

20
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" ARAGON "**

**FALLA DE ORIGEN
CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
RAMON GUSTAVO CRUZ HERNANDEZ**

**DIRECTOR:
ING. AMILCAR GALINDO SOLORZANO**



AN JUAN DE ARAGON, ESTADO DE MEXICO,

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

RAMON GUSTAVO CRUZ HERNANDEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 12 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. AMILCAR GALINDO SOLÓRZANO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Mex.; 14 de septiembre de 1994
El DIRECTOR

M. en C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p M en I Daniel Velázquez Vázquez, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Amílcar Galindo Solórzano, Asesor de Tesis.

CONSIDERAR:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

RAMON GUSTAVO CRUZ HERNANDEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 12 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. AMILCAR GALINDO SOLÓRZANO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 14 de septiembre de 1994
EL DIRECTOR

M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p M en I Daniel Velázquez Vázquez, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Amilcar Galindo Solórzano, Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'IIa.

**CONCRETOS
DE ALTA
RESISTENCIA**

CONTENIDO:

Pag.

I	INTRODUCCION.....	1
II	GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO.....	3
III	RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	27
IV	CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.....	39
V	FACTIBILIDAD DE PRODUCIR CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EN EL DISTRITO FEDERAL.....	55
VI	CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO.....	64
VII	CONCLUSIONES.....	78
	BIBLIOGRAFIA.....	80

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres:

Por toda la dedicación y el gran apoyo que me han brindado durante toda mi carrera de estudiante, por la motivación que me infundían para seguir adelante y no dejarme caer por algunos tropiezos que tuve, por el esfuerzo que pusieron para sacarme adelante y poder llegar hasta el punto donde me encuentro, por esto y por muchas cosas más, con todo mi cariño, ternura y amor gracias.

Señores: Angel Gustavo Cruz Audelo

Rufina Adalbertha Hernández Suárez

A mi hermana:

Por el apoyo y el interes en ayudarme para salir adelante gracias.

Blanca Cruz Hernández

A mi familia:

A la familia Cruz y a la familia Hernández mi grato agradecimiento.

A mi abuela:

Francisca Audelo Vazquez.

Gracias por tu cariño y apoyo donde te encuentres a tu recuerdo.

A mis amigos:

A todos aquellos que estuvieron junto a mí durante cada uno de mis ciclos escolares, a todos mis amigos en general, pero muy en especial a los "Poskos" grandes amigos que con su apoyo y ayuda logre algo muy importante en mi vida, que es llegar a ser un profesionista, a todos muchas gracias.

A mis profesores:

A todos mis profesores que me han proporcionado un poco de sabiduría y experiencia por medio de su enseñanza les agradezco infinitamente, pero muy en especial al Ing. Amilcar Galindo Solorzano por su inmensa paciencia y gran interés en la realización de este trabajo, gracias.

**C
A
P
I
T
U
L
O
I**

INTRODUCCION

CAPITULO I INTRODUCCION

El concreto definido como una mezcla de agregados pétreos, agua y cemento ha sido empleado en la construcción desde tiempos muy remotos. Los romanos construyeron numerosas obras publicas empleando concreto: pavimentos de caminos, domos de templos, muelles de puertos, etc. Se dice que una de las razones que motivaron la conquista de la actual Inglaterra por parte de Roma fue apoderarse de yacimientos de rocas calizas que podían utilizarse como cementantes en la elaboración de concreto.

Sin embargo, la expansión de la aplicación del concreto a la construcción de obras civiles se inicia a mediados del siglo pasado, después del descubrimiento del acero que permitió el desarrollo del concreto reforzado y posteriormente del presforzado.

En el presente siglo las aplicaciones del concreto se han incrementado exponencialmente gracias al desarrollo de teorías que explican su comportamiento estructural y gracias al desarrollo de la tecnología de materiales que ha permitido que cada vez se elaboren concretos más confiables, más resistentes y más durables.

Mucho se ha avanzado en estos aspectos, pero la dinámica del mundo actual exige cada vez mayores avances. Actualmente se tiene necesidad de construir edificios más altos, puentes más largos, plantas más potentes etc; todo lo cual requiere de concretos cada vez más resistentes.

Para responder a esa demanda han aparecido los llamados "Concretos de Alta Resistencia" que para nuestro medio pueden definirse como aquellos cuya resistencia a 28 días supera los 400 Kg/cm².

Este tipo de concretos es el objetivo principal de esta tesis. En el capítulo segundo, para centrar adecuadamente el tema se exponen los principios generales básicos de la tecnología del concreto hidráulico; en el tercero se hace énfasis sobre el aspecto de resistencia de este material, analizando todos los factores que la definen, ya que de este conocimiento han partido las investigaciones en que se apoya el desarrollo de los concretos de alta resistencia.

En el capítulo cuarto se hace una revisión de los métodos más comunes para producir concretos de alta resistencia y se describen algunas aplicaciones de este tipo de concretos realizadas en el extranjero. El capítulo cinco está dedicado a examinar la factibilidad técnica y económica de producir concretos de alta resistencia en el Distrito Federal.

Finalmente, cabe señalar que la preocupación de los investigadores de la construcción en todo el mundo se encamina ahora a producir concretos que no sólo sean más resistentes sino que también sean más durables. A estos concretos se les llama "de Alto Comportamiento".

En el capítulo sexto se describen las actividades de investigación que están en proceso en varios países desarrollados en torno a estos concretos.

El autor presenta sus conclusiones sobre este trabajo en el capítulo séptimo y espera que esta tesis resulte de utilidad para los interesados en el campo de la tecnología del concreto.

**C
A
P
I
T
U
L
O
I
I**

**GENERALIDADES
SOBRE EL
CONCRETO**

CAPITULO II GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO

Definición del concreto

Podemos definir al concreto como un todo compacto en el cual intervienen distintos tipos de elementos, como son agregados pétreos, elementos aglutinantes y cementantes, cada uno de estos con características diferentes de las cuales se hablará en función de su importancia y de la función que desempeñan en el concreto.

Cemento Portland

Un cemento es en general un material con propiedades adhesivas y cohesivas, que le dan capacidad para aglutinar fragmentos minerales formando un todo compacto. Dentro de esta definición queda comprendida una gran variedad de materiales de cementación.

Refiriéndose a la construcción el término cemento se aplica a materiales aglutinantes de piedras, arenas, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales materiales cementantes de este tipo son los compuestos de cal, de modo que en la construcción se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación del concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud que experimentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos.

Los cementos hidráulicos se componen principalmente de silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse, en general, como cementos naturales, cemento portland y cementos aluminosos.

Nota histórica

El uso de materiales de cementación es muy antiguo. Los egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro. Los griegos y los romanos empleaban caliza calcinada y, posteriormente, aprendieron a mezclar con el agua arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas. Este es el primer concreto en la historia. Un mortero de cal no endurece con el agua, y para la construcción con agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada, finamente trituradas.

La sílice activa y la alúmina que se encuentra en la ceniza y las tejas se combinaban con la cal para producir lo que fue conocido como cemento puzolánico, proveniente de Pozzuoli, cerca del Vesubio. Algunas de las estructuras romanas en las cuales la mampostería se unía con morteros, tales como el coliseo de Roma y el "Pont du Gard", cerca de Nimes, han sobrevivido hasta esta época, gracias a su material de cementación aún duro y firme.

En la edad media hubo una disminución general en la calidad y el uso del cemento, y solamente en el siglo XVIII se encuentra un adelanto en el conocimiento de los cementos. En 1756, John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddyston, en la costa de Cornwall, y encontró que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba puzolana con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. Al conocer el papel de la arcilla que hasta entonces se consideraba indeseable, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica.

Posteriormente, se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el cemento romano que obtuvo Joseph Parket por calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que vinieron a culminar en la patente de cemento portland, efectuada en 1824 por Joseph Aspdin, constructor de Leeds. El cemento se prepara calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno hasta eliminar el CO₂, a una temperatura mucho más baja que la necesaria para la formación del clinker. El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación del clinker, con lo cual produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto fuertemente cementante.

El nombre del cemento portland le fue atribuido a este material por la semejanza en color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de portland, una caliza obtenida en una cantera de Dorset.

Fabricación del cemento portland

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en una cierta proporción y calcinarla en un horno rotatorio de una gran dimensión, a una temperatura de 1300 a 1400 grados centígrados, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clinker. El clinker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino; a continuación, se adiciona un poco de yeso y el producto resultante es el cemento portland que tanto se usa en el mundo. Algo muy importante es que ningún otro material, fuera del yeso y del agua, debe ser agregado después de la calcinación.

Dentro de la fabricación del cemento, existen dos procesos: el húmedo y el seco. El método a seguir depende, de la naturaleza de las materias primas usadas.

Composición química del cemento portland

Se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento:

Nombre:	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SoO}_2$	C3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SoO}_2$	C2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF

Además de estos compuestos principales, existen algunos compuestos menores como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O y Na_2O , que generalmente representan un porcentaje pequeño del peso del cemento.

Hidratación del cemento.

Los compuestos de los diferentes tipos del cemento pueden reaccionar con el agua de dos formas distintas. En la primera, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, lo que constituye una reacción de hidratación real. El segundo tipo de reacción con el agua es la hidrólisis. Sin embargo, por comodidad y costumbre se aplica el término de hidratación a todas las reacciones del agua con el cemento.

Fraguado

Este término se utiliza para describir la rigidez de la pasta del cemento. Hablando en forma aproximada, el fraguado se refiere a un cambio de un estado fluido a un estado rígido. Es importante distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada, en tanto el fraguado se refiere a un cambio de un estado fluido a uno rígido.

Resistencia del cemento

La resistencia mecánica del cemento endurecido, es la propiedad del material que resulta la más útil para usos estructurales. La resistencia de un cemento o de un mortero depende de la cohesión de la pasta y de la adhesión a las partículas de los agregados, y finalmente de la resistencia de los agregados mismos.

