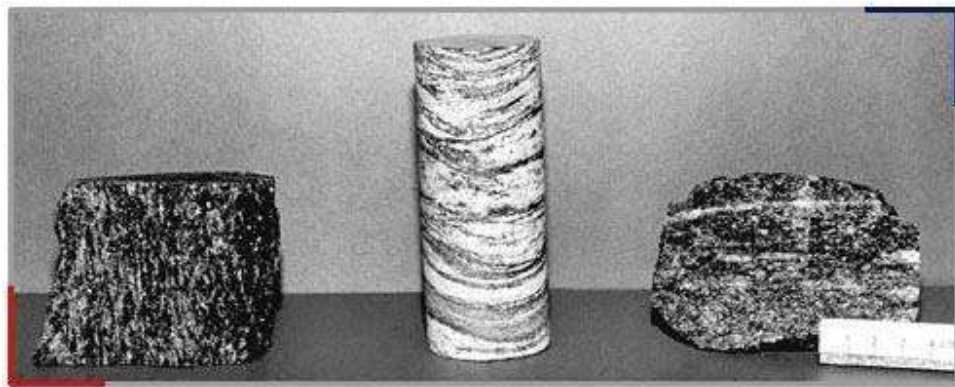
3.2 CLASIFICACIONES

A continuación se mencionan las clasificaciones más comunes que se emplean para este tipo de materiales:

3.2.1. CLASIFICACIÓN POR ORIGEN

Esta clasificación toma como base la procedencia natural de las rocas y los procesos físico-químicos involucrados en su formación. Con base en ello, se divide a las rocas en tres grandes grupos:

- ▣ Ígneas
- ▣ Sedimentarias
- ▣ Metamórficas



Ninguna de estas identificaciones considera, en su proceso de clasificación, las propiedades físicas y/o químicas que debe cumplir un agregado para concreto.

3.2.2. CLASIFICACIÓN POR COMPOSICIÓN

Esta división tiene como fundamento la composición químico-mineralógica de cada roca, además de llevar en forma implícita una denominación de origen. A continuación se mencionan algunos ejemplos de este tipo de clasificación:

- | | | |
|------------|------------|-----------|
| ▣ Caliza | ▣ Tezontle | ▣ Caliche |
| ▣ Andesita | ▣ Tepojal | ▣ Granito |
| ▣ Basalto | ▣ Riolita | ▣ Mármol |

Al ser las características químicas y mineralógicas las únicas que intervienen en este tipo de agrupación, se tiene el fuerte inconveniente de no considerar las características físicas del material, tan importantes en la evaluación de los agregados para concreto.

Para puntualizar lo anterior se pueden mencionar dos ejemplos:

- a) La caliza, el mármol y el caliche tienen la misma composición química, pero no la misma resistencia física; aun más, es muy común que entre las calizas se observen diferentes grados de calidad física.
- b) El basalto y el tezontle tienen la misma composición química, pero al tener el tezontle una gran cantidad de espacio poroso lo hace un agregado ligero y de menor resistencia.

4.2.3. CLASIFICACIÓN POR COLOR

Tal vez sea la clasificación más común que existe y la más fácil de generar o utilizar, ya que sólo considera el color del material.

La utilización de una clasificación simplista es una actividad más frecuente de lo deseable, ya que si bien es una forma rápida de identificar un agregado, es la que proporciona la mínima información del mismo.

4.2.4. CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

Esta identificación de los materiales se deriva de la condición mínima del concreto convencional de dividir a los agregados en dos fracciones principales cuya frontera nominal es 4.75 mm (malla No. 4 ASTM), dando por resultado lo siguiente:

Clasificación	Intervalo Nominal (mm)	Mallas Correspondientes	
		NMX	ASTM
Agregado fino	0.075 - 4.75	F0.075-G4.75	No. 200-No 4
Agregado grueso	4.75 - variable (+)	G4.75 - (+)	No. 4 - (+)

(+) El límite superior en el intervalo nominal del agregado grueso, y la designación de la malla correspondiente, dependen del tamaño máximo de la grava que se utilice (Mena, 1994).

3.2.5. CLASIFICACIÓN POR MODO DE FRAGMENTACIÓN

Por la forma en que ocurre el proceso de fragmentación de los materiales, la cual puede ser:

- **Natural:** por procesos naturales (erosión).
- **Manufacturada (triturados):** por procesos artificiales (mecánicos).
- **Mixta:** combinación de materiales fragmentados por procesos naturales y artificiales.

Este tipo de división no valida ninguna característica físico-química del agregado.



Clasificación por Peso Específico

Esta identificación de agregados se genera de una característica básica del concreto que es su peso unitario, el cual a su vez depende del peso específico de los agregados que se utilizan en su fabricación. La división básica que existe es:

- Ligero
- Normal
- Pesado



Esta clasificación de agregados valora la correspondiente aptitud de los mismos para producir concreto con diferentes pesos unitarios, pero no considera sus características físico-químicas en forma detallada.

De acuerdo a lo anterior, se puede detectar o provocar un problema de comunicación, al existir tan variadas clasificaciones, que toman como base en algunos casos información inútil en la calificación de un agregado para concreto, o bien la información que proporcionan es incompleta. La situación que se genera por esta

información parcial es:

- ▣ Identificaciones imprecisas.
- ▣ Establecimiento de juicios erróneos, al desconocer las bases de cada clasificación.
- ▣ Aplicación de criterios equivocados en la evaluación de agregados.
- ▣ Usos indiscriminados de las clasificaciones.

3.3. TERMINOLOGÍA ASTM

Dado que en el medio del concreto existe una terminología muy amplia, y se usa en forma indiscriminada, es conveniente revisar cuál es la propuesta de un organismo internacional que se dedica a especificar en relación con este tipo de producto.

Material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.



Terminología Relativa a los Agregados para Concreto (ASTM C 125 - 92a)

3.3.1. Agregado

Material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

3.3.2. Agregado Grueso

- 1) Agregado predominantemente retenido en la malla No. 4 (4.75 mm)
- 2) Es la porción de un agregado retenido en la malla No. 4 (4.75 mm)

3.3.3. Agregado Fino

- 1) Agregado que pasa la malla de 3/8" (9.5 mm) y casi totalmente pasa la malla No. 4 (4.75 mm) y es predominantemente retenido en la malla No. 200 (0.075 mm)
- 2) Es la porción de un agregado que pasa la malla No. 4 (4.75 mm) y es retenido en la malla No. 200 (0.075 mm)

3.3.4 Agregado Pesado

Agregado de alta densidad, el cual puede ser barita, magnetita, limonita, ilmenita, hierro o acero.

3.3.5. Agregado Ligero

Agregado de baja densidad usado para producir concreto ligero, incluye: pómez, escoria volcánica, tobas, diatomita, arcilla sintética o expandida, lutita, pizarra, lutitas diatomáceas, perlita, vermiculita y productos de combustión de carbón.

3.3.6. Grava Triturada

Es el producto resultado de la trituración artificial de gravas, en la cual la mayoría de los fragmentos tienen mínimo una cara resultado de la fractura.

3.3.7. Piedra Triturada

Es el producto de la trituración artificial de rocas, peñascos o fragmentos de roca grandes, en el cual todas las caras resultantes se derivan de las operaciones de trituración.

3.3.8 Grava

Agregado grueso resultante de la desintegración natural y abrasión de rocas o

transformación de un conglomerado débilmente cementado.

3.3.9 Arena Manufacturada

Agregado fino producido por trituración de grava, roca, escoria o concreto hidráulico.

3.3.10. Arena

Agregado fino resultado de la desintegración y abrasión de roca o la transformación de una arenisca completamente friable.

Es notable que para este organismo las clasificaciones de origen, color, y composición no se emplean en la definición de agregados para concreto, y sí se toman en cuenta las clasificaciones que definen el tamaño, el modo de fragmentación y el peso específico.

- ▣ Para definir correctamente a los agregados, se recomienda eliminar el uso de clasificaciones ambiguas, imprecisas y/o incompletas (origen, color y composición).
- ▣ Los especialistas del concreto deben impulsar la utilización de una terminología precisa y adecuada para la definición de los agregados para concreto.
- ▣ Se propone la aplicación de la siguiente metodología para la identificación de agregados:

Dependiendo de la aplicación que se pretenda dar al agregado, en la identificación se pueden utilizar una o más tipos de clasificaciones, con la finalidad de detallar lo más posible las características a cumplir por el agregado.

3.4. CLASIFICACIONES Y CONCEPTOS A INCLUIR EN LA DEFINICIÓN.

- ▣ Tamaño del agregado, especificando el tamaño máximo del agregado grueso. En casos de requerimientos especiales en la granulometría, proporcionar la curva granulométrica.
- ▣ Modo de fragmentación (opcional).
- ▣ Peso específico, especificando el peso unitario del concreto a fabricar.

3.5. CLASIFICACIÓN POR TAMAÑOS

3.5.1. INTRODUCCIÓN

Es reconocido que más del 60% de cada metro cúbico de concreto fabricado está constituido por los agregados, condición que destaca la importancia que tienen estos materiales en la elaboración de este producto. Bajo esta condición, las características de los materiales que los forman y los efectos de su uso en el concreto se han estudiado con mucho mayor detalle, de tal forma que se pueda producir un concreto de mejores características en estado fresco y con una mayor durabilidad.

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características (modo de fragmentación, tamaño de partícula, origen, composición, forma de partícula y color). Su utilización y aplicación puede consultarse en el capítulo "Terminología Empleada en los Agregados para Concreto" que se incluye en esta Guía.

Agregado Fino (arena)

- 1) Agregado que pasa la malla 3/8" (9.5 mm) y casi totalmente pasa la malla No. 4 (4.75 mm) y es predominantemente retenido en la malla No. 200 (0.075 mm).
- 2) Es la porción de un agregado que pasa la malla No. 4 (4.75 mm) y es retenido en la malla No. 200 (0.075 mm).

Agregado Grueso (grava)

- 1) Agregado predominantemente retenido en la malla No. 4 (4.75 mm).
- 2) Es la porción de un agregado retenido en la malla No. 4 (4.75 mm).

La eliminación de las otras clasificaciones (origen, composición, forma de partícula y color) se debe a que presentan los siguientes inconvenientes:

- ▣ Clasificaciones creadas con un objetivo diferente a la identificación de agregados para concreto (ejemplo: la división de rocas en ígneas, sedimentarias y metamórficas se realizó de acuerdo con las condiciones naturales de formación de las rocas y no calificando sus características físicas particulares asociables al uso en concreto).
- ▣ Conceptos ambiguos (ejemplo: desde el punto de vista de la composición química, basalto y tezontle son lo mismo, aunque es reconocido que pueden tener una diferencia significativa en color y peso volumétrico).

- ▣ No califican ninguna característica física de las que se evalúan en los agregados para concreto (ejemplo: origen).
- ▣ Miembros de familias diferentes o iguales pueden tener características físicas distintas o similares, generando confusión en las propiedades del material (ejemplo: hay calizas de muy diversa calidad física, desde buena hasta pésima).
- ▣ Clasificaciones simplistas que inducen a interpretaciones erróneas (ejemplo: el color).

3.5.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Las características de los agregados que es conveniente evaluar antes de ser empleados en la fabricación de concreto son las que se indican en la siguiente tabla.

Debido a la importancia que reviste especificar y clasificar los agregados de concreto para una obra, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- a)** Características y requisitos a cumplir de la estructura que se va a fabricar.
- b)** Agregados disponibles en el sitio.
- c)** Composición granulométrica de los agregados a emplear.

Característica	Pruebas aplicables	
	NMX	ASTM
Granulometría	C-111	C 33
Limpieza	C-111	C 33
▣Finos indeseables		D 2419
▣Materia orgánica	C-88	C 40
▣Partículas inconvenientes	C-84 / C-71 / C-75 / C-172	C117 / C142 / C88 / 123
Densidad	C-164 / C-165	C 127 / C 128
Sanidad	C-75	C 88
Absorción y Porosidad	C-164 / C-165	C 127 / C 128
Forma de Partícula	C-265 / C-165	C 295 / C 128
Textura Superficial	C-265	C 295
Reactividad con los álcalis		
▣Examen petrográfico	C-265	C 295
▣Método químico	C-271 / C-272	C 289 / C 586
▣Barras de mortero	C-180	C 227 / C 1105

CLASIFICACIÓN POR PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD GRANULOMETRÍA

Agregado Fino (arena)

Constituido nominalmente por partículas cuyo tamaño está entre 0.075 y 4.75 mm, en donde es deseable que exista continuidad granulométrica, es decir que exista presencia de todos los tamaños representantes de las diferentes fracciones que están establecidas.

Es importante comentar que si bien es útil que el agregado fino cumpla con la continuidad granulométrica, resulta poco prudente el especificar la arena con base a esta característica, ya que un adecuado diseño de mezclas o bien el uso de aditivos en el concreto, permite disminuir los posibles efectos no deseados por una deficiencia de esta característica del agregado.

Agregado Grueso

Es el que queda en el intervalo nominal comprendido desde 4.75 mm hasta la dimensión máxima que contenga el concreto, magnitud que define el tamaño máximo en cada caso.

Al igual que en el agregado fino, es deseable que exista una continuidad granulométrica de la fracción. Por lo anterior, es claro que el límite superior del agregado grueso es el que rige la curva granulométrica a especificar para cada tipo de concreto, de acuerdo con sus necesidades constructivas.

De igual forma que en el agregado fino, los efectos por una deficiente composición granulométrica pueden ser disminuidos, vía la aplicación adecuada de la tecnología de concreto.

3.5.3. LIMPIEZA

Finos indeseables (limo y arcilla)

En forma general, para la especificación de esta característica hay dos criterios para la utilización de agregados en concretos:

Finos que pasan la malla No. 200	Norma aplicada NMX C-111*	
*	Arena (%)	Grava (%)
Finos de cualquier tipo	5.0	2.0
Finos sin arcilla**	10.0	3.0

3.5.3.1. % máximo aplicable.

Para conocer el carácter arcilloso de los finos que pasan la malla No. 200, es aplicable la prueba de equivalente de arena.

3.5.3.2. Materia orgánica

La especificación de esta característica de los agregados limita el contenido de este producto con base en una clasificación colorimétrica, en donde un tono más oscuro que el color de referencia es condición que se considera como una presencia excesiva, y por tanto es causa de rechazo.

3.5.3.3. Partículas inconvenientes

Esta especificación se realiza con base en el tipo de partícula presente en el agregado, de

acuerdo a lo siguiente:

Carbón y lignito en la arena	0.50 a 1.0%
Calcedonia de peso específico menor a 2.40	3.0 a 8.0%
Terrones de arcilla	ver material que pasa la malla No 200

3.5.3.4. Densidad

No hay una especificación sobre los límites de aceptación para esta característica, principalmente porque no tiene correlación con el grado de sanidad de los materiales que se analizan. Además, depende del peso unitario del concreto que se va a producir, dividiéndose para ello en ligero, normal y pesado.

3.5.3.5. Sanidad

La sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Esta propiedad tiene mucha importancia porque es un buen índice del desempeño predecible del agregado al ser usado en concreto.

	NMX C-111
Agregado fino	10% máximo
Agregado grueso	12% máximo

3.5.3.6. Absorción y Porosidad

No hay una especificación sobre el límite de aceptación de esta característica, dado que esta depende de muy diversos factores, tales como: contenido de finos, forma y textura superficial de las partículas, porosidad de la roca y distribución granulométrica. Se reconoce como información válida, sin embargo, que cuando se tienen rocas de buena calidad física y los agregados cumplen las otras especificaciones que se le solicitan, el agregado grueso no rebasa el 3% de la absorción, así como el agregado fino no supera el 5% máximo.

3.5.3.7. Forma de Partícula

En términos generales, no existe una especificación estricta para esta característica que

evalúe la redondez y esfericidad de los agregados, ya que es demostrable que en condiciones idénticas, son más adecuados los agregados de formas redondeadas para la producción de concretos con resistencias que no excedan los valores de 250 kg/cm². Asimismo, es recomendable que para concretos que requieran desarrollar mayores resistencias a las de referencia, se haga uso de partículas de formas más angulosas. En el caso de la esfericidad evaluada por la presencia de partículas planas y alargadas, es recomendable que éstas no superen el 20% máximo de acuerdo con el comité ACI 207.

3.5.3.8. Textura Superficial

Al igual que para la forma, no existe una especificación rigurosa para la textura superficial, ya que los diferentes tipos que existen producen efectos diversos en la fabricación de concreto.

3.5.3.9. Reactividad con los Álcalis

Existen tres pruebas que evalúan esta característica de los agregados, independientemente de si la reacción es álcali-sílice o álcali-carbonato. Las tres son importantes por los elementos de juicio que aportan sobre el posible comportamiento del material al ser utilizado en la fabricación de concreto:

Método de prueba	Carácter del resultado	Evaluación
Estudio petrográfico*	Definitivo, sólo material inocuo	Inocuo/Deletéreo
Método químico	Definitivo, sólo material inocuo	Inocuo/Deletéreo
Barras de mortero	Definitivo, estimación potencial	**

Es importante ya que califica cuál es el tipo de reacción que puede presentar el agregado, al identificar y cuantificar los materiales potencialmente reaccionantes.

Valor de la expansión en relación con el tipo de reacción y su clasificación.