Diferentes tipos de cemento

Se han descrito ya las principales propiedades del cemento portland y se han mencionado cementos que difieren en su composición química y características físicas, los que pueden demostrar diferentes propiedades cuando se hidratan.

Por tal efecto, se ofrecen comercialmente varios tipos de cemento portland y existen además cementos portland especiales para usos específicos y cementos que no son portland, como el cemento aluminoso y otros.

A continuación describiremos los diferentes tipos de cementos y sus características:

Cemento portland ordinario

Hasta donde se sabe, es el cemento más común. El cemento portland ordinario, que se denomina también como tipo I, es el apropiado para construcciones de concreto en general, no expuestas a sulfatos del suelo o al agua frías.

Cemento portland de endurecimiento rápido

Este cemento es semejante al cemento portland ordinario. El cemento portland de endurecimiento rápido o tipo III, como su nombre lo indica, desarrolla una resistencia más rápidamente, por lo tanto, se debería denominar como un cemento de alta resistencia a edad temprana. La rapidez de endurecimiento no debe confundirse con la rapidez de fraguado; de hecho los dos cementos tienen un tiempo de fraguado parecido.

La resistencia adquirida por este cemento a los tres días es del mismo orden que la resistencia a los siete días en un cemento portland ordinario, con la misma relación agua/cemento.

La rapidez de endurecimiento y adquisición de resistencia, se debe al contenido más alto de silicato tricálcico y al molido más fino del clinker del cemento.

Cementos portland especiales de endurecimiento rápido

Existen varios cementos de fabricación especial con propiedades de endurecimiento particularmente rápido. Uno de ellos, se conoce como cemento portland de endurecimiento extrarrápido, y se obtiene agregando cloruro de calcio durante el molido del cemento portland de endurecimiento rápido. La cantidad de cloruro de calcio no debe exceder del 2% ya que el cloruro de calcio es delicado, por tal motivo es importante almacenar el cemento en un ambiente seco, y debe usarse antes de un mes, tomando en cuenta su salida de la fábrica de cemento.

Este tipo de cemento es adecuado para usarse en climas fríos, o cuando se necesite una resistencia temprana muy elevada. Haciendo una comparación entre el cemento de endurecimiento rápido y el cemento de endurecimiento extrarrápido, se tiene que, la resistencia de este último es alrededor de 25% más alta que la del primero a uno o dos días, y de 10 a 20% a los siete días.

El tiempo de fraguado en el cemento de endurecimiento extrarrápido es corto, dependiendo de la temperatura, pudiendo ser de sólo 5 a 30 minutos, por lo tanto, la colocación rápida de éste resulta esencial.

Cemento portland de bajo calor

La elevación de la temperatura de una masa grande de concreto, debido al calor desarrollado por la hidratación del cemento, provoca agrietamientos graves. Por esta razón, es necesario limitar la acumulación del calor, con un cemento que pueda disipar el calor en mayor proporción, la cual resulta en una elevación menor de la temperatura. Este cemento portland de bajo calor se utiliza en la construcción de presas y otras obras marítimas y se conoce como cemento tipo IV.

Cemento modificado

El cemento modificado combina adecuadamente una proporción mayor de desarrollo de calor que aquella del cemento de bajo calor, con un aumento de resistencia similar a la del cemento portland ordinario. Este cemento modificado es recomendable para estructuras donde se desea un calor de hidratación moderadamente bajo, o cuando se temen ataques de sulfatos, y se conoce como cemento tipo II.

Cemento resistente a los sulfatos

El ataque de los sulfatos es uno de los problemas más graves para el ingeniero civil, ya que degradan las estructuras de concreto por las reacciones con las sales y los componentes químicos que existen en el cemento. El ataque de los sulfatos se acelera si va acompañado por estados alternantes mojados y secos, como por ejemplo en una estructura marina situada en la zona de mareas. El remedio consiste en usar cemento con bajo contenido de aluminato tricálcico. Este cemento se conoce como cemento portland resistente a los sulfatos o tipo V.

Cemento portland de escoria de alto horno

Este cemento es el producto de moler juntos clinker de cemento y escorias de alto horno sin que la proporción de esta última exceda del 65% del peso de la mezcla. La escoria de alto horno es el producto de desecho de la fabricación de hierro en lingotes. La escoria de alto horno es una mezcla de cal, sílice y aluminio, o sea, los mismos óxidos que constituyen el cemento portland, pero en diferentes proporciones.

El cemento portland de escoria de alto horno es bastante parecido al cemento portland ordinario, de hecho la finura, tiempo de fraguado y el cambio de volumen son iguales para ambos cementos.

Cemento sobre sulfatado

Como se ha mencionado al principio, existen cementos diferentes al cemento portland. Tal es el caso del cemento sobre-sulfatado.

La fabricación del cemento sobre-sulfatado sigue este procedimiento; Se combina una mezcla del 80 al 85% de escoria de hierro granulado con un 10 a 15% de sulfato de calcio (en forma de yeso totalmente calcinado) y un 5% de escoria de cemento portland. Este cemento es muy resistente al agua de mar y puede soportar mayores concentraciones de sulfato a las que normalmente se encuentran en el agua fríasica y es, además, resistente a ácidos y aceites turbosos. Este cemento por sus características es usado en la construcción del alcantarillas y suelos contaminados.

Cemento portland puzolanico y puzolanas

Se otorga este nombre a las mezclas de cemento portland y puzolanas. La puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice activo. Una definición más formal de la ASTM, describe a la puzolana como un material silicoso o sílico aluminoso, con poco o nulo valor cementante, pero que en presencia de la humedad reacciona con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar un compuesto con propiedades cementantes.

No se puede enunciar una declaración general sobre los cementos puzolana, ya que su resistencia se basa en la actividad de la puzolana y en la proporción del cemento portland. Los cementos portland puzolana adquieren su resistencia con mucha lentitud, por lo tanto, necesitan un período de curado mayor, pero su resistencia final es similar a la resistencia del cemento portland ordinario.

Cemento blanco

Este cemento se usa con fines arquitectónicos en acabados, en regiones tropicales. Tiene la ventaja de no originar manchas, debido a su bajo contenido de álcalis solubles.

Por estas razones y algunas implicadas dentro de su fabricación el cemento portland blanco es caro, casi el doble del cemento portland ordinario. La resistencia del cemento portland blanco suele ser menor que la del cemento portland ordinario.

Cemento aluminoso

Las técnicas de fabricación del cemento aluminoso son similares a las de los cementos portland, pero cambian totalmente en su composición y en algunas propiedades. El nombre de éste cemento se desprende por que tiene una gran proporción de aluminio, de hecho consta de partes iguales de aluminio y cal (40% cada uno), con aproximadamente 8% de sílice y algunos óxidos ferrosos y férricos. Las materias primas son caliza y bauxita.

Aditivos

Dentro del medio de la construcción nos encontramos con problemas en los cuales se requiere el uso de cementos especiales, en los que se modifican algunas propiedades del cemento común por medio de aditivos. Existe un gran número de aditivos; sus propiedades las describen ampliamente sus productores, pero se debe tener cuidado en verificar su funcionamiento, con anticipación.

Sólo describiremos; aditivos acelerantes, aditivos retardantes y aditivos reductores de agua.

a) Aditivos acelerantes

Cloruro de calcio: la adición a la mezcla de cloruro de calcio, acelera el desarrollo de la resistencia, por lo tanto, este cemento es conveniente usarlo al colocar concreto a baja temperatura entre 2 o 4 grados centígrados o en trabajos donde se requieran reparaciones urgentes.

b) Aditivos retardantes

Este aditivo se emplea para demorar el fraguado de la mezcla. Los retardantes son útiles para la colocación de concreto en lugares cálidos donde el tiempo normal de fraguado es muy rápido por las altas temperaturas.

c) Aditivos reductores de agua

La función principal de estos aditivos como su nombre lo indica, es la reducción de agua, lo que es factible por algunas reacciones del aditivo con el cemento.

Propiedades de los agregados

Revisten considerable importancia los agregados dentro de un concreto, ya que ocupan por lo menos, tres cuartas partes del volumen de la mezcla. Estos definen la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no produce un concreto resistente, y afectan la durabilidad y el comportamiento estructural.

Originalmente el agregado se consideraba un material inerte dentro de la pasta de concreto, y la razón de su uso era la economía. Pero adoptando un punto de vista contrario, podemos considerar al agregado como un material de construcción que se une a un todo cohesivo por medio del cemento. De hecho el agregado no es inerte, ya que sus propiedades influyen en el comportamiento del concreto.

Clasificación general del agregado

El tamaño de los agregados que se usa para la elaboración del concreto varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros. La distribución del tamaño de las partículas se llama granulometría. En la fabricación de un concreto de baja calidad se usan agregados de diferentes tamaños, a esto se le llama agregado de tamaño indiscriminado. Para obtener un concreto de buena calidad deben usarse agregados de dos grupos de tamaño. El agregado fino, que comúnmente se llama arena, cuyo tamaño no exceda de 5mm y el agregado grueso que no sea menor de 5mm.

Adherencia del agregado

Es muy importante la adherencia del agregado a la pasta del cemento para lograr una buena resistencia del concreto, especialmente a flexión. La adherencia se describe como la trabazón entre el agregado y la pasta de cemento, y se debe a la aspereza del primero.

Resistencia del agregado

La resistencia inadecuada del agregado influye directamente en la resistencia del concreto, no sólo por la resistencia mecánica del agregado, sino también, considerablemente por sus características de absorción y adherencia.

Otras propiedades mecánicas del agregado

Hay otras propiedades mecánicas del agregado que revisten interés, especialmente cuando el agregado va a usarse en construcción de carreteras o se va a someter a mucho desgaste.

La tenacidad es la primera propiedad, que puede definirse como la resistencia del agregado a la falla por impacto.