	Álcali-Sílice (NMX C-180)	Álcali- Carbonato (ASTM C 1105)
Inocuo	< 0.05% a tres meses	< 0.015% a tres meses
Moderadamente reactivo	> 0.05%, < 0.10%	> 0.015%, < 0.025%
Deletéreo	> 0.10 a seis meses	> 0.025% a seis meses

3.6. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN CONCRETO

3.6.1. En Estado Fresco

Propiedad del concreto	Característica de los agregados que la influye
Peso unitario	Densidad Tamaño máximo / granulometría
Manejabilidad	Granulometría Forma de partícula
Contracción plástica	Limpieza Partículas friables
Requerimiento de agua	Tamaño máximo / granulometría Sanidad Limpieza
Sangrado	Granulometría Forma de partícula
Pérdida de revenimiento	Absorción
Segregación	Tamaño máximo / granulometría

3.6.2. En Estado Endurecido

Propiedad del concreto	Característica de los agregados que la influye
Durabilidad	Textura superficial Sanidad Absorción Porosidad Reactividad con los álcalis
Resistencia a compresión	Limpieza Tamaño máximo / granulometría Forma de partícula Resistencia mecánica Partículas friables Textura superficial
Cambios volumétricos	Tamaño máximo / granulometría Forma de partícula Limpieza Presencia de arcilla Módulo de elasticidad
Costo	Tamaño máximo / granulometría Forma de partícula Textura superficial Limpieza
Sangrado	Granulometría

Resistencia a la abrasión	Resistencia a la abrasión
Peso unitario	Densidad
Permeabilidad	Porosidad

3.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

Exploración de agregados naturales.

Se ha mencionado que los agregados naturales (arenas y gravas) proceden de la fragmentación de rocas por fuerza de la naturaleza; sin embargo, no todos son útiles para elaborar concreto; por ello, es conveniente conocer el origen de dichos materiales para entender mejor sus diferencias.

Los principales procesos que conducen a la desintegración de rocas en la corteza terrestre son el desgaste de las irregularidades en el relieve, el diastrofismo y el vulcanismo; de los anteriores el primero es el que contribuye en mayor grado a la formación de agregados naturales ocasionada por diversos agentes naturales físicos y químicos. El diastrofismo es el proceso por el cual grandes masas de corteza terrestre se desplazan unas respecto a otras al experimentar reajustes. La acepción general del proceso de vulcanismo corresponde a los efectos que se manifiestan sobre las rocas en estado de fusión antes de ser proyectadas al exterior, y a los efectos que producen en contacto con la superficie terrestre. Existen numerosos ejemplos de rocas fragmentadas, de origen volcánico, que constituyen yacimientos de agregados naturales, los cuales reciben el nombre de depósitos piroclásticos.

La meteorización es el conjunto de fenómenos físicos y químicos que producen el desintegramiento de las rocas por degradación superficial de sus propiedades. Este proceso, también conocido como alteración, avanza en forma paulatina desde la superficie hacia el interior, de modo que el material que se desprende de la roca madre frecuentemente es de material alterado, razón por la cual se desconfía de este tipo de material en relación con su utilidad como agregado para concreto. No obstante, hay ocasiones en que la desintegración de la roca se debe a fuerzas destructivas que no degradan sus propiedades (cambios de temperatura, ciclos de congelación y deshielo), en cuyo caso los fragmentos resultantes son sanos y no objetables.

3.7.1.Exploración de agregados triturados.

Al analizar formaciones rocosas que sirvan para producir agregados triturados, deben atenderse los siguientes aspectos:

- a) *Calidad y homogeneidad de la roca.* Para conocer la calidad de la roca existente en una formación rocosa, se requiere de la inspección detallada y la determinación de sus propiedades sobre muestras representativas del banco. La inspección debe enfocarse hacia conocer la uniformidad y homogeneidad del material en todos los frentes, determinando la presencia de material superficial alterado y su espesor probable, conociendo la existencia de fracturas o juntas rellenas de arcilla o de otro material indeseable, y estimar el volumen aproximado aprovechable.

Para determinarlas es necesario obtener muestras representativas de la roca en diferentes zonas y profundidades de la formación.

b) *Potencialidad de la formación rocosa.* Cuando la formación rocosa se manifiesta como un afloramiento bien definido, la estimación de su potencialidad puede efectuarse mediante un simple levantamiento topográfico. De no ser así, es necesario proceder a la ejecución de barrenos de sondeo y al empleo de métodos geofísicos de medición. En este último caso, la estimación requiere los servicios de personal profesional, a fin de establecer con precisión número y dirección de barrenos necesarios, y efectuar con claridad la interpretación de los datos aportados por las mediciones.

c) *Características resultantes del producto.* Tiene gran importancia predecir con suficiente aproximación las características de forma y granulometría de los fragmentos

que se vayan a producir en el momento de triturar la roca procedente de un cierto banco de material, ya que sirven como un elemento de juicio adicional para la selección de materia prima más conveniente. En este sentido, conviene recordar que las formas deseables son las equidimensionales, y que la roca triturada se encuentre exenta de polvo durante la trituración y su aplicación.

Normalmente, es posible suponer dichas características a través de exámenes macro y microscópicos de la roca, observando su estructura y textura. Las rocas que no presentan planos débiles definidos, como el cuarzo, ofrecen la misma probabilidad de fracturarse en cualquier dirección y producen fragmentos con tendencia equidimensional; en cambio, minerales como los feldespatos, que presentan dos planos de crucero, producen fragmentos con tendencia tabular. Por otra parte, rocas que en su estructura tienen granos poco entrelazados tienden a disgregarse demasiado durante la trituración, produciendo exceso de finos; en cambio, las rocas compactas con granos fuertemente entrelazados tienden a producir pocos finos durante la trituración. Es posible que mediante una selección adecuada del equipo de trituración, se pueda influir en las características granulométricas y de forma de las rocas.

4

CARACTERISTICAS MECANICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

4.1. PROPIEDADES MECANICAS.

4.1.1. Resistencia.

Es la capacidad que tienen los materiales para soportar las diversas solicitaciones a que pueden estar sometidos: compresión, tensión, flexión, tracción, etc. [Ref. 13]

Como el concreto es una masa endurecida de materiales heterogéneos, sus propiedades reciben la influencia de un gran número de variables relacionadas con las diferencias en los tipos y cantidades de los ingredientes, las diferencias en el mezclado, etc. En virtud de las muchas variables, deben emplearse métodos de verificación de la calidad del concreto.

Compresión.- La mayor parte del concreto se dosifica para obtener una resistencia dada a la compresión para un tiempo determinado (generalmente 28 días) y, como consecuencia, lo que se aplica con más frecuencia es una prueba a la compresión. Lo más común es hacer cilindros de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.

Tensión.- Normalmente no se requiere que el concreto resista fuerzas directas de tensión, debido a sus malas propiedades a este respecto. Sin embargo, la tensión es importante con respecto al agrietamiento debido a la limitación de la contracción causada por la actividad química ó cambios térmicos volumétricos.

Módulo de Ruptura.- En ocasiones suelen requerirse pruebas a la flexión en vigas cuando el concreto no reforzado va a quedar sujeto a carga a flexión.

Módulo de Elasticidad.- Es la capacidad que tiene un material para recuperar su forma original. [Ref. 10]

4.1.2. Trabajabilidad.

En la resistencia del concreto hay factores que la afectan, como lo es el grado de compactación; por lo tanto, es muy importante que la consistencia de la mezcla sea tal que el concreto pueda transportarse, colarse y acabarse con la relativa facilidad y sin segregación.

Estas características que se comentan, al cumplirse se dice que el concreto es trabajable, pero que la trabajabilidad determine la facilidad de colocación y evite la segregación es confundir la trabajabilidad con estas propiedades vitales para el concreto. Por lo tanto, la trabajabilidad se debería definir tan sólo como una propiedad física del concreto, y considerarla como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total. [Ref. 13]

4.1.3. Contracción y Expansión.

El concreto se contrae cuando se seca y se expande al humedecerse. Cuando se conserva continuamente húmedo, se expande lentamente por varios años, pero tanto la cantidad total como la rapidez de expansión son, por lo general tan pequeños, que se considera que el volumen permanece constante. Sin embargo, es usual que el concreto no se mantenga continuamente húmedo, sino que esté sometido a pérdida de agua y a la subsecuente contracción, en vez de que se expanda. [Ref. 14]

4.1.4. Tenacidad.

El concreto simple tiene malas propiedades de tenacidad, encontrándose en general la energía de ruptura a la compresión por debajo de 10 in-lb/in³, es posible incrementar ligeramente la tenacidad del concreto al incrementar la resistencia de éste. La tenacidad es la resistencia al impacto. [Ref. 10]

4.1.5. Durabilidad.

La durabilidad del concreto es la capacidad que tiene éste a resistir la intemperie, la acción de productos químicos y el desgaste a los cuales estará sometido en el servicio. [Ref. 10]

4.1.6. Absorción y Permeabilidad.

Por absorción se entiende el proceso por el cual el concreto lleva agua hacia sus poros y capilares. La permeabilidad del concreto al agua o vapor es la propiedad que permite el paso del fluido o vapor a través del concreto. [Ref. 10]

4.1.7. Intemperización.

El buen concreto es un material relativamente durable en una amplia variedad de exposiciones. Sin embargo, por lo común las condiciones de intemperización pueden tener efectos dañinos y causar la desintegración del mal concreto.

En el proceso de investigación para la realización del presente trabajo se conto con la ayuda de la empresa mexicana CEMEX.

Cemex ofrece a sus clientes una amplia variedad de alternativas en cuanto a tipos de concreto premezclado dando así un valor agregado único en el mercado.

4.2 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Cuando se construyen estructuras o elementos de gran claro y/o muy altos, o secciones económicas con un comportamiento adecuado ante toda clase de esfuerzos, el **Concreto Profesional^{MR} de Alta Resistencia** a la compresión y a la flexión, es la solución profesional a tu problema.

4.2.1. Ventajas

- ▣ Ofrece valores de resistencia a la compresión entre 400 y 900 kg/cm², de muy alta durabilidad y baja permeabilidad.
- ▣ Mejora la protección a la corrosión del acero de refuerzo.
- ▣ La estructura tiene un menor costo en comparación a otras elaboradas con acero.
- ▣ Presenta una mayor resistencia a la erosión.

- ▣ Se aprovecha un área mayor en las plantas más bajas de edificios altos o muy altos. Debido a la baja relación agua/ cemento se logran concretos muy durables, de muy
- ▣ baja permeabilidad, alta resistencia y con mayor protección a la corrosión del acero de refuerzo.
- ▣ Requiere menos obras de infraestructura en puentes de grandes claros.
- ▣ Menor peso de la estructura.
- ▣ Su alta consistencia permite bombearlo a grandes alturas.
- ▣ Posee muy alta fluidez que hace posible su colocación aún en zonas congestionadas de acero de refuerzo.
- ▣ Se puede lograr tener un alto $f'c$ a 24 hrs.

4.2.2. Usos

Por sus características mecánicas mejoradas es ideal para construir:

- ▣ Columnas esbeltas y trabes en edificios altos o rascacielos.
- ▣ Secciones de puentes con claros largos o muy largos.
- ▣ Sistemas de transporte.
- ▣ Estructuras costeras, sanitarias, militares, etc.
- ▣ Pisos más resistentes al desgaste.

4.2.3. Datos Técnicos

Concreto Fresco

- ▣ El fraguado es ligeramente mayor al concreto normal, lo cual nos permite colocarlos sin problema.
- ▣ Alta cohesividad de la mezcla en estado fresco.
- ▣ Sostenimiento del revenimiento por largos períodos de duración (de hasta 25 cm) para su uso como los concretos estructurales.

Concreto Endurecido

- ▣ Valores de resistencias a la compresión desde 400 hasta 900 kg/cm^2 .
- ▣ Resistencias superiores a las referidas se pueden lograr de acuerdo con cada proyecto.

4.3. CONCRETO DE RESISTENCIA ACELERADA

La respuesta acelerada a tus necesidades de construcción

Si tu proyecto requiere poner en uso la obra en pocas horas, la solución es el **Concreto Profesional^{MR} de Resistencia Acelerada CREA^{MR}** que reduce el tiempo de ejecución y proporciona alta resistencia a edad temprana.

4.3.1. Ventajas

- ▣ Reduce el tiempo de ejecución de las obras.
- ▣ Por sus componentes y producción garantiza un fraguado rápido.
- ▣ Posee una muy baja contracción adaptándose fácilmente a construcciones anteriores de concreto.
- ▣ Es resistente a los sulfatos.
- ▣ Es de baja permeabilidad.
- ▣ Tecnología libre de cloruros.
- ▣ El tiempo de fraguado se puede ajustar a las necesidades de la obra.
- ▣ Alta fluidez.
- ▣ Reduce el tiempo para el descimbrado.

4.3.2. Usos

- ▣ Reparaciones en obras que se utilizan las 24 hrs.
- ▣ Construcción y reparación de avenidas importantes en zonas de alto tránsito.
- ▣ Reparación y construcción de instalaciones de servicios (líneas de gas, fibra óptica, agua, etc.).
- ▣ Construcción y mantenimiento de pisos industriales.
- ▣ Construcción y reparación de pistas y plataformas aéreas.
- ▣ Reparación de guarniciones y banquetas.

4.3.3. Datos Técnicos

Concreto Fresco

- ▣ Revenimientos de 17 a 21 cm.
- ▣ Peso volumétrico alrededor de 2,200 kg/m³.
- ▣ Alta cohesividad.
- ▣ No presenta segregación.

Concreto Endurecido

- ▣ Resistencias a la compresión desde 150 kg/cm a las 8 hrs. hasta 300 kg/cm² a las 24 hrs.
- ▣ Resistencia a la flexión desde 15 kg/cm² a las 8 hrs. hasta 23 kg/cm² a las 24 hrs.
- ▣ Baja contracción por secado.



4.4. EL CEMENTO PÓRTLAND: USOS Y APLICACIONES

4.4.1. INTRODUCCIÓN

El Cemento Portland, uno de los componentes básicos para la elaboración del concreto, debe su nombre a Joseph Aspdin, un albañil inglés quién en 1824 obtuvo la patente para este producto.

Debido a su semejanza con una caliza natural que se explotaba en la Isla de Portland, Inglaterra, lo denominó Cemento Portland.

En 1906, nace en México la primera planta cementera en Hidalgo, N.L., que a la postre daría origen a lo que hoy en día es CEMEX.

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando le son agregados arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción: el CONCRETO.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo.

En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos -como el mineral de hierro cuando es necesario- y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado CLINKER.



4.4.2. La norma ASTM C 150 establece ocho diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción:

Tipo	Nombre	Aplicación
I	Normal	Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.
IA	Normal	Uso general, con inclusor de aire.
II	Moderado	Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.
IIA	Moderado	Igual que el tipo II, pero con inclusor de aire.
III	Altas resistencias	Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.
IIIA	Altas resistencias	Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.
IV	Bajo calor de hidratación	Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.
V	Resistente a la acción de los sulfatos	Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

Tipo I

Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II

El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. La Norma ASTM C 150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

Tipo III

Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV

El cemento Portland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción.

La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- Cemento Portland de escoria de alto horno - Tipo IS.
- Cemento Portland puzolana - Tipo IP y Tipo P.
- Cemento de escoria - Tipo S.
- Cemento Portland modificado con puzolana - Tipo I (PM).
- Cemento Portland modificado con escoria - Tipo I (SM).

Tipo IS

El cemento Portland de escoria de alto horno se puede emplear en las construcciones de concreto en general. Para producir este tipo de cemento, la escoria del alto horno se muele junto con el clinker de cemento Portland, o puede también molerse en forma separada y luego mezclarse con el cemento. El contenido de escoria varía entre el 25 y el 70% en peso.

Tipo IP y Tipo P

El cemento Portland IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación. El contenido de puzolana de estos cementos se sitúa entre el 15 y el 40 % en peso.

Tipo S

El cemento tipo S, de escoria, se usa comúnmente en donde se requieren resistencias inferiores. Este cemento se fabrica mediante cualquiera de los siguientes métodos:

- 1) Mezclando escoria molida de alto horno y cemento Portland.
 - 2) Mezclando escoria molida y cal hidratada.
 - 3) Mezclando escoria molida, cemento Portland y cal hidratada.
- El contenido mínimo de escoria es del 70% en peso del cemento de escoria.

Tipo I (PM)

El cemento Portland tipo I (PM), modificado con puzolana, se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando cemento Portland o cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana fina. Esto se puede lograr:

- 1) Mezclando el cemento Portland con la puzolana
 - 2) Mezclando el cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana
 - 3) Moliendo conjuntamente el clinker de cemento con la puzolana
 - 4) Por medio de una combinación de molienda conjunta y de mezclado.
- El contenido de puzolana es menor del 15% en peso del cemento terminado.

El contenido máximo de escoria es del 25% del peso del cemento de escoria.

A todos los cementos mezclados arriba mencionados, se les puede designar la inclusión de aire

agregando el sufijo A, por ejemplo, cemento TIPO S-A.

Además, en este tipo de cementos, la norma establece como requisito opcional para los cementos

Tipo I (SM), I (PM), IS, IP y los denominados con subfijo MS o MH lo siguiente: moderada resistencia a los sulfatos y/o moderado calor de hidratación y en caso del tipo P y PA, moderada resistencia a los sulfatos y/o bajo calor de hidratación.

La Norma ASTM C 1157 establece los requisitos de durabilidad para los cementos hidráulicos cuando se utilicen en aplicaciones especiales o para uso general. Por ejemplo, donde se requieran altas resistencias tempranas, moderada a alta resistencia a los sulfatos, moderado o bajo calor de hidratación y opcionalmente baja reactividad con los agregados reactivos a los álcalis.

Cementos para Pozos Petroleros

Estos cementos, empleados para sellar pozos petroleros, normalmente están hechos de clinker de cemento Portland. Generalmente deben tener un fraguado lento y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. El Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) establece especificaciones (API 10-A) para nueve clases de cemento para pozos (clases A a la H). Cada clase resulta aplicable para su uso en un cierto rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados. También se emplean tipos convencionales de cemento Portland con los aditivos adecuados para modificar el cemento.

Cementos Plásticos

Los cementos plásticos se fabrican añadiendo agentes plastificantes, en una cantidad no mayor del 12% del volumen total, al cemento Portland de TIPO I ó II durante la operación de molienda. Estos cementos comúnmente son empleados para hacer morteros y aplanados.

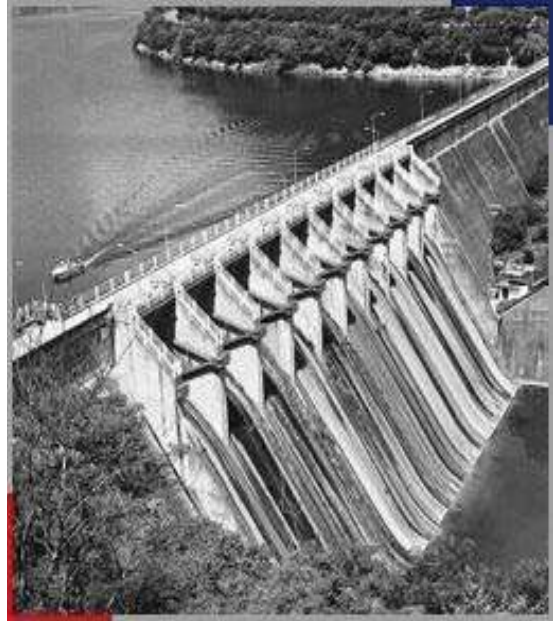
Cementos Portland Impermeabilizados

El cemento Portland impermeabilizado usualmente se fabrica añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua como el estearato de sodio, de aluminio, u otros, al clinker de cemento durante la molienda final.

Cemento Portland Blanco

El cemento Portland blanco difiere del cemento Portland gris únicamente en el color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C 150, normalmente con respecto al tipo I ó tipo III; el proceso de manufactura, sin embargo, es controlado de tal manera que el producto terminado sea blanco. El cemento Portland blanco es fabricado con materias primas que contienen cantidades insignificantes de óxido de hierro y de manganeso, que son las sustancias que dan el color al cemento gris.

El cemento blanco se utiliza para fines estructurales y para fines arquitectónicos, como muros precolados, aplanados, pintura de cemento, paneles para fachadas, pegamento para azulejos y como concreto decorativo.



5

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CONCRETO HIDRAULICO.

El desarrollo tecnológico del concreto, ha sufrido un profundo cambio en los últimos años con el surgimiento de los Concretos de Alto Comportamiento. Las compañías de la Unidad Concreto México de CEMEX, en su calidad de pioneras en la introducción de todos los concretos especiales conocidos en México, están capacitadas para orientar al consumidor sobre las propiedades de dichos concretos y encontrar aplicaciones que permitan resolver necesidades anteriormente imposibles de resolver. Asimismo, permiten al productor cumplir con los requisitos que se derivan de estas especificaciones con mayor seguridad.

5.1 ALCANCE

El diseño de un Elemento o Sistema Constructivo consta de planos y especificaciones.

Precisamente por ello, el tema de las Especificaciones adquiere cada vez mayor importancia. El concreto debe satisfacer los requisitos que permitan al elemento constructivo cumplir al mismo tiempo con la función para la cual fue diseñado. Una buena ingeniería define con precisión la función del elemento por diseñar y complementa su dimensionamiento con los requisitos que deben cumplir los materiales que lo compondrán. Una vez definidas las necesidades, se les asigna a los productos los requisitos significativos por cumplir. A estos requisitos se les conoce como especificaciones.

Los reglamentos son una serie de condiciones exigidas por una autoridad reguladora, a través de requisitos que juzga convenientes en el territorio en donde opera. Esta autoridad, en pocas palabras, impone ciertas especificaciones al concreto.

Por otra parte, hay especificaciones que se repiten tanto, que pasan a formar una regla o norma. Un sistema de normalización puede ser empleado por un organismo oficial o privado, pero puede, en cualquiera de los casos, ser obligatorio o voluntario. Esto quiere decir que quien adopte una norma, puede hacerlo porque alguna autoridad se lo exige a través de un contrato o reglamento o porque así conviene a sus intereses. En nuestro país, ambas clases de normas son vigentes y en esta Guía encontrará referencias a varias normas de naturaleza voluntaria que existen para el concreto, agregados y aditivos, tanto para especificaciones de calidad como para métodos de prueba.

Para cumplir con estos requisitos, las compañías de CEMEX Concretos ponen a su disposición toda su experiencia desde la etapa del diseño hasta del servicio de las construcciones elaboradas con concreto. La implementación de modernos Sistemas de Aseguramiento de Calidad en la operación por parte de nuestras compañías, respaldan la garantía que ofrecemos a nuestros clientes.

5.2 DEFINICIONES DE LAS PARTES QUE INTERVIENEN EN LA CONSTRUCCIÓN

Para lograr una mejor comunicación y entendimiento, es preciso que las partes que intervienen en las obras de concreto, identifiquen sus responsabilidades y delimiten las fronteras de acción. A continuación se definen dichas partes:

El Propietario

El dueño de la obra, ya sea una compañía o una persona o su representante, trátase de un ingeniero o arquitecto, que contrata a su nombre a todos los que a continuación se definen.

El Especificador

Un ingeniero, arquitecto u otro asesor profesional. Él es quien, en representación e interés de su cliente, prepara especificaciones claras y realizables del concreto, las cuales deberán incluirse en el contrato entre el cliente y el contratista.

La Autoridad

Un ingeniero o arquitecto certificado, quien verifica que las construcciones cumplan con los requisitos especificados en los reglamentos locales.

El Comprador

Contratista o propietario. Es quien acuerda con el productor de concreto premezclado, los procedimientos y métodos de prueba para juzgar el cumplimiento satisfactorio del producto, así como los requisitos de producción requeridos. Estos factores son las bases del contrato a celebrarse entre el comprador y el productor de concreto premezclado.

El Productor

Es quien elabora y entrega el concreto premezclado hasta las instalaciones de la obra, de acuerdo con las especificaciones del contrato celebrado con el comprador.

El Supervisor

Está a cargo de una persona (ingeniero, arquitecto, responsable o compañía competente) designada por el propietario con el objeto de lograr una construcción satisfactoria, siguiendo los planos, especificaciones y disposiciones especiales.

El Laboratorio de Verificación de Calidad

Ejecuta las pruebas necesarias para verificar la calidad del concreto. Este servicio, asimismo, es contratado por el propietario, el especificador, el supervisor o el constructor.

El Laboratorio de Control de Calidad

Aquí, a instancias del productor, se realizan las pruebas necesarias para detectar la necesidad de efectuar modificaciones para mantener la calidad del producto. Con la información oportuna de este tipo de laboratorio, el productor puede vigilar todos los elementos que intervienen en el proceso productivo.

5.3. CONCRETOS COMERCIALES

En vista de la multitud de tipos y especificaciones de concreto en el mercado, se recomienda considerar las resistencias comerciales, la trabajabilidad de cada mezcla (revenimientos) y los materiales empleados para la elaboración de las mismas -factores descritos a continuación- para facilitar la elección del concreto.

5.3.1. Resistencia

Las resistencias a la compresión (f'_c), o resistencias comerciales comúnmente especificadas son:

- 100 kg/cm²
- 200 kg/cm²
- 300 kg/cm²
- 150 kg/cm²
- 250 kg/cm²
- 350 kg/cm²

Estas resistencias se ofrecen a la edad de garantía de 28 días en concretos normales y 14 días en concretos rápidos.

5.3.2. Revenimiento

La trabajabilidad de cada mezcla, o revenimiento comercial, debe ser especificada en términos del valor nominal de revenimiento como sigue:

Valor nominal del revenimiento (cm)	Tolerancia (cm) NMX C-155	Clasificación de la trabajabilidad	Bombeabilidad	Uso común
10	± 2.5	Baja	No	Concreto masivo, pavimentos
14	± 3.5	Media	Opcional	Concreto reforzado. Vibración interna o externa
18	± 3.5	Alta	Si	Concreto muy reforzado. Vibración muy difícil. Sistemas "tremie"

5.3.3. Materiales más comúnmente usados

Los materiales más comúnmente empleados en la elaboración de los concretos comerciales son:

Material	Tipo		Cumplen con Normas:
Cemento	Tipo	Clase* (Nn/mm ²)	NMX -C-414-ONNCE-1999
	Cemento Pórtland Ordinario CPO Cemento Pórtland Puzolánico CPP Cemento Pórtland Compuesto CPC	20 30, 30 R 40	
Grava	Tamaño máximo del agregado: 20 mm 40 mm Natural: de mina o de río Triturada		NMX C-111 Si el productor propone usar otros materiales, tendrá que proporcionar información en apoyo a su propuesta.
Aditivos (ver Uso de Aditivos, más adelante)	Reductor de agua Normal (Tipo I) o Retardante (Tipo IV)		NMX C-255
Agua	Libre de material nocivo al concreto.		NMX C-155. EN caso de haber sospecha respecto al inciso 6.3, se deberá analizar el líquido de acuerdo con la NMX C-122 y NMX C-283.

* La clase corresponde a la resistencia de cemento medida a 28 días. Cualquier clase es aplicable a cualquier tipo de cemento.

5.4.CONCRETOS ESPECIALES

El desarrollo tecnológico del concreto ha sido posible gracias al descubrimiento de nuevos concretos que en general se denominan Concretos de Alto Comportamiento. Nuestros departamentos técnicos están capacitados para poner a su disposición una muy amplia variedad de estos concretos, que se distinguen por tener resistencias, revenimientos o por emplear materias especiales. Consulte nuestro catálogo anexo y las fichas técnicas correspondientes para facilitar su elección.

5.4.1. RESISTENCIAS

En la construcción de pavimentos, es frecuente emplear especificaciones de la resistencia a la tensión por flexión. En estos casos, debe determinarse la resistencia a la compresión equivalente, mediante pruebas de flexión y compresión realizadas en el laboratorio, para establecer -en función de la compresión- la debida especificación del concreto.

El grado de calidad también puede generar el empleo de resistencias equivalentes mediante la definición de los valores de "t" (Tabla 4.1; ACI 214-77, R89) y los de la desviación estándar, con los que pueden calcularse estas resistencias de compresión, equivalentes de un grado a otro.

Existen concretos de muy alta resistencia que nuestros departamentos técnicos pueden elaborar en cualquier parte del país. Sus resistencias más frecuentes son: 400, 500, 600, 800 y 1,000 kg/cm².

Además de la especificación de la resistencia, hay aplicaciones donde el módulo de elasticidad y el peso volumétrico también pueden ser objeto de especificación especial.

5.4.2. REVENIMIENTOS

En caso de especificarse concretos con otras trabajabilidades, los hay disponibles -previo acuerdo productor/comprador- con las siguientes características:

Valor nominal del revenimiento (cm)	Tolerancia (cm) NMX C-155	Clasificación de la trabajabilidad	Bombeabilidad	Uso común
14	± 3.5	Media	Opcional	Concreto estructural del D.F.
Superfluidificados (mayor de 18 cm)*	± 3.5	Muy Alta	Sí	Procedimientos constructivos especiales

* Para medir la trabajabilidad de los concretos superfluidificados, se recomienda utilizar la tabla de extensibilidad, según la norma alemana DIN-1048.

En el caso de los Concretos Compactados con Rodillos (CCR), se recomienda medir su trabajabilidad según la Norma ASTM C 1170.

5.5. CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Se pueden definir como aquéllos que tienen propiedades y uniformidad determinadas que no pueden ser obtenidas en forma rutinaria mediante el uso de ingredientes y prácticas de mezclado y vaciado normales. Los materiales especiales que a continuación se enlistan son los empleados para su elaboración y aparecen como referencia en nuestro catálogo y en las fichas técnicas. No pretendemos, sin embargo, que estos sean todos los concretos de alto comportamiento, esperando que la inventiva de nuestros clientes y la consulta a nuestros departamentos técnicos ante nuevas necesidades culmine con el desarrollo de otros. Reiteramos nuestra convicción de que para vender es necesario ayudar a nuestros clientes a descubrir sus necesidades.

DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

Material	Tipo	Clase* (Nn/mm ²)	Características especiales	Cumple con Normas:
Cemento	Cemento Portland Ordinario (CPO)	20	Resistencia a sulfatos RS	NMX-C-414-ONNCE-1999
	Cemento Portland Puzolánico (CPP)	30, 30 R	Bajo calor de hidratación BCH	
	Cemento Portland Compuesto (CPC)	40, 40 R	Baja reactividad alcali-agregado BRA	
	Cemento Portland de escoria granulada (CPEG)		Blanco	
	Cemento Portland de Humo de Sílice (CPS)		B	
	Cemento de Escoria Granulada (CEG)			

Material	Tipo	Cumplen con:
Agregados	Ligeros Pesados Escoria de alto horno Tamaños máximos nominales 10, 25 y 50 mm Tipos especiales de concretos arquitectónicos (color, forma, textura, etc.) De granulometría discontinua: (arquitectónicos, impermeables)	NMX C-299 NMX C-111
Aditivos (ver Uso de aditivos, más adelante)	Retardante (Tipo II) Acelerante (Tipo III) Retardante y reductor de agua (Tipo IV) Acelerante y reductor de agua (Tipo V) Superfluidificante (Tipo VI) Superfluidificante y retardante (Tipo VII) Impermeabilizante Inclusor de aire Expansores Expansores estabilizadores de volumen Colorantes Fibras cortas Tipos o marcas específicas	NMX C-255 o ASTM C 494 o ACI 212 y otras Según acuerdo del comprador y productor, después de realizar pruebas que demuestren que no alteran la resistencia

5.6. CERTIFICACIÓN

La actual implementación de los programas de Aseguramiento de Calidad en todas las industrias obliga a la certificación de las operaciones, el personal, los productos, el diseño, los servicios, etc. Por sus mismas características singulares de ser un producto "listo para usarse", la industria del concreto siempre ha sido pionera de la normalización y ahora nuevamente lo demuestra. Las industrias del Cemento, del Concreto Profesional^{MR} y otras afines han sido las primeras en desarrollar y aplicar normas en la industria de la construcción en nuestro país y el extranjero. Sin embargo, los Concretos de Alto Comportamiento que componen nuestros Nuevos Productos exigen un control de calidad más estricto y riguroso, por lo que estas certificaciones se vuelven indispensables.

MÉTODOS DE PRUEBA

Las propiedades de estos nuevos productos han provocado el desarrollo de nuevos métodos de prueba para poder evaluarlos. Como consecuencia, muchas de las normas vigentes para los métodos de prueba también han sufrido modificaciones.

La magnitud de los cambios que han traído los nuevos productos a la tecnología del concreto hace vital que en nuestro país se implante un sistema de normas permanente que sea continuamente actualizado.

6

EFFECTOS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

En la Guía para la Durabilidad del Concreto del Comité ACI 201, se tratan siete subtemas en otros tantos capítulos. El objetivo del suplemento consiste en adaptar su tratamiento a las condiciones locales y hacer referencia a los medios localmente disponibles para prevenir el deterioro prematuro del concreto. En tal concepto, el alcance del suplemento se define en la siguiente relación :

1.- Congelación y Deshielo

Debido a que las condiciones climatológicas del país en general difieren de las que prevalecen en los EUA, en el Suplemento se hace referencia a las características climatológicas locales, y para tomarlas en cuenta se incluye tanto la fabricación de concreto en clima frío, como en clima cálido

2.- Exposición a Substancias Químicas Agresivas

En el suplemento se concede atención especial al ataque de los sulfatos al concreto; se citan diversas zonas del país en que este ataque puede ocurrir, y los medios para prevenir sus efectos.

3.- Abrasión

Considerando que las condiciones locales no difieren de las previstas en la Guía, en el Suplemento solamente se describen las medidas de protección utilizables contra los diversos tipos de abrasión.

4.- Corrosión del Acero y de otros Materiales Ahogados en el Concreto

Aún cuando tampoco en este aspecto hay diferencias entre las condiciones locales y las contempladas en la Guía, por su importancia se juzga pertinente hacer un repaso en el Suplemento de las causas que contribuyen a la corrosión del refuerzo y las precauciones

que pueden tomarse para evitarla.

5.- Reacciones Químicas de los Agregados

Las características locales tienen una gran influencia en este aspecto de la durabilidad del concreto, de manera que en el Suplemento se describen los diversos tipos de rocas potencialmente reactivas con los álcalis que existen en el país, y se mencionan las medidas aplicables para prevenir sus efectos deletéreos.

6.- Reparación del Concreto

Las condiciones locales no modifican el tratamiento que se hace de este asunto en la Guía, por lo cual no se incluye en esta versión del Suplemento.

7.- Uso de Recubrimientos para Aumentar la Durabilidad del Concreto

Tampoco se incluye este asunto en esta versión del Suplemento, por la misma razón del subtema anterior.

6.1 CONDICIONES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad de una estructura de concreto puede ser valuada en función de su capacidad para resistir las acciones deteriorantes derivadas de las condiciones de exposición y servicio a que está sometida.

Las condiciones de exposición se refieren a las del medio en que se halla la estructura, en tanto que las de servicio son inherentes a las funciones que desempeña cada estructura en particular, de acuerdo a los fines para los que fue construida.

Según ello, puede decirse que las condiciones de exposición son peculiares de cada sitio y las de servicio emanan de la función específica de cada estructura. Es por tanto necesario, para producir estructuras de concreto durables, hacer la evaluación previa de ambas condiciones y adoptar oportunamente las medidas adecuadas para resistir las acciones deteriorantes que de ella se deriven.

Las condiciones del medio en que se halla la estructura normalmente se refieren a las del medio interno, es decir, las condiciones que prevalecen en el interior del concreto.

Las condiciones del medio ambiente dependen de la posición geográfica y del carácter urbano, rural o industrial del lugar; y las características del medio de contacto corresponden a las del suelo, el agua o cualquier otra sustancia sólida, líquida o gaseosa que eventualmente pueda tener contacto con la estructura.

Las condiciones que prevalecen en el interior del concreto pueden ser químicamente estables o inestables, dependiendo de la compatibilidad de sus componentes. La condición inestable que más afecta la durabilidad del concreto es que se origina cuando se producen reacciones deletéreas entre el cemento y los agregados.