La dureza, o resistencia al desgaste por abrasión, es una propiedad importante del concreto que se emplea en superficies sometidas a mucho tráfico.

Densidad

Para definir la densidad, se tiene que tener cuidado ya que este término tiene varias acepciones.

La densidad absoluta: Se refiere al volumen de material sólido excluyendo a los poros.

La densidad aparente: El volumen del cuerpo sólido se mide incluyendo los poros impermeables, pero no los capilares.

La densidad de la mayoría de los agregados naturales varía entre 2.6 y 2.7.

Porosidad y absorción del agregado

La porosidad del agregado, su permeabilidad y absorción tienen influencia en la adherencia del agregado al cemento, la resistencia del concreto al congelamiento y al deshielo, la estabilidad química y la resistencia a la abrasión.

Sustancias perjudiciales en el agregado

Existen tres tipos de sustancias perjudiciales en el agregado:

Impurezas: Interfieren en el proceso de hidratación del cemento.

Recubrimientos: No permiten una buena adherencia entre el agregado y la pasta del cemento.

Otras: Producen debilidad o inestabilidad

Un agregado puede ser total o parcialmente dañino, debido a las reacciones químicas entre el agregado y la pasta del cemento.

Sanidad del agregado

Se define como la capacidad que tiene un agregado para resistir cambios de volumen como consecuencia de los cambios en las condiciones físicas. Las causas físicas de cambios de volumen se deben principalmente a las variaciones del tiempo, puede ser por un congelamiento o deshielo o por cambios de temperatura.

Relación sílice-álcali

Durante muchos años se han observado algunas reacciones químicas nocivas entre el agregado y la pasta de cemento a su alrededor. La reacción más común es la que se produce entre los constituyentes activos de sílice del agregado y los álcalis del cemento.

Propiedades térmicas del agregado

Podemos hablar de las tres propiedades térmicas del agregado que son importantes en el concreto:

El coeficiente de expansión térmica

El calor específico

La conductividad térmica

Las dos últimas revisten mayor importancia para el concreto masivo o cuando se requiere de aislamiento, pero no en el trabajo estructural ordinario.

Análisis granulométrico

Es una sencilla operación de dividir una muestra de agregado en fracciones, cada una compuesta de partículas del mismo tamaño. En la práctica, cada fracción contiene partículas de distintos tamaños dentro de límites específicos, los cuales consisten en apertura de los tamices experimentales estándar.

Los resultados obtenidos de un análisis de tamiz se pueden comprender con mayor facilidad si se representan gráficamente, y es por esta razón que se usan mucho las gráficas o curvas de granulometría. En estas gráficas se puede observar si la granulometría de una muestra es adecuada para utilizarse en una especificación dada.

En una gráfica de granulometría, la ordenada representa el porcentaje acumulado en el tamiz, y la abscisa la abertura del tamiz, en escala logarítmica.

Concreto fresco

El grado de compactación es un factor muy importante para la resistencia del concreto en una mezcla de proporciones dadas: es vital, por lo tanto, que la resistencia de la mezcla permita transportar, colocar, y terminar el concreto con suficiente facilidad sin que se segregue.

Dentro de los elementos que intervienen en una mezcla uno de los más importantes es el agua, ya que este elemento debe tener buenas características, como son; tiene que ser potable y libre de impurezas. Estas características acarrear como resultado una mezcla sana.

Definición de trabajabilidad

No se puede establecer que la trabajabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación, por que sería dar una descripción demasiado vaga de esta vital propiedad del concreto. Se puede definir generalmente como una propiedad física del concreto, sin referencia a las circunstancias de un tipo particular de construcción.

Dentro de la definición anteriormente dada, es necesario considerar lo que sucede cuando se compacta el concreto.

Dentro de lo dicho anteriormente se ha mencionado únicamente a la trabajabilidad como una propiedad del concreto fresco, sin embargo es importante en el producto terminado, pues de esta propiedad depende que la compactación a máxima densidad sea posible con una cantidad moderada de trabajo.

Es importante efectuar la compactación, ya que es manifiesta la relación entre el grado de compactación y la resistencia resultante.

A la relación entre la resistencia del concreto en su grado real de compactación y la resistencia de la misma mezcla totalmente compactada, se le llama relación de resistencias. La presencia de vacíos reduce la resistencia del concreto. Un 5% de vacíos puede reducir la resistencia en más de 30% y aún el 2% de vacíos puede reducirla en más del 10%.

Factores que afectan la trabajabilidad

Uno de los principales factores que afecta la trabajabilidad es el contenido de agua dentro de la mezcla que se expresa en Kg de agua por metro cúbico de concreto, podríamos agregar que el tipo de agregado y la granulometría son también factores que perjudican la trabajabilidad.

Medición de trabajabilidad

Muchas ocasiones se ha querido medir la trabajabilidad directamente, desafortunadamente no se ha encontrado alguna medida física fácil de determinar, aunque existen formas de medición que pueden suministrar información dentro de la variación de la trabajabilidad.

A continuación describiremos algunas pruebas por medio de las cuales se miden las características del concreto que influyen en la satisfacción de las diferentes necesidades que cada construcción requiere.

Prueba de revenimiento

Esta prueba se usa ampliamente en todo el mundo. Esta prueba no mide la trabajabilidad del concreto, pero detecta variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas.

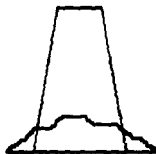
Dentro de esta prueba se consideran tres tipos de revenimiento, los cuales se denominan como sigue:



Normal



Por corte



Desplomado

Prueba del grado de compactación

El grado de compactación, se mide mediante la relación de peso específico, es decir el cociente del peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

Prueba de fluidez

Es una prueba de laboratorio que nos indica la consistencia del concreto y su tendencia a la segregación, midiendo la dispersión de un pequeño volumen de concreto sujeto a sacudidas. Esta prueba es muy valiosa para el estudio de la segregación, pero también nos demuestra la consistencia de mezclas rígidas, ricas y mas bien cohesivas.

Se debe de hacer notar que la prueba de fluidez no mide la trabajabilidad, pues dos concretos con una misma fluidez, pueden diferir considerablemente en su trabajabilidad.

Prueba de remoldeo

Esta prueba nos sirve para evaluar la trabajabilidad del concreto, mediante la evaluación del esfuerzo que se debe realizar para cambiar la forma de una muestra de concreto.

La prueba de remoldeo es exclusivamente de laboratorio, pero resulta muy importante, ya que el esfuerzo de remoldeo parece estar estrechamente relacionado con la trabajabilidad.

Segregación

La segregación se puede definir como la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea, de modo que la distribución deje de ser uniforme. En el caso del concreto, la diferencia del tamaño de sus partículas y la densidad de los constituyentes de la mezcla son las principales causas de la segregación, pero esto se puede controlar por medio de una granulometría adecuada y mayor cuidado en el manejo.

Existen dos formas de segregación

En la primera se desprenden las partículas mayores, ya que en el desplazamiento de la mezcla por alguna pendiente usualmente se asientan más que las partículas finas.

La segunda forma de segregación, se manifiesta en las mezclas húmedas por la separación de la lechada (cemento y agua) de la mezcla. La segregación depende mucho del método de manejo y colocación del concreto. Si se evita que el concreto viaje mucho y se vacía directamente de la carretilla a la cimbra, el peligro de segregación es menor.

Sangrado

Cuando una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie de un concreto recién colado, ocurre el fenómeno llamado sangrado, el que también es una forma de segregación. El sangrado se debe a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan, por lo que también a esto se le considera un caso especial de cementación.

No siempre es dañino el sangrado, si no se hace nada y el agua se evapora, se reducirá la relación efectiva agua/cemento, lo cual producirá un aumento de resistencia.

La tendencia al sangrado depende en gran parte a las propiedades del cemento. El sangrado disminuye al incrementarse la finura del cemento.

Mezclado del concreto

El mezclado del concreto a mano es caro por el alto costo de la mano de obra, por ello no es sorprendente que se usen mezcladoras mecánicas desde hace muchos años.

El objeto del mezclado de los materiales es cubrir los agregados con pasta de cemento y hacer uniforme la masa del concreto.

Para esto se han inventado diferentes tipos de mezclado en los que se encuentran los diversos tipos de mezcladoras que nos sirven para poder agilizar el mezclado en obra. Lo más indispensable y esencial en una mezcladora es que se tenga dentro de su cámara un intercambio suficiente de materiales, con el fin de tener una uniformidad en la mezcla.

Otro de los aspectos que se toma en cuenta para usar algún tipo de mezcladora, es el tiempo de mezclado ya que es importante saber cuál es el tiempo mínimo para poder producir un concreto uniforme y como resultado obtener una resistencia satisfactoria.

Vibrado de concreto

El proceso de compactación es utilizado para la eliminación de aire que se encuentre atrapado en el concreto. Antiguamente se apisonaba el concreto fresco para forzar a las partículas a un acomodo estrecho. El método más moderno es el vibrado, que permite separar momentáneamente las partículas para que puedan acomodarse en una masa compacta.

Revibrado

Se acostumbra vibrar el concreto inmediatamente después de su colocación, sin embargo, para asegurar una mejor unión entre capas de colado la parte superior de la capa inferior debe de ser revibrada, siempre y cuando la capa inferior pueda alcanzar su estado plástico, de esta forma se eliminan grietas de asentamiento y efectos internos de sangrado.

De la exitosa aplicación del vibrado surge la aplicación general del revibrado. En base a resultados experimentales, se ha comprobado que el concreto se puede revibrar después de cuatro horas del tiempo de mezclado. Sin embargo se ha encontrado que el revibrado una o dos horas después de la colocación acarrea un aumento en la resistencia a la compresión.

Dentro del estudio del concreto uno de los aspectos más importantes es la resistencia, por lo tanto se tratarán en el siguiente capítulo las propiedades que la determinan.