Por lo que respecta a las acciones deteriorantes derivadas de las condiciones de



servicio, pueden ser tan variadas como las funciones que desempeñan las estructuras. Sin embargo, hay acciones que se presentan con mayor frecuencia, como son los casos de la corrosión en el acero de refuerzo y de la abrasión mecánica e hidráulica, y que por ello justifican su consideración en especial.

6.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS LOCALES

Las condiciones climatológicas en general, son caracterizadas principalmente por las temperaturas y las precipitaciones pluviales que se suscitan en las diversas épocas del año, y que a su vez dependen de la posición geográfica del sitio, particularmente de su altitud y latitud. En cuanto a los efectos de la durabilidad del concreto, las temperaturas tienen una influencia importante, en especial cuando son demasiado bajas. De ahí la relevancia que se le concede a los efectos que la congelación produce en el concreto en los países cuyas temperaturas descienden sostenidamente y por largo tiempo a valores inferiores al del punto de congelación del agua.

La República Mexicana se halla situada entre los 15° y 33° de latitud Norte, y es dividida en dos partes aproximadamente iguales por el Trópico de Cáncer, por lo cual astronómicamente debería corresponderle clima cálido a la parte Sur y templado a la parte Norte. Por las variantes propias de la altitud y de otros factores que producen climas locales, esa distribución solo se cumple a medias.

Así, en las zonas bajas de la parte Sur el clima es uniforme cálido y con abundantes precipitaciones pluviales. En la meseta de la región central, el clima suele ser templado, con moderadas variaciones de la temperatura que sólo ocasionalmente y por corto tiempo llega a descender por debajo del punto de congelación. Por último, en la parte Norte del territorio nacional el clima es más variable, pues tiende a ser semi-desértico (particularmente al Norte y Noroeste) con muy pocas precipitaciones y fuertes variaciones estacionales de temperatura, muy cálidas en el verano y frías en invierno, con algunos días consecutivos en que la temperatura se mantiene más baja que el punto de congelación del agua.

En la Figura 1 se presenta un mapa de la República Mexicana que contiene las isotermas correspondientes a las temperaturas mínimas extremas absolutas registradas

en el período 1941-1977(2), cuya información se considera útil para definir el riesgo que existe en las diferentes zonas de la República, para que las estructuras de concreto resulten expuestas a los efectos de la congelación y el deshielo. Con esta finalidad, en la Figura 2 se han delimitado cuatro regiones cuyos riesgos en orden descendente se califican como importante, moderado, leve y nulo.

6.2.1. Región con importante riesgo de congelación

Región con importante riesgo de congelación.- Esta región comprende las zonas con temperaturas mínimas inferiores a -16°C localizadas al Norte de la República, fundamentalmente en el estado de Chihuahua, y que fisiográficamente se ubican en una porción de la Sierra Madre Occidental.

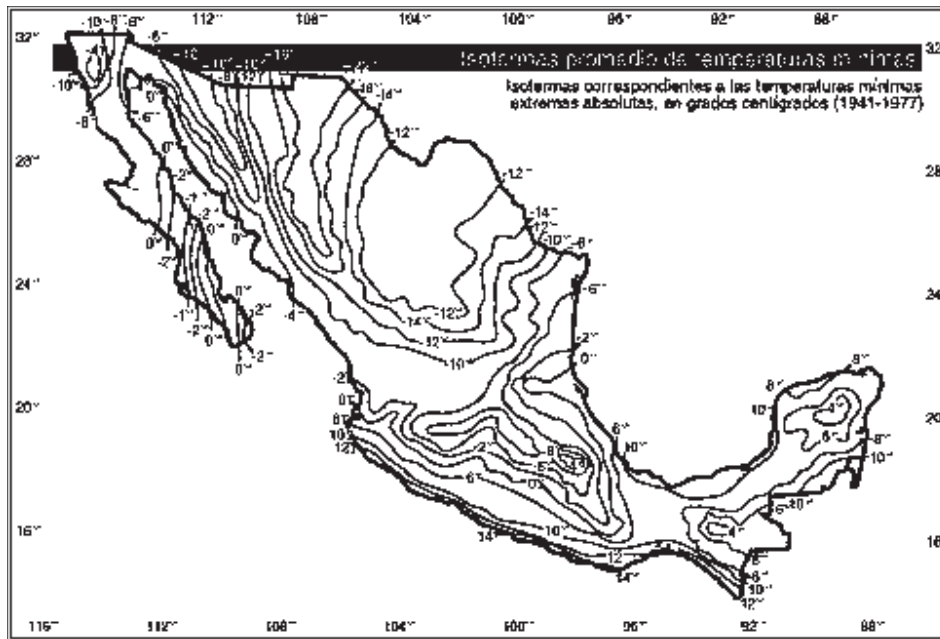
6.2.2. Región con moderado riesgo de congelación

Corresponde a las zonas con temperaturas mínimas comprendidas entre los -16°C y los -10°C , que parcialmente abarcan el Norte y Noroeste de la República, incluyendo todo el estado de Coahuila y parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Durango y Zacatecas. Fisiográficamente, esta región comprende porciones del Desierto Sonorense, la Sierra Madre Occidental, la Sierra y Llanos del Norte, la Sierra Madre Oriental, la Gran Llanura de Norteamérica y la Mesa del Centro.

6.3. FABRICACIÓN DEL CONCRETO EN CLIMA FRÍO

En el capítulo 1 de la Guía ACI 201 se trata ampliamente el tema de la congelación y el deshielo del concreto, examinando su mecanismo, efectos dañinos y medidas de protección, que desde luego son aplicables en los sitios de la República donde se presentan estas condiciones.

FIG. 1



A manera de recapitulación, es oportuno mencionar las principales precauciones que deben tomarse durante la construcción de estructuras de concreto en clima frío, sin detrimento de la aplicación de todas aquella prácticas constructivas que son recomendables en cualquier obra de concreto.

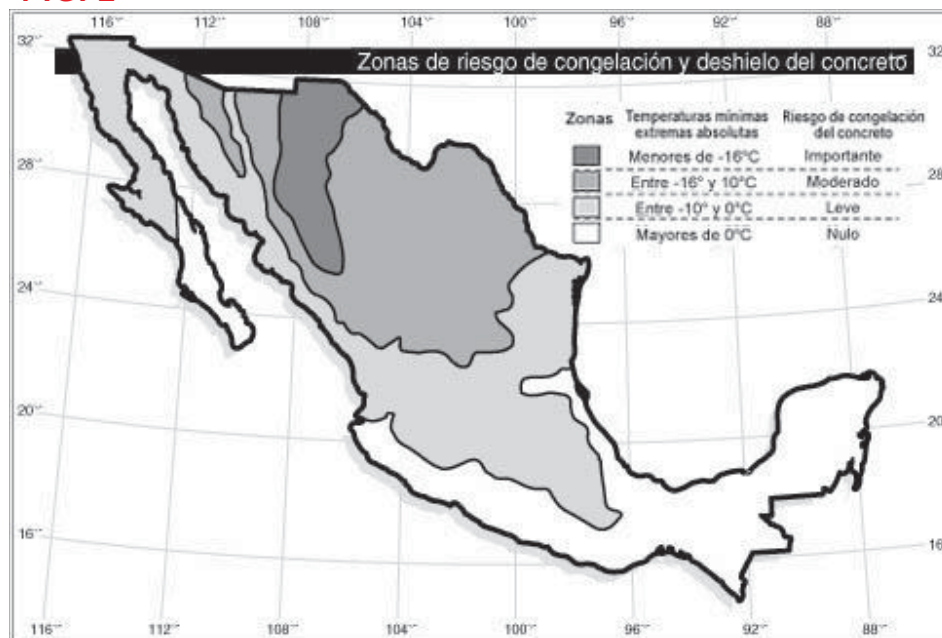
a) Diseño de la mezcla de concreto apropiada.

Para cumplir con esta previsión, se requieren usar componentes del concreto (cemento, agregados, agua y aditivos) con características y calidad adecuadas, y emplear una relación agua/cemento conveniente.

El cemento debe ser preferentemente Portland, tipo I o tipo II y debe cumplir con los requisitos de calidad aplicables a su tipo, según la Norma Mexicana NMX C-1 (3).

Los agregados pueden ser de origen natural o producidos por trituración, y deben cumplir con la calidad especificada en la norma NMX C-111(4), con especial requerimiento de que pasen holgadamente la prueba de sanidad, conducida según el método NMX C-75(5); este requisito puede omitirse si se emplean agregados con antecedentes de buena durabilidad en condiciones similares a las previstas.

FIG. 2



El uso de un aditivo inclusor de aire (NMX C-200)(6) es una condición obligatoria, de manera tal que el contenido de aire incluido en el concreto resulte dentro de los valores indicados en la Tabla 1.4.3 de la Guía ACI 201. El empleo de un aditivo acelerante de la resistencia (NMX C-255)(7) es opcional, pero debe evitarse el uso de cloruro de calcio, o de aditivos que contengan cloruros, cuando exista el peligro de ataque por sulfatos al concreto o de corrosión en el acero de refuerzo. Para seleccionar la relación agua/cemento deben compararse los requisitos de resistencia y durabilidad, para aplicar el más estricto en el diseño de la mezcla de concreto, tal como se encuentra previsto en la Práctica Recomendada ACI 211.1(8), utilizando los datos contenidos en las tablas 5.3.4 (a) y (b) de esta Práctica.

b) Elaboración, colocación y mantenimiento del concreto a la temperatura adecuada.

En la Práctica Recomendada por el Comité ACI 306(9) se describen extensamente todas las medidas adecuadas para efectuar colados de concreto en tiempo frío. Entre estas medidas, es importante subrayar la que concierne a la temperatura del concreto, cómo se coloca en la estructura y cómo se mantiene durante los primeros días después de su

colocación.

En términos generales, lo pertinente es que al mezclar el concreto, éste posea una temperatura adecuada para la hidratación del cemento y así se conserve el tiempo necesario, protegiéndolo hasta que adquiera suficiente resistencia para soportar sin daño la remoción de las cimbras y los efectos de las bajas temperaturas ambientales. Asimismo, es necesario que al final del período de protección se evite el choque térmico producido por un enfriamiento brusco, adoptando medidas para que este sea gradual.

La temperatura que debe procurarse en el concreto al mezclarlo, depende básicamente de la temperatura ambiente, el espesor de la estructura por colar y el consumo unitario de cemento en el concreto. En la Tabla 1.4.1 de la Práctica ACI 306 se dan recomendaciones al respecto, de la cual se extraen los siguientes datos útiles para las condiciones que pueden presentarse en la Zona Norte del país

Concepto	Espesor de las secciones (m)			
	Muy delgado	Delgado	Moderadamente Masivo	Masivo
	(<0.3)	(0.3 - 0.9)	(0.9 - 1.8)	(>1.8)
Tamaño Máximo del Agregado, mm	20	40	75	150
Consumo Aprox. cemento, kg/m³	360	300	240	180
Temperatura mínima °C que debe tener el concreto al mezclarlo, cuando la temperatura media diaria ambiental es:				
Mayor de -1 °C	16	13	10	7
Entre -1 °C y -18 °C	18	16	13	10
Temperatura mínima °C que debe tener el concreto al colocarlo en las formas				
	13	10	7	5

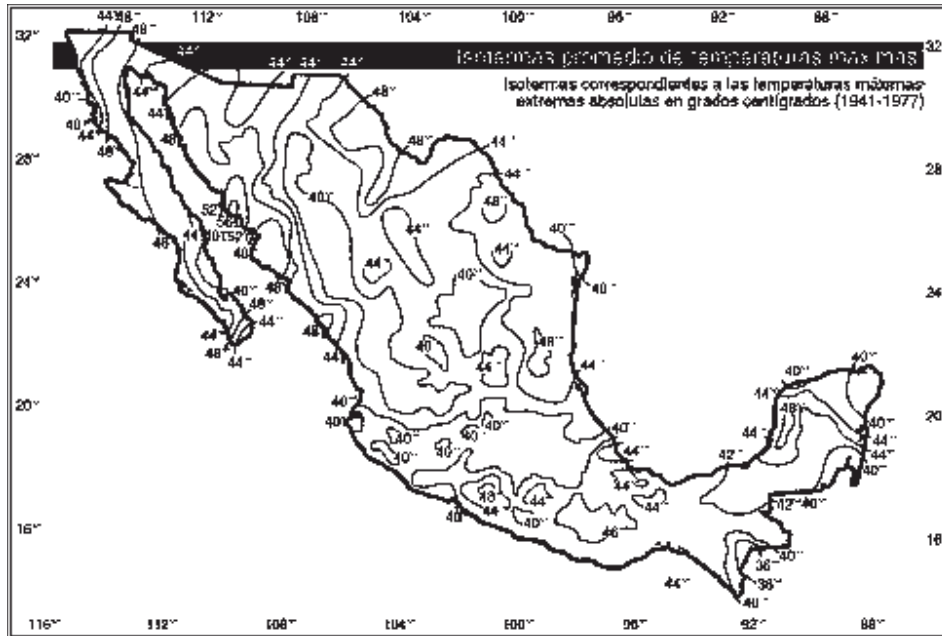
Al término de la colocación del concreto, la estructura debe protegerse con aislamientos térmicos, de manera tal que la temperatura del concreto se conserve por encima de los valores indicados. Esta protección debe prolongarse el tiempo necesario hasta que el concreto alcance la resistencia suficiente para permitir sin daño el retiro de las cimbras soportantes, con reapuntamiento simultáneo. Para aumentar la temperatura del concreto al mezclarlo, el medio más efectivo consiste

en precalentar el agua, pero no tanto que pueda provocar el fraguado instantáneo del cemento. Para las condiciones que llegan a ocurrir en el Norte de la República, debe ser suficiente calentar el agua de mezclado a una temperatura entre 50°C y 60°C para que el concreto alcance las temperaturas mínimas requeridas. Una recomendación adicional consiste en mezclar primero el agua caliente con los agregados fríos para equilibrar la temperatura, y después añadir el cemento incrementando en un 25% el tiempo normal de mezclado.

6.4. FABRICACIÓN DE CONCRETO EN CLIMA CÁLIDO

Las altas temperaturas ambientales también pueden resultar perjudiciales para la calidad y durabilidad de las estructuras de concreto, si no se toman las precauciones necesarias desde su elaboración. El Informe del Comité ACI 305(10) describe detalladamente todas las medidas precautorias que suelen adoptarse para la ejecución de colados en tiempo caluroso. Con base en este informe, en lo que sigue se resumen las principales medidas de esta índole, las cuales son aplicables tanto en la zona Sur del territorio nacional en que el clima cálido prevalece casi todo el año, como en la zona Norte, donde se manifiestan muy altas temperaturas ambientales durante el verano, habida cuenta que en este último caso las condiciones son más severas por la baja humedad relativa del ambiente y la frecuente presencia de vientos.

FIG. 3



a) Diseño de la mezcla de concreto apropiada.

Los componentes de una mezcla de concreto para colados en clima caluroso deben seleccionarse no sólo en función de estas condiciones, sino también de las que posteriormente ocurrirán durante la operación de la estructura. Por ejemplo, el concreto que se utiliza para una estructura que se construye durante el verano en condiciones calurosas, puede requerir un aditivo inclusor de aire para protegerlo de las heladas que en el mismo sitio se presentan en invierno. Sin considerar casos de estructuras especiales, como las de concreto masivo, por ejemplo, a continuación se mencionan criterios generales para establecer la composición de mezclas de concreto aplicables a la construcción de estructuras ordinarias en clima cálido.

El cemento puede ser Portland, tipo I o tipo II, conforme a los requisitos de la Norma NMX C-1, o Portland-puzolana de acuerdo con la calidad establecida en la norma NMX C-2(11). En cualquier caso, debe procurarse que el consumo unitario de cemento en la mezcla,

sea el mínimo necesario para que el concreto cumpla con la calidad especificada.

Los agregados deben ser de calidad normal, según lo establecido en la norma NMX C-111. En este caso, debe prestarse especial atención al cumplimiento de todas aquellas características o propiedades de los agregados que puedan influir desfavorablemente con su incumplimiento, en el requerimiento de agua de mezcla del concreto.

Los aditivos recomendables en este caso son: un agente reductor del agua de mezclado (NMX C-255), que opcionalmente puede ser también retardante del fraguado y un agente inclusor de aire (NMX C-200) para cuando la estructura deba soportar temperaturas de congelación durante el invierno.

La relación agua/cemento debe seleccionarse comparando los valores requeridos para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad, a fin de utilizar el que sea menor, de conformidad con lo recomendado en la Práctica ACI 211.1 Para definir la relación agua/cemento requerida por durabilidad, deben considerarse las condiciones específicas del sitio donde se construye la estructura y las características de ésta, independientemente de que el clima durante la construcción sea cálido. Como ejemplo, en la siguiente relación se indican los valores máximos de la relación agua/cemento (A/C) que son recomendables por concepto de durabilidad en algunos tipos de estructuras,

En las condiciones señaladas

Tipo de estructura y condiciones de exposición y servicio		A/C máxima sugerida por durabilidad (*)
Estructuras de concreto simple o reforzado, con secciones delgadas expuestas a la intemperie, en sitios con algunas nevadas y temperaturas de congelación durante el invierno.		0.50
Estructuras de concreto sujetas a ciclos de humedecimiento y secado, en clima benigno:		
☐ Si el medio de contacto no es químicamente agresivo	Concreto simple	0.58
	Concreto reforzado	0.55
☐ Si el medio de contacto es químicamente agresivo, en concreto simple o reforzado (**)		0.45
Estructuras de concreto simple o reforzado para almacenamiento de agua, o expuestas a contacto con agua que actúa bajo presión.		0.48

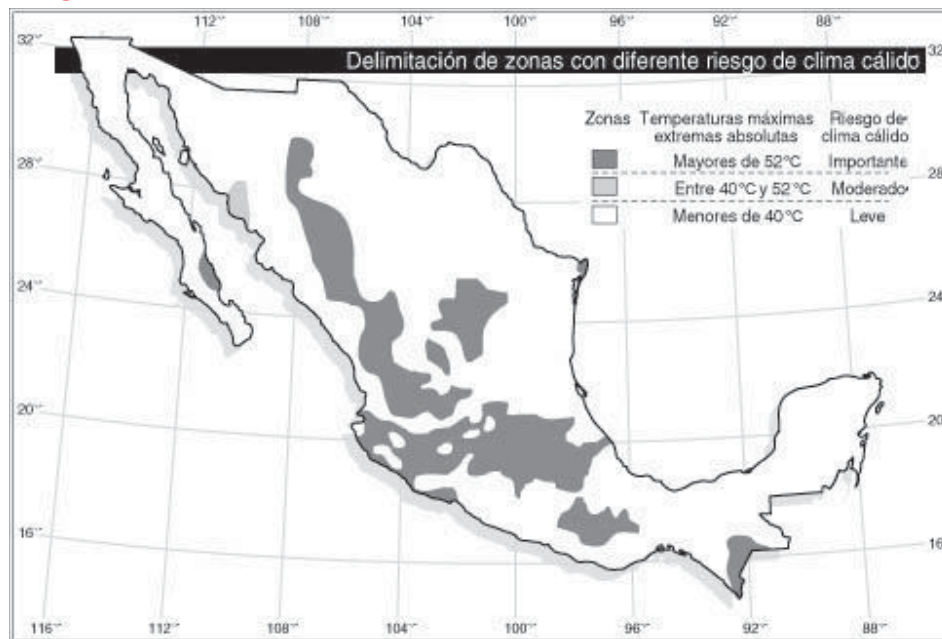
(*) Este requisito deja de operar si para obtener la resistencia especificada se requiere emplear una relación A/C más baja.

(**) En este caso debe emplearse, además, un cemento de composición química adecuada.

b) Elaboración y colocación del concreto a la temperatura adecuada.

Por las razones expuestas en la Práctica ACI 305, es inconveniente para la resistencia y durabilidad potencial del concreto, que su temperatura al elaborarlo sea demasiado alta. En este aspecto, el Comité ACI 305 no especifica una temperatura límite máxima en el concreto para el colado de estructuras ordinarias, por la diversidad de características y circunstancias que pudieran existir, y solamente advierte que en cada caso particular hay una temperatura máxima, probablemente comprendida entre 24°C y 38°C, que no conviene rebasar en el concreto recién mezclado. Sin embargo, dada la frecuencia con que esta cuestión se presenta en las condiciones climáticas locales, se estima pertinente ofrecer algunos datos más específicos.

FIG. 4



Tomando como nivel medio de referencia una temperatura "ideal" de 21°C, los valores normalmente admisibles para la variación de la temperatura del concreto en su etapa de fraguado y endurecimiento se sitúan dentro de un intervalo de $21 \pm 11^\circ\text{C}$ aproximadamente. Así, para los colados efectuados en tiempo frío, se recomienda adoptar las medidas necesarias para que la temperatura del concreto en esa etapa no descienda por debajo de 10°C, y para los colados de estructuras ordinarias en tiempo caluroso suele requerirse que la temperatura de colocación dentro del concreto no exceda de 32°C; límite máximo que inclusive se puede reducir a 27°C cuando los colados se efectúan en zonas áridas, de clima cálido y seco (12). Para los colados que se llevan a cabo bajo temperaturas ambientales cercanas a 40°C, resulta prácticamente imposible cumplir con estos límites, a menos que se tomen medidas para abatir la temperatura del concreto al mezclarlo. Como se sabe, el agua de mezcla es el componente que comparativamente ejerce mayor influencia en la temperatura de elaboración del concreto. Consecuentemente, el medio más efectivo para abatir dicha temperatura consiste en enfriar el agua de mezcla, o bien sustituirla parcialmente por hielo en escamas o finamente molido.

Si bien el calentamiento del agua, para colados en tiempo frío, es una medida fácilmente realizable en casi cualquier obra, su enfriamiento o el uso de hielo son medidas que requieren el empleo de equipos e instalaciones especiales, por lo que su aplicación no resulta tan accesible. Debido a ello, el enfriamiento del concreto para colados en tiempos calurosos es una práctica que en el medio local sólo se aplica en obras de cierta importancia. No obstante, existen algunas medidas sencillas que si bien no son tan efectivas, son en cambio realizables en cualquier obra y pueden permitir que la temperatura de elaboración y colocación del concreto se mantenga por debajo de un límite máximo del orden de 32°C, mientras que las temperaturas ambientales no sean demasiado altas, esto es, que no excedan de 40°C aproximadamente.

Las principales medidas que pueden servir para dicha finalidad son:

- 1.- Atenuar el calentamiento de los agregados por efecto del sol, cubriendo los depósitos de uso inmediato.
- 2.- Conservar húmedas las gravas en los almacenamientos, para que la evaporación del agua superficial provoque un descenso de su temperatura.

- 3.- Mantener el agua de la mezcla a la temperatura original de suministro, almacenándola en depósitos enterrados y protegiendo las tuberías de conducción con aislamiento térmico.
- 4.- Evitar el empleo de cemento caliente, disponiendo de una adecuada capacidad de almacenamiento.
- 5.- Prevenir el sobrecalentamiento del concreto entre la salida de la mezcladora y su colocación en los moldes, protegiéndolo adecuadamente contra el sol y el ambiente en este lapso.
- 6.- Tratar de efectuar los colados en las horas en que las temperaturas ambientales sean menores.

c) Protección y curado del concreto recién colocado.

El concreto recién depositado en los moldes en un ambiente caluroso, se halla expuesto a perder rápidamente agua por evaporación, riesgo que todavía es mayor si el ambiente es seco y/o coincide con la presencia de vientos. Se sabe que el secado prematuro del concreto afecta el desarrollo de la resistencia y es fuente de cambios volumétricos que a su vez originan agrietamientos capaces de mermar la durabilidad potencial de las estructuras.

La protección y cuidados iniciales al concreto recién colado en ambiente caluroso deben encaminarse a la prevención del secado prematuro, para lo cual es útil proveer cubiertas y barreras que protejan al concreto tierno de los rayos del sol y del viento, y suministrarle un sistema de curado eficaz a la brevedad posible después de su curación. En la práctica recomendada por el comité ACI 308 (13), se hace una amplia descripción de los diferentes procedimientos y materiales que se utilizan para el curado del concreto.

Es pertinente hacer notar que la deficiencia en el curado del concreto, es una de las causas que mas frecuentemente demeritan la durabilidad de las estructuras. El mejor curado en tiempo caluroso es aquél que se puede aplicar de inmediato sobre la superficie del concreto recién terminada y que es efectivo para conservar húmedo el concreto, ya sea evitando la evaporación de su agua interna o por aportación de agua externa para reponer la que se evapora.

Cuando el requisito de prontitud es esencial en el curado, como en el caso de pavimentos de concreto colocados en ambiente caluroso, seco y/o con viento, suele optarse por un procedimiento que inhiba la evaporación del agua interna, mediante la aplicación inmediata de líquidos que forman una membrana, o por la colocación de láminas delgadas sobre la superficie libre del concreto expuesta al ambiente. Si se utiliza un líquido que forma una membrana, es importante que cumpla con los requisitos de la NMX C-304 (14). En los casos en que la iniciación del curado del concreto puede diferirse hasta que alcance el fraguado, el suministro del agua externa por medio del riego continuo constituye un método aceptable, si bien requiere de mayor supervisión.



Al contrario de lo que es conveniente en tiempo frío, en tiempo caluroso la remoción de las cimbras no soportantes deben efectuarse a la brevedad posible, para poder curar adecuadamente las superficies de concreto recién desmoldadas y facilitar la disipación del calor interno del concreto generado por la hidratación del concreto. Para definir el tiempo adecuado de la remoción de las cimbras soportantes, puede seguirse el mismo procedimiento señalado para las estructuras coladas en tiempo frío, es decir, verificando la obtención de la resistencia de descimbrado fijada por el proyectista, mediante el ensaye de especímenes de campo curados en las mismas condiciones de la estructura que representa, o bien aplicando relaciones resistencia-madurez previamente establecidas para el mismo concreto utilizado.

6.5. CONCRETO EN CONTACTO CON MEDIOS AGRESIVOS

La durabilidad de las estructuras de concreto puede verse disminuida seriamente si el medio con el que tiene contacto es de carácter agresivo. Los medios con que las estructuras de concreto normalmente tienen contacto son el suelo y el agua, y éstos suelen contener sustancias naturales que en determinadas concentraciones pueden causar daño al concreto de cemento Portland. Entre estas sustancias destacan por su agresividad al concreto, los sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio. Los sulfatos, que son sales inorgánicas, se hallan presentes en bajas concentraciones en muchos suelos o aguas superficiales o freáticas, pero en estas condiciones son prácticamente inofensivos. Sin embargo, a medida de que aumenta su concentración en el medio, se incrementa su agresividad hacia el concreto, pudiendo llegar a destruirlo cuando se hallan a muy altas concentraciones.

En la tabla 2.2.3 de la Guía ACI 201, se define una escala aproximada de grados de agresividad de los sulfatos en función de su concentración en el agua y en el suelo en contacto con el concreto. Es oportuno señalar que el agua de mar, por tener una concentración normal de sulfatos del orden de 1,500 ppm, le corresponde en esta escala un grado moderadamente agresivo; no obstante, cuando el agua de mar se halla estancada, la evaporación incrementa su concentración de sulfatos y puede convertirla en un medio francamente agresivo para el concreto. Por otra parte, debido a su elevada concentración de cloruros (mas de 20,000 ppm), el agua de mar en su estado normal si puede ser un medio ofensivo para el concreto reforzado porque favorece la corrosión del acero de refuerzo.

En la República Mexicana existen numerosos sitios en donde el suelo y/o el agua freática contienen elevadas concentraciones de sulfatos, lo cual reviste importancia cuando en estos sitios se pretende cimentar estructuras de concreto. De manera general, no limitativa, puede decirse que es conveniente evaluar esta condición previamente a la construcción, analizando el suelo y el agua freática en las zonas áridas y semi-desérticas del Norte de la República, en la vecindad en las costas de ambos litorales, particularmente en las zonas bajas y regiones pantanosas colindantes con el Golfo de México, y en los lechos de las zonas lacustres desecadas, como la del Lago de Texcoco, por ejemplo.

La protección al concreto contra el ataque de los sulfatos debe darse mediante la adopción de medidas preventivas en la etapa de construcción de las estructuras, previo conocimiento del carácter agresivo del medio de contacto. Las principales medidas de prevención que pueden adoptarse son:

- 1)** Producir un concreto denso e impermeable, para impedir la penetración de los sulfatos en solución.
- 2)** Utilizar un cemento cuya composición química lo haga resistente al ataque de los sulfatos.

Para la obtención de un concreto denso e impermeable, se requiere utilizar una baja relación agua/cemento y emplear procedimientos idóneos para su fabricación, transportación, colocación y compactación, conforme a las prácticas recomendadas por los Comités ACI 304 (15) y ACI 309 (16). En la Tabla 2.2.3 de la Guía ACI 201 (1) se indican los valores máximos de la relación agua/cemento que son recomendables de acuerdo a la concentración de sulfatos en el agua o suelo de contacto con el concreto.

En cuanto al cemento apropiado, en la misma Tabla 2.2.3 se mencionan también los tipos y clases de cemento recomendables para cada grado de concentración de sulfatos, y los cuales todos se fabrican y se hallan disponibles normalmente en los E.U.A. Ajustándose a las condiciones actuales de la producción nacional, los cementos utilizables en México para esta finalidad son los que a continuación se indican.

Grado de concentración de los sulfatos en el medio de contacto (Según tabla 2.2.3 de ACI 201)	Cemento Utilizable	
	Preferido	Alternativo
Benigno	Cualquier Tipo o Clase	
Moderado	Tipo II	Portland-puzolana (con clinker tipo I)
Severo	Tipo V	Portland-puzolana (con clinker tipo II)
Muy severo	Tipo V	Portland-puzolana (con clinker tipo V)

Notas:*

- 1.- Los cementos Portland tipo II y Portland-puzolana (con clinker tipo I) son de fabricación normal.
- 2.- Los cementos Portland tipo V y Portland-puzolana (con clinker tipo II y tipo V) son de fabricación limitada.
- 3.- No todas las puzolanas son aptas para mejorar la resistencia del concreto a los sulfatos, por lo que deberá solicitarse la información respectiva de calidad al fabricante, antes de usar un cemento Portland-puzolana con esta finalidad.

Puede haber situaciones en las que a sabiendas de la existencia de sulfatos en el medio de contacto, no resulte factible la obtención del tipo o clase de cemento apropiado para la fabricación del concreto que desea protegerse. En tales casos, la alternativa consiste en tomar medidas para evitar el contacto entre los sulfatos y el concreto. Estas medidas pueden ser, aplicadas individual o complementariamente, las siguientes:

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

Es pertinente hacer notar que la ejecución de estas medidas no cancela el requisito fundamental de producir un concreto denso e impermeable, utilizando una baja relación agua/cemento y empleando prácticas constructivas de reconocida aceptación y eficacia. Para la selección del sistema de impermeabilización o del recubrimiento de protección adecuado al caso, es recomendable consultar el informe del Comité ACI 515 " Guía para el Uso de Sistemas Impermeabilizadores, Anti-humectantes, Protectores y Decorativos en el Concreto" (17).

6.6. CONCRETO EXPUESTO A LA ABRASIÓN

Una estructura de concreto puede resultar expuesta a la acción deteriorante de la abrasión, como consecuencia de las condiciones de servicio que son inherentes a la función que desempeñan. Las acciones abrasivas pueden ser de carácter mecánico o hidráulico. La abrasión mecánica se produce principalmente en pisos y pavimentos de concreto como resultado del tránsito de personas y vehículos y de maniobras diversas. La acción hidráulica se manifiesta en estructuras que prestan servicio en contacto con el flujo del agua y presentan dos variantes:



- ▣ La abrasión hidráulica propiamente dicha que producen los sólidos conducidos o arrasados por el agua.
- ▣ La erosión por cavitación que se genera en determinadas condiciones cuando el agua fluye con muy alta velocidad.

Para la construcción de pisos de concreto resistentes a la abrasión mecánica es aplicable el informe del Comité ACI 302 (18), y para ahondar en el conocimiento de las causas, efectos y medios de prevención de la erosión hidráulica es recomendable el informe del Comité ACI 210 (19).

Conforme se indica en la Guía ACI 291 (1), es factible lograr una buena durabilidad en el concreto expuesto a la abrasión mediante el empleo de un concreto con adecuado nivel de calidad y el uso de procedimientos eficaces de construcción, principalmente en lo que concierne al acabado y el curado de las superficies expuestas. Sin embargo, con relativa

frecuencia se observa el caso de estructuras en servicio que se muestran susceptibles de sufrir deterioro por la abrasión , ya sea porque ésta es mas severa de lo previsto, o porque la estructura no fue diseñada y/o construida adecuadamente.

En tales casos, resulta necesario emprender acciones tendientes a incrementar la durabilidad de las estructuras, mejorando la resistencia del concreto a la abrasión. Esta mejoría puede conseguirse por impregnación del concreto con líquidos endurecedores de superficie, o por recubrimiento de la estructura por un material que posea mejores propiedades que el concreto original. En la Guía ACI 515(17) se menciona una amplia variedad de recubrimientos de protección útiles para esta finalidad. En la siguiente relación se mencionan procedimientos y materiales localmente asequibles para el tratamiento y la protección del concreto expuesto a diversas formas e intensidades de abrasión.

6.7. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

El fenómeno de corrosión del acero de refuerzo es causa frecuente de que las estructuras de concreto reforzado se deterioren prematuramente. Aún cuando el concreto, por su alta alcalinidad y baja conductividad, suelen ser un medio que proporciona buena protección al acero contra la corrosión, en determinadas condiciones esta protección no es suficientemente eficaz y el fenómeno se produce. Las principales condiciones que propician la corrosión del acero de refuerzo en las estructuras son las siguientes:

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

a) Porosidad del concreto

La primera condición es consecuencia del grado de calidad que se obtiene en el concreto

colocado en la estructura, de acuerdo con lo adecuado de su composición original y la eficiencia con la que se elabora, compacta y cura. Es decir, es una condición que resulta de las prácticas de construcción que se siguen, partiendo del diseño de la mezcla del concreto, continuando con las etapas de dosificación, mezclado, transportación, colocación y compactación, y terminado con el curado. Mediante la observación de las prácticas recomendables con estos aspectos (ACI 211.1 (8), ACI 304 (15), ACI 309 (16) y ACI 308 (13)) es posible eliminar este factor potencial de corrosión.

b) Espesor del recubrimiento de concreto

La segunda condición depende primeramente del proyectista de la estructura, ya que él es quien especifica el espesor que debe tener en cada caso el recubrimiento de concreto. Sin embargo, el constructor y supervisor tienen influencia decisiva en este aspecto, pues se ha observado que los recubrimientos efectivos en las estructuras terminadas tienden a ser muy variables y con una elevada porción de valores inferiores al especificado. Debido a ello, es recomendable que en los casos que exista riesgo de corrosión, el proyectista considere un recubrimiento mínimo requerido por durabilidad, y lo incremente en una cantidad adecuada al establecer el recubrimiento especificado en los planos, a fin de que la mayoría de los recubrimientos efectivos resulten iguales o mayores que el mínimo requerido. A manera de orientación, en la siguiente tabla se indican algunos valores de recubrimientos que con frecuencia se utilizan para diversos grados de corrosividad en el medio de contacto:

Riesgo de corrosión en el acero de refuerzo (*)	A/C máxima por durabilidad	Espesor del Recubrimiento (mm)	
		Mínimo requerido	Especificable
(1) Bajo	0.55	40	50
(2) Mediano	0.45	50	60
(3) Alto	0.40	75	90

(*) Ejemplos de las condiciones de riesgo:

1.- Bajo riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto a un ambiente húmedo no marino, o en contacto con agua o suelo no corrosivo.