**C
A
P
I
T
U
L
O
I
I
I**

**RESISTENCIA
DEL CONCRETO**

CAPITULO III FACTORES QUE DETERMINAN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Resistencia del concreto

La resistencia del concreto se considera generalmente como la propiedad más interesante, a pesar de que en algunos casos la durabilidad o la impermeabilidad pueden resultar más importantes. Pero podemos observar, que la resistencia ofrece un índice general de la calidad del concreto, porque está estrechamente relacionada con la estructura de la pasta de gel endurecido.

La relación agua/cemento

En la práctica de la ingeniería, se supone que la resistencia que adquiere el concreto a cierta edad, con un curado a una temperatura prescrita, depende principalmente de 2 factores, la relación agua/cemento y el grado de compactación. Se ha establecido claramente la influencia que tienen los huecos de aire sobre la resistencia que adquiere el concreto. En la práctica se dice que el concreto endurecido contiene alrededor del uno por ciento de huecos de aire.

Cuando el concreto esta totalmente compactado, se considera que su resistencia es inversamente proporcional a la relación agua/cemento, de acuerdo a la ley establecida por Duff Abrams en 1919, quien propuso como valor de la resistencia:

$$S = \frac{K_1}{K_2 \cdot a/c}$$

donde: a/c Es la relación agua/cemento de la mezcla.

(que originalmente se expresa en volumen)

y, K_1, K_2 Son constantes empíricas

Una curva típica de la resistencia en función de la relación agua/cemento es la siguiente:

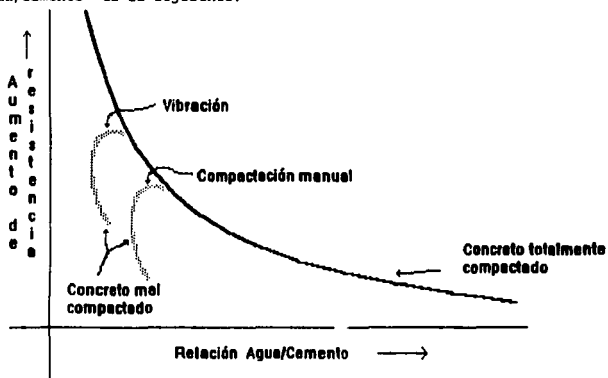


Fig. 3.1

Dentro de la relación agua/cemento es muy importante mencionar que la ley de Abrams fue desarrollada independientemente, pero es un caso especial de la regla formulada por Perret en 1896:

$$S = K \left[\frac{c}{c + a + b} \right]^2$$

donde:

- S Es la resistencia del concreto
- c, e, a Son volúmenes absolutos del cemento, agua y aire respectivamente
- K Constante

De ahí que tanto la relación agua/cemento como el grado de compactación, afecten el volumen de huecos del concreto, y por esto el volumen de aire en el concreto se incluye en la expresión de Feret.

La relación entre la resistencia y el volumen total de huecos no es una propiedad exclusiva del concreto, pues se encuentra también en otros materiales frágiles donde el agua forma poros; por ejemplo, la resistencia del yeso esta en función directa con el contenido de huecos. Pero si la resistencia de materiales diferentes se expresa como fracción de la resistencia a una porosidad cero, veremos que una amplia gama de materiales se comportan con la misma relación entre la resistencia relativa y la porosidad. En este comportamiento general resulta interesante el papel que desempeñan los huecos en la resistencia del concreto. En sentido estricto, la resistencia del concreto probablemente esta influida por el volumen de todos los huecos del concreto: aire atrapado, poros capilares, poros de gel y aire incluido, si lo hay.

En la fig. 3.1 se muestra que el intervalo de validez en la regla de la relación agua/cemento esta limitada. En el extremo más bajo de la escala, la curva se interrumpe cuando la compactación total ya no es posible; la posición real del punto de partida depende del medio de compactación que se use. Parece que, además, las mezclas con una relación agua/cemento muy baja y un contenido de cemento muy alto (480 a 520 kg/m³) exhibe un retroceso de resistencia, particularmente cuando se usa agregado de gran tamaño. Por lo tanto a edades posteriores, con este tipo de mezclas, una relación agua/cemento menor no conducirá a una resistencia superior.

Este comportamiento puede deberse a los esfuerzos inducidos por la contracción, que al ser obstruida por las partículas del agregado, causa el agrietamiento de la pasta de cemento o una pérdida de adherencia entre el cemento y el agregado.

De vez en cuando la regla de la relación agua/cemento se ha criticado por no tener suficiente carácter fundamental. No obstante en la práctica la relación agua/cemento es el factor individual más importante en la resistencia del concreto totalmente compactado.

Para un cemento dado y agregados aceptables, la resistencia puede desarrollarse por medio de una mezcla trabajable y bien colocada de cemento, agregado y agua (en las mismas condiciones de mezclado, curado y prueba). Esta resistencia depende de:

- (a) La relación del cemento al agua de mezclado
- (b) La relación del cemento al agregado
- (c) La granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez de las partículas del agregado.
- (d) El tamaño máximo del agregado.

Podemos hacer mención que los factores (b), (c) y (d), son menos importantes que el factor (a), sin embargo, no dejan de estar presentes.

La resistencia del concreto resulta de;

- 1) La resistencia del mortero
- 2) La adherencia entre el mortero y el agregado grueso
- 3) La resistencia de las partículas del agregado grueso, es decir, su capacidad para resistir los esfuerzos aplicados.

Relación gel/espacio

Como se había mencionado anteriormente la relación agua/cemento no constituye una ley sobre la resistencia del concreto, pues no contiene mucho fundamento para su validez. En particular la resistencia de cualquier relación agua/cemento depende del grado de hidratación del cemento y de sus propiedades físicas y químicas; la temperatura a la cual tiene lugar la hidratación; el contenido de aire en el concreto; y también, el cambio en la relación agua/cemento efectiva y la formación de fisuras debido al sangrado.

Es más correcto, por lo tanto, relacionar la resistencia con la concentración de productos sólidos de la hidratación del cemento en el espacio disponible para esos productos; también se determina la relación entre el desarrollo de la resistencia y la relación gel/espacio, que se define como la relación del volumen de la pasta de cemento hidratado a la suma de los volúmenes del cemento hidratado y de los poros capilares, se hace notar también que el cemento hidratado ocupa más del doble de su volumen original.

Agua efectiva en la mezcla

Para una definición referente al agua efectiva que interviene en la mezcla, tenemos que hablar cuidadosamente de ella. Consideramos efectiva el agua que ocupa espacio fuera de las partículas del agregado, cuando el volumen grueso del concreto se vuelve estable, aproximadamente en el momento del fraguado. Y a estos se deben los términos relación agua efectiva/cemento.

Generalmente el agua del concreto es la suma del agua añadida a la mezcla y el agua contenida en el agregado en el momento en que se va a mezclar. La segunda clase de agua esta absorbida en la estructura porosa del agregado, y en parte se encuentra como agua libre del agregado y, por lo tanto, ésta es igual a la que se añade antes del mezclado. Inversamente, cuando el agregado no esta saturado, y algunos de sus poros están llenos de aire, una parte del agua añadida a la mezcla será absorbida por el agregado durante la primera media hora después del mezclado.

Microgrietamientos

En investigaciones recientes, se ha mostrado que existen grietas muy finas en la superficie de contacto del agregado grueso y la pasta de cemento, de hecho antes de aplicar cargas al concreto. Estas grietas permanecen estables hasta un 30% o más de la carga final, y después comienzan a crecer en longitud, anchura y número. El esfuerzo total bajo el que se desarrollan es sensible a la relación agua/cemento de la pasta. Esta es la etapa de propagación lenta de las grietas. A 70 o 90% del esfuerzo final las grietas se abren a través del mortero y conectan las grietas de adherencia, de manera que se forma una configuración continua de grietas.

Influencia del agregado grueso sobre la resistencia

El agrietamiento vertical en una muestra sometida a compresión uniaxial se inicia bajo una carga entre el 50 y 75% de la carga final. Esto se ha determinado apartir de mediciones de la velocidad del sonido transmitido a través del concreto. El esfuerzo bajo el cual se forman las grietas depende ampliamente de las propiedades del agregado grueso: la grava lisa conduce al agrietamiento a menor esfuerzo que la roca triturada y áspera y angular, probablemente por que la adherencia mecánica se ve influida por las propiedades de la superficie, y en cierto grado por la forma del agregado grueso.

Por lo tanto, las propiedades del agregado afectan el agrietamiento en la misma forma, en contraste con los efectos de la carga última en compresión y la resistencia a la flexión en la misma forma, por lo que la reacción entre las dos cantidades es independiente del tipo del agregado usado.

Influencia de la riqueza de la mezcla sobre la resistencia

Se ha mencionado anteriormente que el comportamiento anormal de las mezclas extremadamente ricas se afecta por la relación agua/cemento, sin embargo la relación agregado/cemento afecta la resistencia de todos los concretos de altas y medianas resistencias pero hay que aclarar que esta relación es solamente secundaria en la resistencia del concreto.

La influencia de una mezcla rica y una mezcla pobre sobre la resistencia del concreto, depende de los factores que nos sirven para la elaboración de cada una de las mezclas ya mencionadas.

Efectos de la edad sobre la resistencia del concreto

La aplicación de la regla entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto se aplica únicamente a un tipo de cemento y a una sola edad. Por otra parte la relación entre la resistencia y la relación espacio/gel tiene una aplicación más general, porque la cantidad de gel en la pasta de cemento en cualquier instante, es en sí, función de la edad y del tipo de cemento.

El grado de aumento en las resistencias del concreto reviste también interés en relación con las pruebas de compresión. Se ha comprobado que mezclas con relación agua/cemento baja aumentan su resistencia, expresada como porcentaje de la resistencia a largo plazo, más rápidamente que mezclas con una relación agua/cemento mayor.