2.- Mediano riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo marino, o inmerso total y continuamente en agua de mar, o en contacto con agua o suelo mediante corrosivos.

3.- Alto riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto a la acción del oleaje marino, y/o sujeto a períodos de humedecimiento y secado con agua de mar, o en contacto con agua o suelos muy corrosivos.

Nota: El grado de corrosividad del agua o del suelo puede determinarse conforme a la norma NMX C-346 (20).

c) Grietas en la Estructura

La existencia de grietas en el concreto no es indispensable para que se produzca corrosión en el acero de refuerzo, pero su presencia puede favorecer la ocurrencia de este fenómeno. Debido a ello es necesario para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto reforzado, prevenir la formación de grietas o suministrarles un tratamiento adecuado para obturarlas.

Las grietas del concreto pueden considerarse divididas en dos grandes grupos: las que se producen por esfuerzos debidos al funcionamiento estructural y las producidas por esfuerzos que se originan en el seno mismo del concreto. En cada grupo, a su vez, existen diversas causas específicas de agrietamiento como se muestra en el siguiente cuadro.

Agrietamiento	Causas específicas
■ No Estructurales:	
Concreto en estado plástico	Asentamiento y sangrado Secado rápido inicial (contracción plástica)
Concreto en estado endurecido	Contracción térmica Contracción por secado Corrosión del acero de refuerzo Reacciones cemento-agregados Ataque de sulfatos Deficiencias constructivas (juntas frías, fallas de cimbra, deficiencias de curado, defectos de

	acabado, etc.)
■Estructurales:	
Concreto en estado endurecido	Movimientos diferenciales en la cimentación y/o estructura. Sobrecarga de diversas índole y origen. Deficiencias de diseño y/o constructivas (refuerzo inadecuado, juntas no previstas, descimbrado y/o puesta en servicio prematuros, etc.)

Como se observa, la formación de grietas depende de factores tales como el diseño estructural, las características de los materiales, la composición del concreto, las prácticas constructivas, las condiciones ambientales, y la manifestación de situaciones anómalas y de eventos extraordinarios.

Entre estos factores, los que principalmente pueden vincularse con determinados sitios o zonas geográficas son las características de los agregados y las condiciones ambientales, cuyas particularidades pueden influir en el acontecer de los agrietamientos atribuibles a las contracciones, plásticas y por secado, y a las reacciones deletéreas que eventualmente se producen en los álcalis del cemento y algunos agregados.

En la República Mexicana, como ocurre dondequiera, las características de los agregados y las condiciones ambientales son muy variables, habiendo casos en que estas características y condiciones se muestran proclives a motivar este tipo de agrietamientos en el concreto. A modo de ejemplos, pueden citarse las regiones de clima árido del Norte de la República en donde el ambiente estival cálido, seco y con viento, propicia el secado rápido del concreto recién colocado, dando pie a la contracción plástica; y la zona del Valle de México y alrededores el exceso de finos en los agregados disponibles incrementa la demanda de aguas en el concreto y su consecuente contracción por secado. Con carácter de riesgo potencial habría que considerar todo aquellos sitios de la República en que los agregados contuvieran rocas y minerales reactivos con los álcalis.

En estos casos, y otros similares, deben extremarse las precauciones para impedir los agrietamientos, adoptando medidas tales como la ejecución de un curado oportuno y eficaz al concreto tierno, a fin de reducir los efectos de la contracción plástica; la elaboración de las mezclas de concreto con reducidos contenidos unitarios de agua, con objeto de disminuir la contracción por secado, y la utilización de cementos con bajo contenido de álcalis, o de puzolanas adecuadas, para prevenir el riesgo de una reacción deletérea álcali-agregado.

Ante la presencia de grietas, lo indicado es sellarlas para restablecer la integridad estructural y/o impedir el acceso de agentes corrosivos hacia el interior del concreto, con la finalidad en ambos casos de proporcionarle mayor durabilidad a las estructuras. Como criterio de carácter general, suele considerarse que para la reintegración estructural, las grietas deben obturarse con un material que posea propiedades similares o mejores que las del concreto, en tanto que para el sellado de simple protección puede ser preferible el uso de materiales flexibles, principalmente si las grietas son activas.

d) Agentes corrosivos en el medio de contacto

En condiciones ordinarias de exposición, los medios de contacto con el concreto suelen ser aire atmosférico, agua o suelo, de acuerdo con la función, ubicación y condiciones de servicio de la estructura. Se supone que cuando algunos de estos medios contiene demasiados agentes corrosivos, su penetración a través del recubrimiento de concreto anticipa el inicio del proceso de corrosión del acero de refuerzo y reduce la vida útil de la estructura.

En el caso del aire atmosférico, el agente corrosivo usual es el bióxido de carbono (CO_2), que al reaccionar con los hidróxidos del concreto da lugar al fenómeno de carbonatación y, como consecuencia de éste, se reduce la alcalinidad del recubrimiento de concreto y su capacidad para proteger al acero de refuerzo contra la corrosión. Tratándose del agua o el suelo en contacto, los cloruros son las sales inorgánicas cuya presencia es mas inquietante por su corrosividad; los cuales también suelen estar presentes en el aire atmosférico marítimo.

El fenómeno de carbonatación del concreto, de ordinario es un proceso lento que toma muchos años y sólo afecta una delgada costra superficial si el concreto es de buena

calidad, de manera que si además el espesor del recubrimiento es el requerido por los reglamentos, puede esperarse que le suministre protección en este aspecto al acero de refuerzo durante toda la vida útil del proyecto de la estructura. No sucede lo mismo con los cloruros que, por su elevada corrosividad y en determinadas condiciones de exposición y concentración, pueden hacer insuficientes los espesores del recubrimiento de concreto especificados para condiciones normales en los reglamentos de construcción.

Resulta un tanto impreciso marcar límites para definir el grado de agresividad del medio de contacto, en cuanto a su contenido de cloruros, porque sus efectos corrosivos sobre el acero de refuerzo también dependen de factores ajenos al medio, como son la impermeabilidad, espesor y grado de exposición del recubrimiento de concreto. Sin embargo, haciendo referencia a la norma NMX C-346 (20), puede decirse que el contenido de cloruros debe ser motivo de consideración, para tomar medidas contra la corrosión del refuerzo, cuando exceda a 500 ppm en el agua y de 0.02% de cloruros solubles en el suelo de contacto con el concreto.

Entre dichas medidas, puede considerarse la aplicación de revestimientos en la superficie de la estructura para evitar, o por lo menos diferir, la penetración de los cloruros en el concreto. En un amplio estudio experimental realizado en los E.U.A. (21), se ensayaron diferentes productos selladores y de revestimiento (aceite de linaza, resinas epoxy con varias cargas sólidas y con polisulfuro, metacrilato, silano, uretano, butadieno, hule clorado, silicato, siliconato, siloxeno e isobutileno con estereato de aluminio). De sus resultados se concluyó que, aunque ciertos productos pueden reducir significativamente la penetración del ion cloruro en el concreto, aún así es necesario el empleo de un concreto con una baja relación agua/cemento, adecuadamente compactado, curado y con un grueso espesor de recubrimiento, para obtener una efectiva protección del refuerzo contra la corrosión a largo plazo y en contacto con medios agresivos.

En lo relativo al agua de mar, cuyo contenido de cloruros sobrepasa las 20,000 ppm, son bien conocidos sus efectos corrosivos sobre el acero de refuerzo, lo que ha dado lugar al establecimiento de requisitos y medidas de protección especiales para la construcción de estructuras de concreto que de alguna manera tienen contacto con dicha agua, particularmente en las zonas expuestas al oleaje y a la fluctuación del nivel del mar por efecto de las mareas.

En estos casos, todos los reglamentos de construcción previenen el uso de cementos apropiados, bajas relaciones agua/cemento y recubrimientos de mayor espesor como medidas mínimas de protección.

Lo que no siempre se toma en cuenta, es el efecto corrosivo del ambiente marino sobre las estructuras de concreto convencionales ubicadas cerca de la costa. En una reciente investigación efectuada en Japón (22), se detectó una gran variación del contenido de cloruros en el ambiente marítimo al medirlos en diferentes zonas costeras (desde menos de 0.01 hasta cerca de 0.20 mg NaCl/cm²), observándose en cada paso proporcionalidad entre el contenido ambiental de cloruros, el grado de penetración del ion cloruro en el recubrimiento de concreto y el estado de corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto investigadas. Como consecuencia práctica, la reglamentación de los espesores del recubrimiento del concreto para las nuevas construcciones, se hizo selectivamente por zonas, de acuerdo a las concentraciones atmosféricas de cloruros prevalecientes en cada una de ellas.

En la República Mexicana, por su gran desarrollo costero, resulta de mucha importancia tomar en cuenta este factor potencial de corrosión del acero de refuerzo. Aún cuando no se conceden datos concretos, con cierta frecuencia se dice que el aire marítimo que prevalece en el litoral del Golfo de México es mas salino y corrosivo que las costas del Océano Pacífico. Independientemente de la veracidad de este supuesto, lo que si procede es considerar un espesor más generoso para el recubrimiento del concreto de las estructuras que se construyan en la faja costera de ambos litorales (a menos de 300 m de la orilla del mar) con objeto de incrementar su durabilidad.

e) Agentes corrosivos en los componentes del concreto

De igual modo que en el caso del medio de contacto externo, los cloruros son los agentes corrosivos cuya presencia en los componentes del concreto representa mayor riesgo de corrosión para el acero de refuerzo. Si bien es prácticamente imposible anular los cloruros en la mezcla del concreto, sí resulta factible evitar el uso de componentes que los contengan en exceso, para lo cual se acostumbra definir límites máximos permisibles. Los componentes del concreto que suelen ser los principales portadores de cloruros son el agua, ciertos agregados como los de origen marino y algunos aditivos. Así, por ejemplo,

en las Normas Mexicanas para la fabricación de tubos de concreto presforzado (NMX C-252 (23) y NMX C-253 (24)) en donde es muy importante evitar el riesgo de corrosión, se limita el contenido máximo de cloruros en el agua de mezclado a 400 ppm y en los agregados a 0.01% de su peso, y se prohíbe el uso de aditivos que contengan cloruros. Sin embargo, debido a la variabilidad de las porciones en que utilizan estos componentes, resulta mas preciso y efectivo limitar el contenido de cloruros en la mezcla de concreto.

En cuanto a la manera de expresar la limitación de los cloruros en el concreto, a veces se hace como un porcentaje del contenido unitario de cemento o bien, del peso volumétrico del concreto. Pero la forma tal vez más justa consiste en definir la cantidad de ion cloruro (Cl) en peso por metro cúbico de concreto. Para establecer la cantidad máxima de cloruros que es posible tolerar en el concreto recién mezclado, es necesario tomar en cuenta el contenido crítico de cloruros que define el umbral de riesgo de corrosión en el seno del concreto endurecido, y las condiciones de exposición en que deba prestar servicio la estructura.

El umbral de riesgo de corrosión para el acero de refuerzo en el concreto endurecido, suele relacionarse con un contenido de cloruros solubles del orden del 0.4% del peso del cemento que, de acuerdo a los consumos unitarios de éste que son usuales, resulta en un intervalo aproximado de 1 a 2 kg de ion cloruro por m³ de concreto. Las condiciones riesgosas de exposición del concreto, en cuanto a la corrosión de refuerzo, son principalmente motivadas por la presencia de cloruros en el medio de contacto externo y por la disponibilidad de agua y oxígeno en el entorno de la estructura.

El criterio básico es, que a mayor riesgo de corrosión, menores son las cantidades tolerables de cloruros en la mezcla de concreto, a fin de contar en cada caso con un adecuado margen por debajo del umbral de riesgo, el cuál es prácticamente fijo. Acomodando este criterio a los límites dados en la Guía ACI 201 (1), se propone no exceder las siguientes cantidades máximas de ion cloruro por m³ de concreto, aplicables al concreto antes de quedar expuesto al medio de contacto.

Condiciones de exposición y servicio de la estructura	Máximo contenido de cloruros en el concreto, kg (Cl ⁻)/m ³	
	Reforzado	Presforzado
Concreto en ambiente húmedo, expuesto a la acción de los cloruros	0.30	0.15
Concreto en ambiente húmedo, sin estar expuesto a la acción de los cloruros	0.50	0.25
Construcciones sobre el nivel del terreno, en donde el concreto permanecerá seco	Sin Limitación especial	0.35

Nota: Las condiciones de corrosividad del medio de contacto (agua o suelo) pueden determinarse conforme a la Norma NMX C-346 (20).

6.8. REACCIONES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS

a) Causas y medios de prevención

Hay agregados que en contacto con la pasta de cemento, desarrollan reacciones químicas cuyos efectos son adversos a la durabilidad del concreto. Estas reacciones se producen entre ciertas rocas y minerales, que eventualmente forman parte de los agregados, y los álcalis (óxidos de sodio y potasio) que normalmente proceden del cemento, aunque también pueden ser aportados al concreto por algunos agregados y aditivos minerales.

Se distinguen tres tipos básicos de reacciones álcali-agregado en el concreto, designándose álcali-sílice, álcali-silicato y álcali-carbonato. En la primera, que es la más frecuente, ciertas formas de sílice amorfa y criptocristalina reaccionan con la solución altamente alcalina de los poros del concreto para formar un gel que se hincha y produce presión al absorber el agua del medio que la rodea. En la segunda reacción, que es muy poco frecuente, intervienen los filosilicatos que por su estructura laminar tienden a ser exfoliados por la acción de los álcalis. Finalmente, la tercera reacción, cuya frecuencia es intermedia entre las dos anteriores, se manifiesta como una dedolomitización de algunas

rocas calizas dolomíticas por efecto de los propios álcalis.

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

Presencia de rocas y minerales reactivos en los agregados, en las proporciones

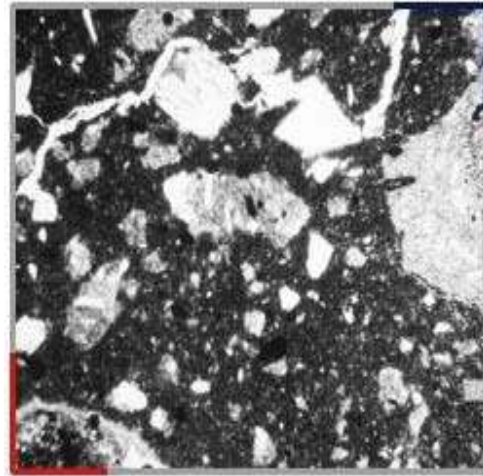
- 1.-** que en cada caso resulten críticas, conforme a su origen y naturaleza.
- 2.-** Elevado contenido de álcalis en la mezcla de concreto, por arriba de ciertos límites establecidos empíricamente.
- 3.-** Suficiente humedad en el interior del concreto para mantener una solución fuertemente alcalina en contacto con los agregados.

No obstante que la obligatoriedad de estas condiciones para que se produzca el fenómeno se cuestiona con frecuencia, todavía constituye la base y la justificación de las principales medidas que pueden adoptarse para prevenir daños a las estructuras como consecuencia de una reacción de esta índole. En términos generales, dichas medidas y los criterios para aplicarlas son:

Evitar el uso de agregados que contengan rocas y minerales identificados como

- 1.-** potencialmente reactivos con los álcalis. Si los agregados disponibles contienen

2.- Utilizar un cemento Portland con bajo contenido de álcalis: menos de 0.60% (como Na_2O eq.) si la reacción es álcali-carbonato. Complementar esta medida haciendo las mediciones y ajustes necesarios para que el contenido total de los álcalis en la mezcla de concreto (aportados por sus diversos componentes) no exceda de 3 kg de álcalis (como Na_2O eq.) por metro cúbico de concreto (28). Si este recurso no es factible, entonces la medida pertinente consiste en incorporar al concreto un material que sea efectivo para inhibir la reacción previsible.

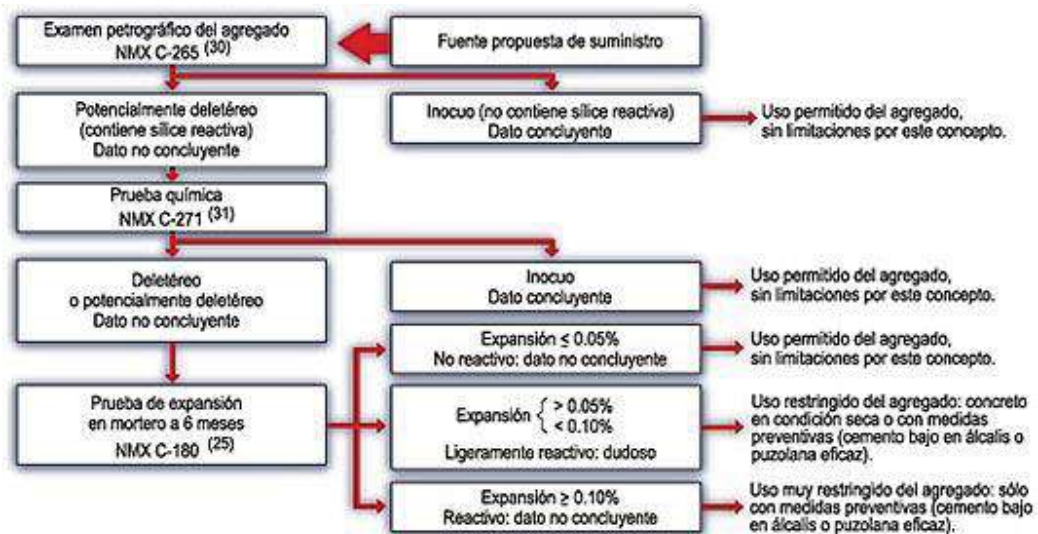


En el caso de la reacción álcali-sílice, muchas puzolanas son capaces de inhibir satisfactoriamente sus efectos, lo cual puede modificarse mediante pruebas de expansión en el mortero hecho con un cemento de altos álcalis, la puzolana en cuestión y vidrio de borosilicato como agregado (NMX C-298(29)). Cuando la reacción es álcali-carbonato, hay menos expectativas de éxito con el uso de una puzolana para inhibir sus efectos. En este caso, la capacidad inhibidora de la puzolana puede verificarse con pruebas de expansión de concreto con los agregados reactivos en cuestión y un cementante compuesto por el cemento de uso previsto y la puzolana propuesta, aplicando el método de prueba ASTM C 1105 (27). Si aún así la expansión resulta excesiva, las opciones que deben

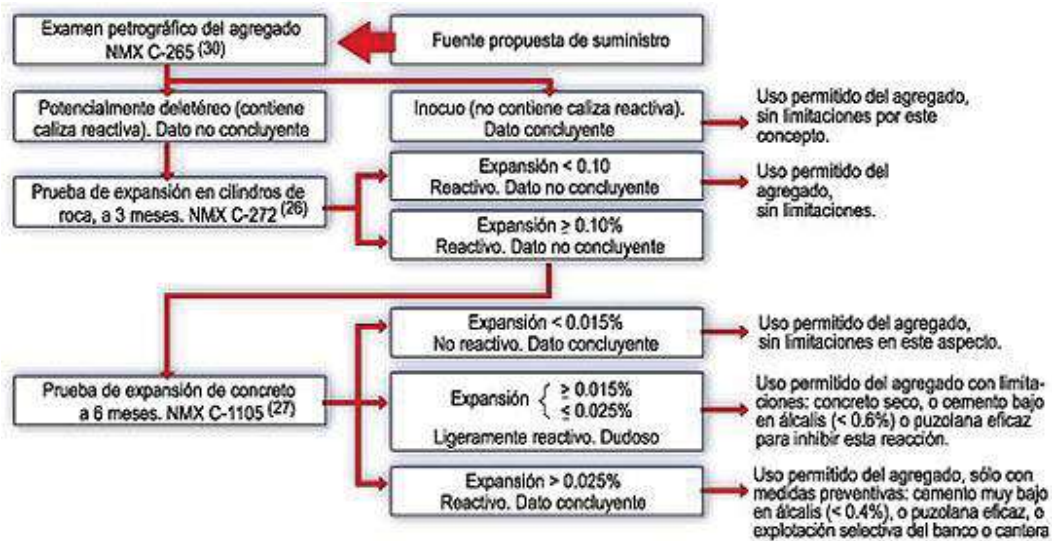
- ▣ Cambiar la fuente de los suministros de los agregados por otra no reactiva,
- ▣ Efectuar una explotación selectiva de los bancos o canteras para desechar el material reactivo, o por lo menos reducir su proporción a no más de 15% en el total de los agregados.
- ▣ Seleccionar un cemento cuyo contenido de álcalis sea lo suficientemente bajo para producir una expansión tolerable en la prueba del concreto por el método ASTM C 1105 (27).

3.- Para las estructuras de concreto en servicio, en cuya construcción concurren condiciones de riesgo y que por ello tienen la posibilidad de padecer una reacción de álcali-agregado en grado deletéreo, no se han desarrollado aun medidas efectivas para evitarles el daño predecible. Sin embargo, un paliativo consiste en mantener el concreto seco, aplicando superficialmente a la estructura una barrera eficaz contra la penetración de la humedad. De esta manera, aunque no puede asegurarse que la reacción no se produzca, si pueden aminorarse y/o diferirse sus efectos y así prolongar la vida útil de la estructura.

En el siguiente cuadro sinóptico se indican las pruebas, criterios de interpretación de resultados y decisiones que pueden efectuarse sucesivamente, cuando la reacción previsible en el concreto es de tipo álcali-sílice.



Cuando la reacción prevista es del tipo álcali-carbonato, se aplican otras pruebas y criterios conforme al cuadro que sigue.



Como se observa, la completa definición del carácter reactivo de los agregados con los álcalis puede requerir en algunos casos mas de seis meses a partir de la iniciación de las pruebas, lo cual debe tenerse presente cuando se realizan los estudios preliminares para la ejecución de obras en que deben emplearse agregados sin antecedentes de servicio.

b) Agregados reactivos en la República Mexicana

El deterioro prematuro de estructuras de concreto por efecto de la reacción álcali/agregado, se considero inicialmente como un caso aislado en Estados Unidos, pero ahora es un fenómeno muy extendido del cual hay ejemplos en numerosos países. Debido a que el tiempo de manifestación de sus efectos es muy variable (desde un mes hasta mas de treinta años), no es posible establecer si en los países en que el fenómeno no se ha presentado llegue a manifestarse posteriormente. Como por ejemplo, puede citarse el caso de la Gran Bretaña, en donde antes de 1976 esta reacción era prácticamente desconocida, pero diez años después había mas de cien casos registrados de estructuras afectadas por la reacción álcali-agregados (32).

En el caso de la República Mexicana, los factores de riesgo han concurrido, pues existen agregados identificados como potencialmente reactivos y se utilizan cementos con altos contenidos de álcalis, y sin embargo no hay informes de estructuras afectadas por la reacción álcali-agregado. Aun cuando no hay elementos para establecer si efectivamente

la reacción nunca se ha producido o simplemente no se ha detectado, lo que si debe considerarse es la posibilidad de que ocurra y se manifieste mas adelante, como ha sucedido en otros países. Ante esta posibilidad, es conveniente tener conocimiento de las principales zonas de la República en que pueden hallarse rocas identificables como potencialmente reactivas con álcalis.

A continuación se incluye una descripción de dichas zonas, cuya delimitación de carácter general de ninguna manera excluye la posibilidad de la existencia de agregados potencialmente reactivos fuera de ellas, como ocurre con los agregados que son acarreados y depositados fuera de su zona de origen por los grandes ríos.

Tomando como base la constitución geológica de la República Mexicana, la SPP (33) ha establecido un marco fisiográfico, subdividiéndola en 15 provincias fisiográficas que se rigen fundamentalmente por la composición y las formas que prevalecen en una determinada asociación litográfica. Utilizando este marco fisiológico, es factible delimitar en forma aproximada zonas o regiones en cuyos materiales pueden estar presentes aquellos componentes que comúnmente se identifican como reactivos con los álcalis. De esta manera se han agrupado las regiones cuyas características fisiográficas son comunes en cuanto a la probable existencia de rocas y minerales reactivos con los álcalis del cemento.

REGIONES CON ROCAS PROPENSAS A LA REACCIÓN ALCALI-SILICE

Las principales rocas que pueden ser origen de agregados capaces de una reacción del tipo álcali-silice son: las rocas volcánicas vítreas y sus tobas (riolitas, dacitas, andesitas y algunos basaltos), las rocas que contienen ópalo y las rocas con elevado contenido de sílice en estado criptocristalino o intensamente deformado (arenas cuarcíferas, calizas silificadas, esquistos, areniscas, etc.). En el siguiente mapa de la República Mexicana (Figura 5), se delimitan dos regiones con diferente probabilidad de ser fuente de agregados que contengan sílice potencialmente reactiva con los álcalis. A continuación se hace una somera descripción de estas regiones, que se califican como de moderado y fuerte potencial reactivo.

FIG. 5



Región de moderado potencial reactivo

Abarca la porción más al Noroeste de la República, así como la porción Sur de la misma, ocupando parcialmente las provincias fisiográficas de la Península de Baja California y del Desierto de Sonora, y totalmente las que corresponden a la Sierra Madre del Sur. En las dos primeras suelen hallarse rocas volcánicas y rocas metamórficas de muy variada composición, y en la última es posible encontrar toda clase de rocas (ígneas volcánicas y plutónicas, sedimentarias de origen químico y mecánico y gran diversidad de rocas metamórficas de los complejos Xolapa, Acatlán y Oaxaqueño).

Región de fuerte potencial reactivo

Comprende la porción Sur de la Península de Baja California y las provincias fisiográficas de la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico. En esta región predominan las rocas de origen volcánico con diferentes contenidos vítreos (sílice amorfa) que comprenden en orden ascendente los basaltos, las andesitas, las dacitas y las riolitas, con sus respectivas tobas.

6.9 REGIONES CON ROCAS PROPENSAS A LA REACCIÓN ALCALI-CARBONATO

Las rocas que normalmente intervienen en la reacción álcali/carbonato son las calizas dolomíticas, las calizas arcillosas (magras) y otras rocas calcáreas que contienen dolomita. Sin embargo, debido a que estas rocas suelen hallarse intercaladas en formaciones constituidas por rocas similares pero no reactivas, el grado de reactividad del material explotado en conjunto en una misma formación, depende de la proporción en que se halla la fracción reactiva. Por tal motivo, una de las medidas preventivas que suelen recomendarse para evitar esta reacción, consiste en efectuar la explotación selectiva del banco o cantera, con el fin de ir desechando el material reactivo o por lo menos reducirlo a no mas de 15% del agregado total en el concreto (27).

FIG. 6



Dado lo irregular de la distribución del material potencialmente reactivo dentro de las formaciones existentes en cada provincia fisiológica, resulta muy difícil tratar de hacer una delimitación de regiones con distinto grado de reactividad potencial, como se hizo en el caso de las rocas que contienen sílice reactiva. En consecuencia, lo que se intenta en el siguiente mapa de la República Mexicana (Figura 4) es señalar aquellas provincias fisiográficas o zonas en que suelen hallarse rocas carbonatadas del tipo considerado como potencialmente reactivo, sin pretender calificar su grado de reactividad, lo cual debe ser motivo del estudio que se realice de cada banco o cantera en particular, previamente a su explotación con el fin de obtener agregados para cada concreto.

La región considerada como fuente potencial de agregados capaces de originar una reacción álcali/carbonato en el concreto, comprende las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Chiapas en su totalidad, y la fracción sedentaria de la Sierra Madre del Sur, en particular las subprovincia de la plataforma Morelos-Guerrero. El material existente en esta región normalmente no es reactivo, pero contiene una dispersa e impredecible distribución de calizas solomíticas y arcillosas, que en determinados casos y proporciones pueden convertirlo en reactivo con los álcalis.

CAUSAS Y SOLUCIONES PARA EL AGRIETAMIENTO EN EL CONCRETO.

El concreto, como otros materiales empleados en la construcción, sufre contracciones y expansiones, que son fuertemente influenciadas por condiciones ambientales tales como:

- ▣ Humedad relativa
- ▣ Temperatura ambiente
- ▣ Velocidad del viento

Así como por las características de la mezcla, como son:

- ▣ Contenido de cemento
- ▣ Relación agua/cemento
- ▣ Relación arena/cemento
- ▣ Tamaño máximo y forma de la grava
- ▣ Granulometría de los agregados
- ▣ Cantidad y calidad de finos en los agregados

Y desde luego, por los cuidados que en la obra se tenga del concreto en los procesos de:

- ▣ Transporte
- ▣ Manejo
- ▣ Colocación
- ▣ Consolidación

- ▣ Terminado
- ▣ Curado

Todo esto, sumado a las condiciones de carga y de apoyo de los elementos y al cuidado que se tenga de éstos, primordialmente durante las primeras horas posteriores al colado, determinan la posibilidad de agrietamiento del concreto. En general, la fisura o agrietamiento puede evitarse o disminuirse si se toman medidas preventivas en el diseño y producción del concreto, así como en los procesos constructivos de los elementos en la obra.

El agrietamiento del concreto es un tema muy amplio, ya que se pueden generar diferentes tipos de fisuras, que se pueden presentar en dos momentos diferentes del colado del concreto:

- 1.- Antes de que se presente el fraguado
- 2.- Después de que el concreto ha fraguado

Sin embargo, cabe resaltar que cuando el agrietamiento se presenta en el concreto en estado plástico (sin fraguar), tiene una importante repercusión en el agrietamiento del concreto endurecido.

7.1. CONCRETO FRESCO

En el concreto en estado plástico, se puede presentar agrietamiento por

Movimientos Durante el Proceso de Construcción de Pavimentos

Aquí se pueden señalar, generalmente, dos causas principales:

Asentamiento de la Sub-base

Cuando la humedad cambia en la misma o bien, por problemas de compactación.

- **SOLUCIÓN:** Mejor control de calidad de la sub-base.

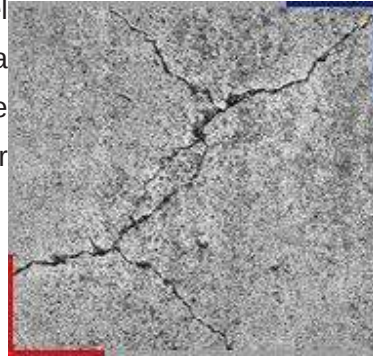
Movimiento de la Cimbra

Cuando la presión del concreto sobre la cimbra provoca movimientos, o bien, un inadecuado proceso de construcción o cálculo de la misma causan el mismo efecto.

- **SOLUCIÓN:** Construir cimbras adecuadas, bien diseñadas y bien calculadas. *

7.2. AGRIETAMIENTO POR ASENTAMIENTO

Cuando se coloca el concreto en la cimbra puede ocurrir que exista alguna obstrucción, ya sea por el acero de refuerzo, por la cimbra o por alguna pieza que se desea quede ahogada en el concreto, que puede provocar, al asentarse el concreto alrededor de esta obstrucción, algunas grietas en este punto.



- **SOLUCIÓN:** Utilización de mezclas muy densas de bajo contenido de agua, con una adecuada consolidación en pequeñas capas.

7.3. AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN PLÁSTICA ***

El concreto, al momento de producirse, contiene el agua necesaria para su trabajabilidad y desarrollo de resistencia, por lo que si el elemento de concreto se mantiene desde su elaboración a una temperatura constante, en un ambiente saturado con humedad, su longitud casi no varía, por lo que no hay contracción, ya que al mantenerse en un medio saturado de humedad no existe evaporación. Aún cuando se da una disminución de volumen, el vapor de agua del medio ambiente penetra progresivamente y se condensa en los poros, reemplazando al que ha cristalizado. Si la evaporación del agua del concreto empieza antes de finalizar el fraguado, se puede presentar la contracción plástica. El agrietamiento tiene lugar en este caso al cabo de muy poco tiempo, debido a la pérdida de una parte del agua por evaporación, o bien por la

absorción del material que trabaja como soporte. Esto se presenta con mayor frecuencia en losas coladas en una atmósfera de humedad relativa baja (tiempo cálido y seco, viento fuerte y seco, etc.).

La contracción plástica de un concreto en diferentes medios a una misma temperatura varía dependiendo de la humedad relativa.

Generalmente, si la temperatura ambiente aumenta sin que varíe la humedad, la humedad relativa disminuye considerablemente, provocando una mayor contracción plástica y la posibilidad de fisuras.

Cabe resaltar que antes de la aparición de una grieta, la tensión en la superficie del concreto es la misma en todas direcciones, modificándose este comportamiento al verse afectado por la presencia de una fisura.

Las fisuras por contracción plástica pueden no ser visibles, a menos que se mojen, ya que el agua penetra por ellas por capilaridad y señala su trayectoria.

- **SOLUCIÓN:** Adecuados manejos de los procesos de curado y protección durante el colado.

7.4. CONCRETO ENDURECIDO

Una vez que el concreto ha endurecido, desde el momento en que termina su proceso de fraguado y en edades posteriores, se puede presentar agrietamiento por diversas causas, entre las cuales se encuentran:

Grietas Debidas a la Contracción por Secado

La contracción por secado se debe a la evaporación del agua de los poros y por lo tanto, es concebible que pueda variar aproximadamente con el volumen de estos.

Si la contracción se inicia antes de haber finalizado el fraguado (Contracción Plástica), la contracción por secado a través del tiempo puede ser de mucha mayor importancia que

cuando se presenta después del fraguado.

Además, si durante los primeros días la contracción por secado es débil, no habrá agrietamiento.

Existen varias condiciones que influyen en el comportamiento de la contracción por secado, entre las que se encuentran:

La Superficie Expuesta del Concreto

A mayor superficie, mayor la posibilidad de evaporación del agua.

El Diseño de la Mezcla y la Configuración Granulométrica de los Agregados
Estos determinan significativamente el volumen de poros en el concreto.

El Contenido de Cemento

En dosificaciones de cemento muy altas, en las que también puede aumentar el contenido de agua, hay un mayor índice de contracción.

Humedad Relativa y Temperatura Ambiente

La contracción por secado es lenta y por lo general la humedad relativa media anual influye de manera importante en la contracción.

El Tipo de Cemento

Aunque en menor medida, la contracción depende de la constitución físico-química del cemento, ya que la contracción es mayor cuando más concentrada es la solución acuosa intersticial (álcalis, cloruros).

La contracción depende de la geometría de los poros iniciales y de las características físicas del líquido intersticial. Así, el agrietamiento debido a la contracción por secado a largo plazo (hasta varios meses) aumenta con la finura y la dosificación del cementante.

También, cabe aclarar que la mayor parte de los álcalis solubles aumentan (y aceleran) la contracción por secado. Los álcalis del clinker son solubles en agua, mientras que los álcalis de las puzolanas y escorias están incluidos, en su mayoría, en compuestos vítreos insolubles, por lo que se debe considerar que la adición de puzolana al clinker tiene, además, la propiedad de absorber los álcalis e insolubilizarlos bajo la forma de sílico-aluminatos alcalinos hidratados, permitiendo reducir la contracción por secado a igual

finura.

En cuanto al desarrollo de fraguado y resistencia, se ha analizado que los cementos de endurecimiento lento son menos propensos al agrietamiento que los cementos de endurecimiento rápido, debido a que los cementos de fraguado lento se "adaptan" mejor a la contracción, gracias a su mayor fluencia.

• **SOLUCIÓN:** Utilización de mezclas densas con contenido bajo de cemento, al igual que con superfluidificantes que permitan una relación agua/cemento baja, con un curado adecuado y el uso de cemento puzolánico.