Restablecimiento autógeno

Si se deja que las grietas finas en un concreto fracturado se cierren sin desplazamiento tangencial, se restablecerán completamente bajo condiciones de humedad. A esto se le llama restablecimiento autógeno y se debe probablemente a la hidratación del cemento hasta ese momento no hidratado y puede recibir ayuda de carbonatación. Mientras más joven sea el concreto, es decir, mientras más deshidratado esté el cemento que contenga, más alto será el nuevo aumento de resistencia, pero se han observado restablecimientos sin pérdidas de resistencia a edades mayores de los tres años.

Relación entre las resistencias a la compresión y a la tensión.

Del estudio de las resistencias a la compresión y a la tensión de muestras de prueba podría deducirse que ambos tipos de resistencia están estrechamente relacionados. Por supuesto esto es cierto, pero no hay proporcionalidad y la relación depende del nivel general de resistencia del concreto. Dicho de otra forma, al aumentar la resistencia de la compresión la resistencia a la tensión, aumenta también pero cada vez en grado menor.

Adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo

Reviste considerable interés la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, ya que en la mayoría de los casos son usados conjuntamente estos dos materiales. La adherencia se produce principalmente por fricción y la adhesión al concreto del acero y puede verse afectada por la contracción del concreto en relación con el acero. La adherencia no sólo tiene que ver con las propiedades del concreto, sino también con las propiedades mecánicas del acero y la posición que ocupe en el miembro de concreto.

Curado del concreto

Con el fin de obtener un buen concreto, la colocación de la mezcla apropiada debe de ir seguida de un curado en un ambiente adecuado durante las etapas tempranas de endurecimiento. Curado es el nombre que se da a los procesos para promover la hidratación del cemento, y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de humedad hacia dentro y fuera del concreto.

El objeto del curado es mantener el concreto saturado o tan saturado como sea posible, hasta que el espacio de la pasta fresca de cemento que originalmente estaba lleno de agua, se llene al tamaño deseado con los productos de la hidratación del cemento.

Influencia de la temperatura sobre la resistencia del concreto

Hemos visto que una elevación en la temperatura del curado acelera las reacciones químicas de la hidratación, y esto beneficia la resistencia temprana del concreto sin efectos contrarios en la resistencia posterior. Sin embargo, una temperatura muy alta durante la colocación y el fraguado, aunque incrementa la resistencia a muy temprana edad puede afectar contrariamente la resistencia a partir de los siete días aproximadamente. La explicación es que una rápida hidratación, produce una estructura más porosa, por lo que una proporción mayor de poros se mantendrá siempre sin llenar.

Variación en la resistencia del cemento

Hasta este momento no hemos considerado la resistencia del cemento como una variable en la resistencia del concreto. La variación en resistencia del cemento se debe en gran parte a la falta de uniformidad de las materias primas usadas en sus elaboraciones, no sólo entre diferentes fuentes de abastecimiento, sino dentro de una misma mina o cantera.

La calidad del agua de mezclado

Se ha mencionado la influencia de la cantidad de agua en la mezcla sobre la resistencia del concreto. La calidad del agua tiene su importancia: Las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento, afectan adversamente la resistencia del concreto y provocan la corrosión del acero de refuerzo. Por estas razones debe considerarse la cantidad conveniente de agua en relación con el mezclado y el curado. Debe hacerse distinción entre los efectos del agua de mezclado y el ataque al concreto endurecido por aguas agresivas.

Resistencia a la fatiga del concreto

Hasta el momento, sólo hemos considerado la resistencia del concreto bajo carga estática. En muchas estructuras, se aplican cargas repetidas, y cuando falla el material bajo un cierto número de cargas repetidas, se dice que se produce una falla por fatiga. Tanto el acero como el concreto tiene la posibilidad de fallar por fatiga.

Curado con vapor a presión atmosférica

En vista de que un incremento en la temperatura del curado del concreto incrementa el desarrollo de la resistencia, la ganancia de resistencia puede acelerarse mediante el curado del concreto a vapor. Cuando el vapor esta a la presión atmosférica, es decir, cuando la temperatura esta por debajo de los 100 °C, se considera como un caso especial de curado húmedo. El curado a vapor se ha usado exitosamente con diferentes tipos de cemento portland, pero nunca debe usarse con cemento aluminoso, por los efectos adversos que producen las condiciones del calor húmedo en la resistencia de ese cemento. El concreto con una relación agua/cemento baja responde al curado húmedo mejor que una mezcla pobre.

El principal objeto del curado con vapor es obtener una resistencia de edad temprana suficientemente alta, al poder retirar cimbras más rápidamente y esto significa una ventaja económica.

Curado con vapor a alta presión

Este proceso es diferente al proceso anterior, tanto en el modo de ejecución como en la naturaleza del producto resultante. Se trata de presiones arriba de la atmosférica para las que la cámara de curado tiene que ser del tipo de un recipiente con abastecimiento de vapor húmedo; es necesario un exceso de agua, ya que no se debe permitir que el vapor sobre calentado entre en contacto con el agua.

El curado con vapor de alta presión, en el campo del concreto se aplica usualmente a los productos prefabricados. La resistencia que se alcanza a los 28 días con un curado normal, con el curado a vapor de alta presión se puede alcanzar en 24hs; aumenta su durabilidad y resistencia del concreto a sulfatos y otras formas de ataque químico, así como a la congelación y el deshielo.

Resistencia al impacto

La resistencia al impacto es importante principalmente en el manejo y colocación de piezas prefabricadas, un ejemplo claro es el hincado de pilotes y en cimentaciones de máquinas que ejerzan carga impulsiva.

En el caso de los pilotes, Green propone un criterio principal, que considera la capacidad de una muestra para soportar golpes repetidos y absorber energía. En particular, estudia el número de golpes que el concreto soporta antes de alcanzar la condición de no-rebote, pues esta etapa indica un estado definido de daño.

Las pruebas de impacto, cuando se hacen con un martillo relativamente pequeño (cara 25mm de diámetro), conducen a una mayor dispersión de resultados que la de las pruebas de resistencia a la compresión estática del concreto. Esto se debe a que en la prueba estándar de compresión puede haber un alivio en una zona débil altamente esforzada, debido a la deformación plástica, mientras que en la prueba de impacto no es posible la redistribución de los esfuerzos durante el breve período de deformación.

En general, mientras mayor es la resistencia a la compresión estática del concreto, es menor la energía absorbida por golpe antes del agrietamiento, pero la resistencia al impacto del concreto aumenta con su resistencia a la compresión (y, por lo tanto, con la edad) a una velocidad cada vez mayor.

**C
A
P
I
T
U
L
O
I
V**

**CONCRETOS DE
ALTA RESISTENCIA**

CAPITULO IV CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

Los años 80'S fueron portadoras de desarrollos progresivos en el diseño de mezclas de concreto. Usando agregados seleccionados y cementos combinados, se produjeron mezclas comerciales que iban de 600 a 900 Kg/cm². Simultáneamente, se desarrollaron técnicas de construcción y aditivos para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Actualmente se utilizan concretos de alta resistencia en:

- Muros y columnas de edificios de gran altura
- Pilotes prefabricados de concreto para ser hincados
- Columnas en grandes tribunas para reducir el tamaño y consecuentemente el impacto visual.
- Pavimentos de carreteras para incrementar la resistencia a la abrasión.
- Plataformas petroleras frente a la costa.

Mezcla de concreto

El concreto de alta resistencia se produce incrementando el contenido de cemento y la resistencia de los agregados gruesos. En Australia se han usado exitosamente cementos normal, de bajo calor, ceniza volante combinada y escoria combinada. La adición de escoria de altos hornos granulada molida y de humo de sílice, ayudan a ganar constantemente resistencia a edades mayores (Es decir, a edades mayores de 28 días). El humo de sílice es un subproducto del proceso de fundición utilizado para producir el metal de silicio o aleaciones de ferrocilicio, y la escoria de altos hornos es un subproducto en la producción de acero.

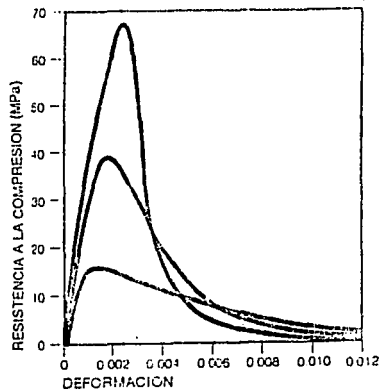


Fig 4.1

La falla del concreto de resistencia normal típicamente esta representada por el agrietamiento de la pasta de cemento y el agregado. Con un incremento en el contenido de cemento, la resistencia de la matriz del cemento se incrementa a una etapa donde la resistencia del agregado llega a formar parte del mecanismo de falla. Aunque no existe una ecuación establecida que relacione la resistencia de la pasta del cemento y del agregado grueso, se prefiere un diseño de la mezcla donde la resistencia del agregado grueso es mayor que el de la pasta del cemento.

Las propiedades deseables del agregado grueso para producir concretos de alta resistencia son:

- La resistencia a la compresión, debe exceder la resistencia media del concreto.

- La variación óptima del tamaño de los agregados gruesos debe ser entre 10mm y 20mm, menos que el especificado para el concreto de resistencia normal.

-La geometría y la forma influyen en la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado, por lo tanto, hay que considerar la piedra triturada de tamaño irregular, además el tamaño y la forma del agregado tienen gran influencia en la trabajabilidad de la mezcla, y la interacción química con la pasta de cemento puede afectar la adherencia.

Estándares

Muchos diseñadores están diseñando elementos de concreto, usando concreto de alta resistencia de manera cautelosa, a pesar de que el estándar para estructuras de concreto AS3600, está limitado a los requerimientos de diseño para concreto con resistencia característica de entre 200 y 500 Kg/cm². Estudios de investigación iniciales en Estados Unidos y Australia, indican que el comportamiento estructural del concreto de resistencia normal y de alta resistencia es similar. Este conocimiento ha sido introducido en la Enmienda N.1 del AS3600, haciendo notar que actualmente se está considerando extender la aplicación de estándar a estructuras en las cuales la resistencia a compresión característica del concreto (f'c) es mayor de 500 Kg/cm². Sin embargo, antes que la extensión pueda incorporarse, datos actuales de investigación indican que es necesario ser más estrictos en algunos requerimientos del estado.

En 1990 la Asociación nacional de concreto premezclado y la Asociación del cemento y de concreto de Australia trabajaron conjuntamente para preparar un manual de concreto de alta resistencia. Esta publicación técnica resume los datos de las investigaciones en Australia sobre las propiedades de los materiales, principios del diseño, prácticas de construcción, y proporciona discusiones y recomendaciones valiosas para los ingenieros en diseño y construcción sobre el uso de concreto de alta resistencia.

Propiedades del diseño

Se han investigado la mayoría de las propiedades de concreto de alta resistencia, y los siguientes comentarios que se enlistan a continuación, indican su comparación con el concreto de resistencia normal:

-La resistencia a la tensión sigue una relación similar a la resistencia a la compresión, al igual que para el concreto de resistencia normal.

-El módulo de elasticidad se incrementa con la resistencia pero llega a ser más dependiente del módulo de resistencia del agregado en las resistencias más altas.

-Típicamente la densidad del concreto es ligeramente más alta que la del concreto de resistencia normal debido al uso de agregados gruesos más fuertes que inevitablemente son más densos.

-La figura de esfuerzo-deformación (ver fig. 4.1) es más pronunciada que para el concreto de resistencia normal y la curva descendente cae abruptamente. La deformación en el esfuerzo último es típicamente de 0.003.

La relación de Poisson es comparable y la relación por fluencia es menor que, las correspondientes al concreto de resistencia normal.

-La resistencia a la abrasión se incrementa con el aumento de la resistencia a la compresión.

-Para elementos sujetos a congelación y deshielo, similares al concreto de resistencia normal, se requiere de aire incluido para lograr la durabilidad.

La baja permeabilidad del concreto de alta resistencia proporciona una excelente protección al refuerzo.

Los resultados de la investigación indican que hay poca diferencia en cuanto a su resistencia normal y el de alta resistencia en cuanto a su resistencia al fuego. Sin embargo, para fuegos muy intensos que pudieran ocurrir en plataformas frente a las costas y en zonas donde hay almacenamiento de material inflamable, las temperaturas podrían incrementar la amplitud del astillamiento del concreto.

Principios de Diseño

El factor más importante que influye en el diseño de los elementos de concreto de alta resistencia es su naturaleza quebradiza inherente tal como se muestra en la figura de la curva esfuerzo-deformación del concreto. (fig. 4.1)

En una columna de concreto, las varillas longitudinales se mantienen en su posición por los anillos laterales muy poco espaciados, por zunchos típicamente rectangulares (o cuadrados) o por espirales circulares. A medida que se incrementa la carga en la columna, el esfuerzo del concreto se aproxima a la resistencia de compresión uniaxial y la deformación transversal (horizontal) del concreto llega a ser tan alta que ocasiona un agrietamiento interno. Durante esta etapa, el concreto se apoya en el refuerzo lateral, el cual, a su vez, aplica una presión de confinamiento en el concreto. Si no hay suficiente refuerzo lateral, entonces la columna puede fallar comportándose de una manera quebradiza.

Tanto para elementos de concreto de resistencia normal como de alta resistencia, la zona de compresión de una sección transversal debe ser adecuadamente confinada utilizando refuerzo lateral. Sin embargo, para el concreto de alta resistencia, el requerimiento mínimo para el refuerzo lateral en el estándar, no se considera satisfactorio para lograr confinamiento en la zona de compresión del concreto para asegurar que la falla sea de una naturaleza dúctil.

Las investigaciones en el extranjero han demostrado que los factores empíricos para la dimensión del bloque de esfuerzo de compresión usado en el diseño de las vigas reforzadas hechas de concreto de resistencia normal son satisfactorias para mezclas de concreto de más alta resistencia. Sin embargo, estas vigas experimentan fallas de naturaleza quebradiza si la zona de compresión del concreto no está adecuadamente confinada.

La fig. 4.2 muestra la reducción en el tamaño de la columna cuando aumenta la resistencia del concreto para una columna corta sujeta a carga axial con un momento mínimo de flexión (cláusula 10.1.2 de AS3600). La reducción del área no es lineal como podía esperarse, debido al requerimiento del reglamento de que todas las columnas tengan una pequeña capacidad de momento de flexión.

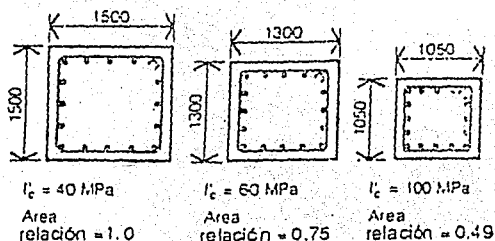


Fig. 4.2

Se tienen datos contradictorios en el sentido de que la resistencia disminuye con la edad. Tal parece que se requiere de mayor investigación para establecer si este comportamiento existe en el concreto de alta resistencia.

Construcción

En la gama de resistencia del concreto desde 250 a 400 Kg/cm², el incremento en la resistencia es mayor que el incremento lineal en los costos. Con el concreto de alta resistencia, actualmente el incremento de la resistencia es menor que el incremento lineal en los costos, tal como se muestra en la figura 4.3.

Los factores que influyen en esta tendencia son:

- La fuente del agregado grueso puede encontrarse más retirada que la de los agregados usados para el concreto de resistencia normal.

- Una mayor cantidad de cemento y la adición de aditivos tales como superfluidificantes.
- Costos más altos del desarrollo de la mezcla y los riesgos de construcción asociados.

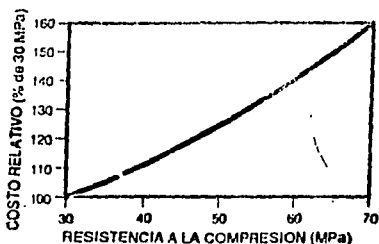


Fig 4.3

Mientras menor es la relación agua/cemento (ver figura 4.4), por ejemplo, cuando se agrega humo de sílice al concreto de alta resistencia, se experimenta una reducción en la trabajabilidad de la mezcla; para asegurar la solución de este problema generalmente se adoptan la adición de aditivos y la limitación del tamaño máximo del agregado grueso a 20mm. La limitación del tamaño y los aditivos reductores de agua o superfluidificantes, estos últimos típicamente agregados a la mezcla en el sitio de la obra antes del bombeo.

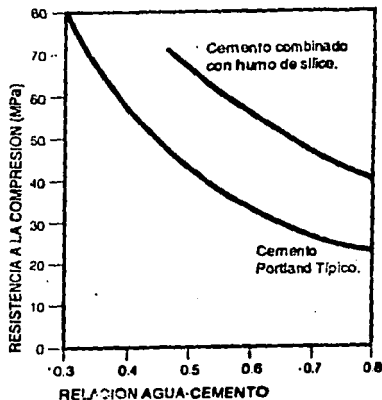


Fig 4.4

El concreto de alta resistencia tiene un mayor riesgo de agrietamiento por contracción plástica que el concreto de resistencia normal durante el período de fraguado, ya que no produce agua de sangrado. Estas grietas están típicamente relacionadas con elementos horizontales, y pueden reducirse poniendo mayor atención a las técnicas de construcción.

En los elementos de gran tamaño la temperatura de curado por la relación de hidratación tenderá a ser alta debido al alto contenido de cemento. Estas altas temperaturas pueden conducir a altos gradientes térmicos entre la superficie y el alma del concreto, y puede causar agrietamiento térmico y pérdida de la resistencia a la compresión. En estas situaciones tiene que introducirse a la mezcla hielo o nitrógeno licuificado para reducir el gradiente térmico.

Puesto que el concreto de alta resistencia produce un concreto de baja permeabilidad, los métodos tradicionales de aplicar una primera capa de aplanado a los elementos pueden resultar difíciles, y algunos constructores han tenido que usar métodos mecánicos tales como una malla fina para ayudar a la adherencia del aplanado de elemento.

En las construcciones de edificios de gran altura, en el camino crítico encontramos los muros, y la alta resistencia temprana del concreto de alta resistencia permite que se empleen técnicas mecánicas de moldeo poco después de la colocación del concreto, lo que reduce el tiempo de construcción. La figura 4.5 muestra la rápida ganancia en las resistencias del concreto de alta resistencia a edades más tempranas.

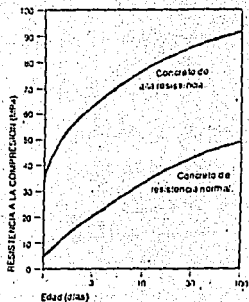


Fig. 4.5

Beneficios

El beneficio más importante ganado al usar concreto de alta resistencia es precisamente su alta resistencia a la compresión. Para los edificios, esto permite que se reduzcan el tamaño de las columnas y el grosor de los muros, lo que hace que el espacio del piso sea más flexible para el cliente y se incremente el espacio rentable, obteniendo así mayor ganancia por la inversión. La reducción del tamaño en los elementos verticales también reducirá su peso, y tiene un efecto acumulativo al reducir el peso aplicado a la cimentación.

Al incrementar la resistencia a la compresión del concreto se tendrá como resultado un módulo de elasticidad más alto incrementando así la rigidez del elemento. Para edificios de gran altura donde la condición dominante de diseño es el grado de oscilación de la parte más alta del edificio, al incrementar el módulo de elasticidad se tiene una reducción en la magnitud de la oscilación.