Agrietamiento Debido al Acero de Refuerzo

Cuando se "arma" el concreto, se considera que su resistencia a la tracción sólo se debe a las armaduras. Sin embargo, un concreto con resistencia nula a la tracción no tendría interés en ser armado, ya que su cohesión sería nula; por otra parte no tendría ninguna adherencia al acero de refuerzo.

En este caso, la rotura de adherencia entre el concreto y una armadura con el recubrimiento suficiente, tiene lugar primeramente por fricción a lo largo de la superficie, aproximadamente cilíndrica, que envuelve las irregularidades macro y microscópicas del acero, ya que la adherencia del concreto al acero es igual a la resistencia a la fricción del concreto a lo largo de esa armadura.

Así, el concreto puede presentar fisura paralela a las armaduras, ya sea a causa de la corrosión y de la dilatación del acero de refuerzo, o bien a causa del deslizamiento si éste sobrepasa la dimensión media de las irregularidades del acero y de los granos más pequeños del agregado y será mayor, cuanto menor sea el espesor del recubrimiento alrededor del armado.

• **SOLUCIÓN:** La velocidad de penetración de las humedades es menor mientras menos permeable sea el concreto, mientras mayor sea su dosificación de cemento y mientras más fino sea éste. De igual manera disminuye cuando el espesor a atravesar aumenta, así como su densidad.

Reacción Química Álcali-Sílice

Los álcalis del cemento Portland atacan muy lentamente a la sílice amorfa (y eventualmente a la alúmina) de ciertos agregados reactivos procedentes de rocas volcánicas, o de ciertos productos vítreos artificiales, ya que se forma así un silico aluminato alcalino hidratado, casi sin solución de sílice.

Esta reacción tiene lugar en un medio húmedo, ya que favorece la migración de los álcalis del cemento.

- **SOLUCIÓN:** Limitación de los elementos reactivos del agregado, limitación de los álcalis del cemento, así como la adición de material puzolánico adecuado.

Agrietamiento por Contracción Térmica (Temperatura Interna)

La hidratación de los constituyentes anhidros del cemento es una reacción exotérmica (genera calor), ya que el cemento, al reaccionar, devuelve en el concreto una parte del calor que había adquirido en el horno (clinker), en el alto horno (escoria) o en el volcán (puzolana).

En este caso, la pendiente máxima de la curva del calor de hidratación corresponde aproximadamente al fraguado, ya que al finalizar se ha desprendido alrededor de un 25% del calor de hidratación y, 24 horas más tarde, alrededor del 50%. Es en este momento que se pueden generar fisuras en el concreto por esta causa, ya que el calor de hidratación del conglomerante puede elevar la temperatura del concreto en varios grados centígrados.

- **SOLUCIÓN:** Para disminuir el efecto de la temperatura interna del concreto, se puede utilizar cemento con bajo calor de hidratación, así como mantener un control sobre el incremento de temperatura. Igualmente, se debe fomentar el uso de agregados con un coeficiente térmico de expansión de forma que sea normal y diseñar el armado del concreto adecuadamente.

Agrietamiento por Contracción Térmica (Temperatura Externa)

A largo plazo, los efectos del medio ambiente, en condiciones adversas, originan o aumentan el tamaño de las grietas. Estas pueden ser perjudiciales, tanto para el concreto como para el acero de refuerzo, al reducir la impermeabilidad del concreto.

- **SOLUCIÓN:** Con el uso de un sistema de juntas de contracción adecuado, se pueden disminuir los efectos del clima sobre el concreto, al igual que con un armado con acero adecuado a estos requerimientos

Agrietamiento por Congelamiento - Deshielo

Este tipo de agrietamiento se puede presentar en regiones en donde la temperatura ambiente desciende frecuentemente por debajo de -5°C . Esto es debido a que el agua, por debajo de 0°C , se cristaliza y experimenta un aumento de volumen de aproximadamente el 9 %, dando lugar, por esta causa, a una fuerte presión en el concreto. Una sola helada, sin embargo, difícilmente puede dar lugar a una fisura visible, ya que el aumento de volumen del hielo es mínimo.

Para una dilatación importante, son necesarios varios ciclos de congelamiento y deshielo, ya que dichos ciclos favorecen la saturación del concreto con agua.

- **SOLUCIÓN:** Utilizar agregados durables en condiciones de congelamiento-deshielo, así como concretos de alta resistencia y bajo contenido de agua; y de manera muy importante, incluir aire al concreto, ya que lo hace más resistente al deterioro.

7.5. GRIETAS EN LOSAS DE CONCRETO

Grietas Causadas por Fallas en Terreno

Las losas de concreto soportan sobrecargas que, junto con su propio peso, tienden a producir asentamientos del terreno. Si estos desplazamientos verticales no son soportados por el material que la sustenta, se aumenta el claro útil de la losa, dando así que en algunos casos de losas o pavimentos de concreto se presentan fisuras que son debidas a estos asentamientos del terreno.

En este caso, las grietas que afectan la totalidad del espesor de las losas de concreto son debidas a los movimientos verticales originados por:

- ▣ Fallas en el Terreno

- ▣ Cargas Permanentes
- ▣ Sobrecargas

- **SOLUCIÓN:** Se debe buscar colar sobre un terreno homogéneo, evitando toda clase de fallas del terreno o de la sub-base. Si esto no es suficiente para las cargas permanentes o sobre cargas, el remedio más eficaz puede ser el aumento del espesor de la losa.

7.6. Grietas Causadas por Juntas Inadecuadas

Las losas de concreto experimentan variaciones debidas principalmente a la contracción plástica, contracción por secado y a la contracción y dilatación térmicas que tienden a curvarlas y hacerlas deslizar sobre el terreno con un cierto rozamiento.

- **SOLUCIÓN:** Para absorber estos movimientos provocados por los cambios de temperatura o humedad, se deben efectuar juntas en la superficie del concreto. Estas se hacen, ya sea aserrando o labrando, formando una hendidura de una cuarta parte del espesor de la losa. Estas no deben estar separadas más de 30 veces el espesor de la losa. La longitud conveniente es de aproximadamente 1.5 veces el ancho y deben efectuarse lo más rápidamente posible para evitar que la grieta se presente de forma no inducida.

CONCLUSIONES.

El concreto es un material de construcción muy versátil y universalmente disponible, que siempre ha disfrutado de una reputación de duradero. Sin embargo, por lo mismo que está expuesto a una gran variedad de factores ambientales, es inevitable que al ser usado en estas situaciones requerirá de algún tipo de reparación para prolongar su expectativa de vida, ya que como todos los materiales, se deteriora por los estragos del tiempo, la exposición a elementos agresivos y los efectos mecánicos de desgaste y rotura. Si se toman en cuenta todos los factores involucrados, el concreto tiene un comportamiento más favorable que otros materiales estructurales.

Un factor importante para tomarse en cuenta en el diseño, es que el concreto es un material reparable. Existen una gran variedad de técnicas y materiales para su reparación, según el tipo de deterioro. Es, de hecho, característica distintiva de las estructuras de concreto el que puedan ser reparadas, aunque ocurre con poca frecuencia.

Algunas veces, la causa del deterioro será fácilmente identificable. En cada caso particular, sin embargo, se requerirá de un especialista experimentado o de un laboratorio para realizar pruebas, pudiendo incluso ambos ser necesarios para determinar las causas del problema.

Si el deterioro resulta por la acción de un fenómeno permanente, podemos enfrentar éste para su eliminación, o bien proteger al concreto si no es posible lo primero. Cuando el deterioro es provocado por una causa aislada o por una serie de acontecimientos, el trabajo de reparación generalmente se inicia de inmediato.

RECOMENDACIONES.

Revestimiento o protección superficial

Es el proceso de aplicar y fijar un material sobre concreto que proporcione las características necesarias de comportamiento. Los materiales usados son metales, hule, plástico o concreto de alta resistencia. Cuando la acción del agua y hielo ha erosionado la pila de un puente, por ejemplo, la superficie resultante en ocasiones es revestida con concreto de alta resistencia. El valor de esta reparación estructural protege al refuerzo de la exposición a los elementos y mejora la adherencia del concreto original. Si el flujo de agua es demasiado rápido o la configuración del elemento propicia una severa cavitación, será necesario usar un revestimiento de metal o hule.

Para recubrir el concreto manchado o que tiene una superficie ligeramente agrietada, los constructores emplean materiales como yesos cementantes o morteros que pueden ser rociados en la superficie y ofrecen cierto grado de impermeabilidad.

Los materiales de revestimiento pueden ser fijados al concreto por medio de pernos, tornillos, clavos o adhesivos; por adhesión al concreto existente o por gravedad. El método de fijación empleado dependerá del tipo de exposición y del material usado para el revestimiento.

Reemplazo con mortero

Es una técnica de reparación limitada que se aplica usualmente a huecos de poca profundidad. Tales huecos ordinariamente sólo llegan hasta el acero de refuerzo, muy cerca de la superficie del concreto. El mortero es colocado a mano o inyectado dentro de la cavidad usando un inyector de mortero. La consistencia del mismo depende del material usado y si el hueco a llenar está localizado en un piso, pared o techo.

Los siguientes pasos son de ayuda para una reparación exitosa:

- 1.- Limpiar completamente la cavidad, dándole la forma adecuada.
- 2.- Obtener una buena adherencia entre el mortero y el concreto viejo.
- 3.- Eliminar o reducir la contracción.
- 4.- Realizar un buen curado.

Esta técnica es similar a la de empackado en seco, excepto que el material de reparación empleado en este último procedimiento, es extraordinariamente rígido.

Inyección en losas

Se usa para devolverle el nivel deseado a una losa que se ha asentado, además de suministrar una sub-base estable. Esta técnica frecuentemente se usa en pavimentos pero es igualmente efectiva en losas para pisos. La técnica involucra hacer un modelo de inyectado, perforar orificios en todo el espesor de la losa de concreto por levantar; fijar un adaptador de presión en cada orificio y bombear una lechada bajo la losa por levantar. Al endurecer el material lechoso, se refuerza la capacidad estructural de la subrasante. Las lechadas pueden ser compuestos de cemento, arcilla o materiales a base de cenizas. En caso de requerirse durabilidad, puede agregarse a la lechada un asfalto emulsificado. Existen contratistas especializados en la inyección en losas, ya que es una técnica que requiere de considerable experiencia para definir el número adecuado de orificios y determinar exactamente la cantidad de lechada a bombear en la sub-base.

La inyección en losas no es un método adecuado para reparar losas agrietadas severamente ni para losas de gran peso, ya que las presiones de bombeo son limitadas. Después de la inyección, es de esperarse un asentamiento posterior de aproximadamente 5% de lo que se levantó la losa.

Concreto

pre-empacado

También conocido como colocación previa de los agregados del concreto, comprende una técnica en la que inicialmente se llena el área que se desea reparar con agregados de granulometría discontinua y los huecos entre las partículas de agregados son inundados con agua, que luego es desalojada por mortero bombeado desde el fondo del lugar. Ocasionalmente se usa una pasta simple de cemento en vez del mortero. El concreto pre-empacado generalmente se usa en áreas que son inaccesibles, como por ejemplo, bajo el agua, así como para revestir concreto deteriorado. La técnica del pre-empacado es efectiva en estructuras que están siendo revestidas, tales como muros de contención, presas, túneles, estribos y pilares. El concreto pre-empacado usualmente presenta baja contracción y buena calidad de adherencia. Puesto que la

técnica requiere de equipo y habilidades específicas, esta tarea se contrata con firmas especializadas en esta técnica. Algunas veces es necesaria una instalación prototipo para probarlos métodos propuestos para la reparación.

Sobrecarpetas con o sin adherencia

Es una técnica de reparación que no está destinada par elevar apreciablemente el nivel de la losa a la cual se aplica. La decisión de adherir o no la delgada capa es sumamente importante y depende de las razones por las cuales el concreto necesita repararse. Si el problema es estrictamente un fenómeno superficial, como el deterioro por tránsito o agrietamiento por desgaste en forma de encostramientos, la sobrecarpeta dee ser adherida al concreto existente. Si el problema, en cambio, implica movimientos estructurales o agrietamientos fuertes, la sobrecarpeta no deberá ser adherida colocando una película de polietileno o una capa de arena, ya que de otro modo la nueva capa pronto presentaría grietas en cualquiera de los mismos puntos en donde está agrietada la losa de apoyo o bien, grietas generalizadas resultado de movimientos estructurales. Debido a que el acabado en este procedimiento de reparación es muy delgado, menos de 2.5 cm, el material usado deberá tener muy poca contracción y también brindar resistencia a los efectos que originalmente causaron el daño. Algunos materiales usados para sobrecarpetas o renivelaciones delgadas son: mortero, lechadas, epoxies, revestimientos bituminosos, látex y un número de productos patentados. La protección y curado, por así llamarlos, son factores importantes, ya que por lo delgado de la capa puede presentarse secado rápido y fluctuaciones de temperatura en el material.

Aplanados

A menudo mejorarán la apariencia de una superficie de concreto que está manchada o presenta pequeños huecos. En esta técnica, la superficie del concreto se humedece y en seguida se extiende mortero húmedo sobre la superficie y dentro de los huecos con una espátula de hule o una pieza de fieltro. Con el tiempo, la superficie queda totalmente curada y se utiliza suficiente cemento blanco en el mortero para igualar el color al del concreto circundante.

Un terminado a base de piedrecillas o arena fina se aplica de la misma manera, excepto que primero se extiende sobre la superficie un mortero mas plástico que rígido. Los aplanados se realizan de manera más eficiente después de que las cimbras han sido quitadas. Cualquier hueco grande que se presente será reparado por este proceso de

aplanado.

Limpieza con chorro de arena

Por sí solo puede ser un método suficiente para reparar algunos tipos de daños, pero generalmente se usa en conjunto con otras técnicas.

La limpieza con chorro de arena se usa para retirar materiales extraños que podrían perjudicar la adherencia del material de resane al concreto.

Amarre mecánico

Esta es la técnica más frecuentemente utilizada cuando debe ser reparada la mayoría de las grietas y se requiere que la acción estructural se restablezca en ellas. En este tipo de reparaciones, se colocan "grapas de amarre" (metálicas en forma de U con brazos largos) sobre las grietas, uniéndolas de la misma forma en que se cosen dos telas.

Se taladran orificios en el concreto en cualquiera de los lados de la grieta, y a continuación se sella la grieta colocando los brazos de las grapas dentro de los orificios, sujetándolas con una lechada sin contracción. A lo largo de diferentes planos se colocan grapas de longitud variable, distribuyendo la tensión a través de una área extensa, en lugar de concentrarla en un solo plano. El grado de rigidez se regula por el grosor y número de grapas empleadas; sin embargo, mientras más rigidizada esté el área circundante a la grieta, mayor será la tendencia del concreto a agrietarse en algunos otros puntos. Para contrarrestar esta tendencia, se coloca acero de refuerzo en el área más susceptible a agrietarse, aplicando un material para revestimiento en el cual se ahoga el refuerzo.

Tensado

Es un método que corresponde a una etapa anterior al amarre mecánico. Muy a menudo, de hecho, es la solución preferida cuando hay una área completa de concreto que deba ser reforzada y se requiera cerrar algunas de las grietas formadas. La técnica usa tensión aplicada a cables o varillas que se transforma en una fuerza a compresión que cerrará la grieta e incrementará la capacidad estructural, si se realiza cuidadosamente. Este procedimiento, desde luego, deberá ser diseñado y ejecutado por personas experimentadas en esta especialidad.

El tensado de varillas requiere de un adecuado anclaje para no trasladar el problema a otra parte de la estructura. Una fuerza de tensión de menor magnitud se puede obtener por medio de un material expansivo que se inyecta dentro de la grieta o grietas, el cual hace las veces de una cuña que se hincha en las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- ▣ "Epoxy Alloys" (4 págs.) Ene. 1958-11
- ▣ "Thin Bonded Resurfacing" (4 págs.) Jul. 1958-5
- ▣ "Latex Modified Concrete for Resurfacing" (4 págs.) Abr. 1961-98
- ▣ "Removing Stains from Concrete" (4 págs.) May. 1961-132
- ▣ "Techniques for Repairing Pavements" (4 págs.) Dic. 1962-359
- ▣ "Bentonite Stops Leaks in Basement Walls" (2 págs.) May. 1964-129
- ▣ "Those Exotic Epoxies and Polysulfides" (12 págs.) Una recopilación de 4 artículos publicados en 1964.
- ▣ "Crack Repair with Pressure-Grouted Epoxy Adhesives" (1 pág.) Mar. 1966-96
- ▣ "Bonding Materials to Concrete" (4 págs.) Oct. 1966-387
- ▣ "Repairing an Imperfect Wall" (2 págs.) Feb. 1967-33
- ▣ "Solving Concrete Problems by Sawing and Core Drilling" (1 pág.) 1967-301
- ▣ "Patching Concrete Surfaces" (5 págs.) Feb. 1968-33
- ▣ "Slabjacking - Art and Science" (5 págs.) Feb. 1969-53 ?

La Portland Cement Association ha publicado el siguiente material de algunas fases de reparación del concreto:

- "Bonding Concrete or Plaster to Concrete" (ST11)
- "Removing Stains from Concrete" (ST19)
- "Resurfacing Concrete Floors" (ST22)
- "Small Concrete Jobs Around the Home" (P100A)
- "Repairing Damp or Leaky Basements in Homes" (CP12)
- "Finishing Concrete Surfaces - Preventing Blemishes" (ISO28.01T)
- "Maintenance Practices for Concrete Pavement" (HB17)
- "The Design and Construction of Concrete Resurfacing for Old Pavements" (HB22)
- "Bonded Concrete Resurfacing" (HB23)
- "Fast Concrete Pavement Patching" (HB33)
- "Slabjacking Concrete Pavements" (HB37)
- "Maintenance Practices for Rigid Pavement" (LO 002.01P)