Los resultados de las investigaciones han demostrado que el concreto de alta resistencia tiene una menor deformación por fluencia que el concreto de resistencia normal. En estructuras altas con varios elementos verticales de soporte, invariablemente cada elemento tiene diferentes cargas y esto conduce a deflexiones verticales diferenciales entre columnas y muros. Los diseñadores toman en cuenta este efecto transfiriendo las cargas producidas por deflexiones diferenciales, estas cargas en los elementos del piso disminuyen y, potencialmente permiten una reducción en las cantidades de refuerzo.

Probablemente una de las características físicas más importantes del concreto de alta resistencia es su densidad. La baja permeabilidad da como resultado un mejoramiento en la durabilidad del elemento, particularmente incrementando la protección del refuerzo contra la corrosión.

En el norte de Europa, donde se usan llantas con pernos en la mayoría de los vehículos, el uso del concreto de alta resistencia para la construcción de carreteras ha producido superficies más durables y de menor mantenimiento en las carreteras.

Es posible también lograr acortar el tiempo de construcción gracias a la ganancia de resistencia a edades tempranas, permitiendo un descimbrado más rápido y dando mayor capacidad de carga de equipo pesado de construcción.

Aunque existen pocos datos disponibles sobre el uso de concreto de alta resistencia en elementos sujetos a flexión los estudios han demostrado que la alta resistencia a tensión por flexión incrementa la capacidad a flexión y al cortante de las vigas.

Limitaciones

Existen varias limitaciones de las que debe estar consciente el diseñador al especificar concreto de alta resistencia. Estas se enlistan a continuación:

-Puesto que el concreto de alta resistencia se usa generalmente en elementos donde las fuerzas de compresión son altas, la extensión y cantidad de los anillos laterales necesitan ser mayores que los utilizados en elementos de compresión hechos con concreto de resistencia normal.

El diseño de la mezcla es más crítico del que se requiere para concreto de resistencia normal, y debe haber un control de calidad más estricto de los ingredientes de la mezcla y de la producción.

La mezcla es más rígida que en el concreto de resistencia normal, y requiere de la adición de aditivos para mejorar su trabajabilidad. La secuencia y las cantidades de los aditivos podrían requerir la supervisión de un especialista en el sitio de la obra.

En grandes elementos de concreto, debe considerarse equipo de enfriamiento o cemento combinado para evitar altos gradientes térmicos que conducen al agrietamiento.

El diseñador y el constructor deben estar conscientes de lo que significa una dosificación que no cumpla con los requisitos de una mezcla de concreto si la resistencia que se propone alcanzar se especifica a más de 28 días.

Obviamente hay algún mérito al especificar la resistencia de diseño del concreto a más de 28 días, puesto que las columnas y los muros cerca del nivel del suelo de los edificios de gran altura muy probablemente no serán cargados a sus cargas de diseño por al menos dos años. Al especificar concreto a estas edades más tardías, el diseñador debe estar consciente que los factores de reducción de resistencia en el estándar se han basado en resistencias a 28 días, y en el constructor corre potencialmente mayor riesgo que cuando se usa concreto de resistencia normal si la resistencia no se alcanza en esa fecha posterior, particularmente si la construcción está avanzando a un ritmo muy rápido.

Desarrollo Futuro

En Australia los fabricantes de concreto y varias universidades están emprendiendo programas de investigación sobre concreto de alta resistencia para investigar el uso de los cementos combinados, efectos térmicos, propiedades de contracción y de fluencia, resistencia de los agregados y comportamiento estructural de los elementos hechos de concreto reforzado.

Las dos áreas más interesantes en el desarrollo del empleo del concreto de alta resistencia es la utilización de agregados ligeros y la resistencia de refuerzo. Actualmente, los agregados ligeros que se están usando son arcillas sintetizadas o expandidas, esquistos, ceniza volante y polvo grueso de escorias esponjosas.

En Australia, la varilla tiene una deformación en el punto de fluencia de 0.002, y representa menos que la deformación del concreto de alta resistencia a esfuerzo máximo de compresión. Obviamente, en algunos elementos, la deformación del refuerzo debe ser mayor que la deformación de concreto a esfuerzo máximo para aumentar el comportamiento estructural del elemento.

En los años 60'S el concreto con una resistencia característica de 400 Kg/cm' era considerada alta, pero en el siglo 21, con 400 Kg/cm' de resistencia un concreto puede ser considerado de resistencia normal, y el uso de concreto de alta resistencia puede extenderse a edificios de tamaño mediano con marcos de concreto.

Algunas aplicaciones de concreto de alta resistencia en Europa

Edificio en Frankfurt (Alemania)

Debido al amplio criterio del propietario de un edificio y al empeño de una compañía constructora, el concreto de alta resistencia, se usó por primera vez en Alemania en un rascacielos de 186m de altura construido en Frankfurt y que se terminó en 1992. El diseño de las columnas centrales de alta capacidad de carga y de los muros usados en el edificio se basó en experimentos descritos con anterioridad y en las recomendaciones del profesor G. Koing. La estructuración del piso entre columnas también se hizo a base de concreto de alta resistencia a fin de garantizar una resistencia uniforme del concreto en la columna. La mezcla del concreto en el sitio de la obra se hizo a base de 7% de humo de sílice, 10 Lts de superfluidificante y cemento portland. Con esto se obtuvo una relación agua/cemento de 0.35 con una capacidad de extendido de 50cm. Se recurrió a un sistema de control dentro de un nivel constante de trabajabilidad.

Edificio en Colonia (Alemania)

Esta estructura debe de soportar equipos de imprenta pesados. Una novedad de este edificio fue el sistema de unión a tope de las columnas precoladas. Las columnas se colocan en un sitio por medio de una grúa pesada, luego se ajusta su posición y posteriormente se unen entre sí con una capa de mortero de 2cm de espesor. El empleo de concreto de alta resistencia trajo como consecuencia una reducción del acero de refuerzo longitudinal, así como una condición de confinamiento donde se va a aplicar la carga. Con esto facilita la operación del colado.

Puente Boknasunder (Noruega)

Los ingenieros noruegos se dieron cuenta desde hace tiempo de las ventajas del concreto de alta resistencia para la construcción de superestructuras. La experiencia en el empleo de concreto de alta resistencia se obtuvo después de construir primero estructuras para puentes cortos. El avance en el desarrollo de estas estructuras lo obtuvo la empresa consultora Aas-Jakobsen, Oslo (Noruega). Estos ingenieros demostraron nuevos desarrollos en la aplicación de este material de construcción. Aas-Jakobsen, normalmente emplea concreto ligero de alta resistencia con una resistencia a la compresión de 600kg/cm². Generalmente se usa de tres a cuatro por ciento de humo de sílice y una relación agua/cemento de 0.45. Un claro más grande de 190m de ancho en vez de el de 150m dio paso a una cimentación más favorable, además se pudieron eliminar dos columnas cercanas a los estribos.

Plataforma de Conoco (Alemania)

La plataforma de Conoco, que en estos momentos están construyendo contratistas noruegos, puede servir como ejemplo de los esfuerzos tan enormes que son necesarios en el campo de abastecimiento de energéticos. Su terminación está programada para 1995.

Las enormes cámaras flotantes están hechas de concreto ligero de alta resistencia. Cada una de estas cámaras tiene una longitud de 95m y una sección transversal de 13x13m. La estructura está planeada para una vida útil de 50 años y, por lo tanto, se puede trasladar a distintos sitios con potencial de reducción. El peso de la plataforma es de 43200 Ton.

El gran Arco de la Defensa en París (Francia)

El proyecto es algo excepcional debido a sus dimensiones y a los métodos constructivos utilizados. Estudios hechos en mezclas de concreto dieron como resultado el proporcionamiento de dos mezclas diferentes, adecuadas para colocar las plataformas inferior y superior.

La plataforma superior se colocó con bombeo con una rapidez de 40 m³/hr a una presión de 60 bar.

El puente Joigny (Francia)

Este caso es el diseño clásico de un puente continuo balanceado de tres claros con tensores exteriores, a base de concreto de alta resistencia (600 Kg/cm²). En una comparación hecha durante el diseño preliminar se encontró que el volumen de concreto se podía reducir de 1395 m³ con concreto de 350 Kg/cm², a 985 m³ de concreto de alta resistencia. El menor peso muerto significó un ahorro al reducirse el número de torones. El puente está perfectamente instrumentado.

**C
A
P
I
T
U
L
O
V**

**FACTIBILIDAD
DE PRODUCIR
CONCRETOS DE
ALTA RESISTENCIA EN
EL DISTRITO FEDERAL**

CAPITULO V FACTIBILIDAD DE PRODUCIR CONCRETOS DE ALTA

RESISTENCIA EN EL DISTRITO FEDERAL.

Los concretos de alta resistencia son un desarrollo reciente, a los cuales se está encontrando utilidad práctica rápidamente, especialmente en la construcción de edificios de gran altura. Sin embargo, el alcance y extensión de sus aplicaciones son aún limitadas, en parte debido a que no se tiene conocimiento total de las distintas propiedades que gobiernan su comportamiento mecánico.

Ventajas del concreto de alta resistencia

La principal ventaja de los concretos de alta resistencia es tener una relación resistencia a compresión/costo relativamente alta, con un peso por unidad de volumen comparable al de los concretos comunes, lo que hace que a menudo sean la forma más económica de soportar fuerzas de compresión. También su gran capacidad de carga por unidad de volumen, permite el empleo de miembros esbeltos y estructuras más ligeras.

Otras ventajas de estos concretos de alta resistencia es su elevado módulo de elasticidad y su mayor resistencia a la tensión. El incremento de la rigidez tiene ventaja, cuando el diseño está regido por las deflexiones o la estabilidad, mientras que el incremento en la resistencia a la tensión la tiene, cuando el diseño de elementos de concreto presforzado se hace bajo condiciones de servicio.

El nombre de concreto de alta resistencia es un término relativo, lo que se considera alta resistencia en un lugar puede ser resistencia normal en otro lado. Para fines de este trabajo se considera alta resistencia a la compresión aquella superior a 400 Kg/cm².

Con el uso del concreto de alta resistencia se puede disminuir el tiempo de construcción, ya que se requiere de menos tiempo para desmoldar, los concretos de alta resistencia adquieren más rápidamente la resistencia necesaria para soportar no solamente su propio peso, sino además un buen porcentaje de la carga de diseño.

Métodos generales de la elaboración de concretos de alta resistencia

Para producir concretos de resistencia a compresión superior a 400 Kg/cm² con agregados de peso normal, se requiere de una selección cuidadosa de los materiales componentes, el empleo de aditivos reductores de agua de alta eficacia y un estricto control de calidad en todas las etapas de fabricación y uso.

En el caso específico de la ciudad de México y en el de los materiales, se requiere seleccionar la marca y el tipo de cemento que permita alcanzar una alta resistencia a compresión a la edad de tres meses; la trituración de los agregados calizos disponibles para alcanzar una granulometría y forma de partículas adecuadas, el lavado y clasificación por tamaños de la arena andesítica, comúnmente empleada en el Valle de México para eliminar las partículas indeseables de las mismas, y el empleo de un aditivo superfluidificante que permita reducir los consumos de agua, manteniendo niveles aceptables de trabajabilidad en las mezclas.

Los materiales para la elaboración de los concreto de alta resistencia, deben tener características específicas, que se resumen enseguida:

Cemento

Se han efectuado numerosos estudios para determinar la influencia de los diferentes tipos de cementos, así como de sus características físicas y químicas, en la efectividad de producir resistencia a la compresión a edades tempranas, combinados con aditivos superfluidificantes.

Se puede decir que el empleo de los aditivos resulta más efectivo en la reducción de agua y en el desarrollo de la resistencia al combinarlos con cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C₃A), molido a alta finura. Hay evidencias de que concretos hechos con cementos con contenido de aluminato tricálcico superior a 9%, presentan pérdidas de revenimiento rápidas. Un límite aceptable en el contenido de aluminato tricálcico puede ser 5%.

Una buena opción, pueden ser los cementos portland-puzolana para la fabricación de concretos de alta resistencia, por su adecuado efecto físico-químico asociado a las partículas finas de las puzolanas. El cemento más conveniente para ser el tipo II-puzolánico.

Agregados pétreos

A) Agregado fino.

Los concretos de alta resistencia usualmente tienen contenidos de materiales cementantes tan altos que la granulometría de los agregados finos a usar tiene poca importancia, en comparación con la que tiene para los concretos comunes.

La granulometría óptima del agregado fino para concretos de alta resistencia está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua que por su arreglo físico. Una arena con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 puede conducir a una consistencia de concreto pegajoso, difícil de compactar. Una arena con MF cercano a 3.0 puede producir concretos con mayor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

A menudo puede resultar conveniente aumentar el MF, al reducir los porcentajes de las partículas que pasan las mallas números 50 y 100, pero manteniéndolos dentro de los porcentajes que recomienda la norma respectiva (ASTM C33), y eliminando la posible contaminación de mica y arcilla.

B) Agregado grueso.

La mayoría de los estudios han mostrado que la resistencia a la compresión óptima con altos contenidos de cemento y relaciones agua/cemento bajas, se alcanzan con tamaños máximos del agregado grueso de 12.7mm o 9.5mm. También se han usado satisfactoriamente tamaños máximos de 19mm y 25.4mm.

De acuerdo a las pruebas ya realizadas la piedra triturada produce resistencias más altas que la grava redondeada. Esto es debido a la gran adherencia mecánica que se puede desarrollar con partículas angulosas. Sin embargo, debe evitarse la angulosidad acentuada, debido al mayor requerimiento de agua y poca trabajabilidad que se tiene con este tipo de material. El material ideal debe de ser limpio, cúbico, agregado triturado, con un mínimo de partículas planas y alargadas.

Aditivos superfluidificantes

Estos aditivos son usados en forma de solución acuosa a diferentes concentraciones, dependiendo del tipo y marca. La dosificación utilizada suele ser muy alta, lo que puede repercutir en el costo del concreto, pero por otro lado su empleo produce importantes ahorros en otros conceptos.

Un ejemplo de estos aditivos es el hecho a base de melamina sulfonada que tiene las siguientes características físicas:

Reductor de agua de alto rango (ASTM C494 TIPO F), autonivelante y acelerante. Tiene 30% de sólidos y una densidad de 1.165 g/cm³. Se usa en concretos de alta resistencia a temprana edad. Se recomienda no agregarlo al agua de mezclado y emplearlo en dosificaciones de 1 a 3% del peso del cemento, y mezclarlo durante tres minutos después de incorporarlo a la mezcla de concreto. La duración del efecto fluidificante es de 30 a 40 minutos, dependiendo de la temperatura del concreto fresco y del medio ambiente. No contiene cloruros no es cáustico, ni inflamable. Tiene un alto poder dispersante que permite una perfecta distribución de las partículas de cemento dentro de la mezcla, por lo tanto, propicia la hidratación completa, obteniendo el máximo efecto adherente del cemento.

Proporcionamiento de masclas de concreto

Se debe tener sumo cuidado en el proporcionamiento de concretos de alta resistencia, ya que requiere de un proceso más cuidadoso que el diseño de mezclas de resistencia normal. En general se emplean aditivos puzolánicos, especialmente seleccionados y aditivos químicos, y se considera la utilización de una baja relación agua/cemento.

Como se ha hecho mención con anterioridad, cuando se requieren resistencias superiores a 400 Kg/cm², las propiedades del agregado asumen gran importancia.

La resistencia propia del agregado, la textura para lograr una buena adherencia, la forma y la granulometría para lograr una trabajabilidad adecuada con un mínimo de agua, son de gran importancia.

En mezclas ricas de cemento, si se disminuye el tamaño del agregado grueso, aumenta la superficie específica, y la adherencia entre el mortero y el agregado mejora, por esta razón se incrementa en forma sustancial la resistencia mecánica del concreto.

Ya que se trabaja con relaciones agua/cemento bajas, para alcanzar mayor resistencia a la compresión el concreto se debe compactar perfectamente, esto es posible por medio de la compactación mecánica o vibrado, dependiendo de la consistencia de la mezcla.

para lograr un buen concreto de alta resistencia, el consumo varía entre 400 y 550 kg/m³ y la relación agua/cemento, en peso, entre 0.25 y 0.30. En teoría la relación agua/cemento cercana a 0.27 es adecuada para la hidratación total del cemento. Un contenido adicional de agua en cualquiera de los agregados, sobre esta relación, reduce la resistencia a la compresión que se puede alcanzar.

No obstante se deben respetar estos proporcionamientos, ya que al incrementar el contenido de cemento para alcanzar alta resistencia a edad temprana puede originar calor de hidratación excesivo, causando agrietamientos y contracciones inadecuadas en el concreto. El incremento del consumo del cemento por sí solo no es tan conveniente como una reducción de la relación agua/cemento para lograr tal fin. Para concretos de alta resistencia se recomienda emplear revenimientos entre 2.5 y 5 cm.

La economía en relación con los concretos de alta resistencia

En México, la construcción de edificios de mayor altura está concentrada en el área metropolitana del Distrito Federal y es natural pensar que la utilización de los concretos de alta resistencia para este tipo de edificaciones se dé principalmente en esta zona geográfica; pero debido a la escasez de los agregados pétreos de buena calidad, provenientes de bancos de material cercanos, trae como consecuencia el acarreo de largas distancias de dichos agregados, motivando a un incremento sustancial en sus costos de producción y disminuyendo la competitividad con los concretos de resistencias tradicionalmente usados.

Por fortuna las últimas tendencias económicas se perfilan hacia un mayor desarrollo de la infraestructura productiva en todos los Estados de nuestro país, lo cual provocará un repunte de la industria de la construcción, y es precisamente aquí donde los concretos de alta resistencia tienen mayor oportunidad, ya que las fuentes de la materia prima requerida para su producción haría menos crítico el binomio distancia de acarreo-calidad.

Pero no se debe perder de vista que el incremento de costo de los concretos de alta resistencia con respecto al concreto tradicional se compensa por:

- a) Mayor superficie utilizable en planta.
- b) Menor carga muerta.
- c) Menores cantidades de acero de refuerzo.
- d) Menor cantidad de mano de obra.

Por la anteriormente dicho la relación costo-beneficio se muestra a favor del concreto de alta resistencia, ya que simplemente con incrementar del 25 al 35% los contenidos de cemento se pueden alcanzar aumentos de resistencia a la compresión del orden de 2 a 2.5 veces.

El precio de lista del concreto de 210 Kg/cm² fue de un 33% del precio de un concreto de 980 Kg/cm², y apesar de esta diferencia fue favorablemente en relación con las 4.7. en el incremento de la capacidad para soportar estas cargas. Esta comparación demuestra la economía obtenida utilizando concretos de alta resistencia en las columnas de los edificios de gran número de niveles, con objeto de construir columnas más económicas y mantener el 1% de acero de refuerzo en las columnas.

Métodos factibles para el Distrito Federal

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM, está en desarrollo un programa experimental para determinar la influencia de varios factores en la obtención de concretos de alta resistencia, con especial atención en los materiales disponibles en México DF, particularmente en lo que se refiere a los agregados. Los resultados hasta la fecha indican, que para consumos del orden de 475 Kg/m³, basalto de 3/4", arena de mina del área metropolitana de la ciudad de México, ceniza de carbón quemado en un 10% del peso del cemento y aditivo fluidificante de alto rango se obtienen resistencias de 630 Kg/cm² a los 28 días y de 730 Kg/cm² a los 56 días. Esto sin tener cuidado en aspectos granulométricos y propiedades de los agregados. En tanto que para consumos más elevados de cemento con tamaños máximos de agregado, menores a 3/4" se logran resistencias del orden de 700 Kg/cm² a los 7 días.

Las posibilidades de producir concreto de alta resistencia en la ciudad de México existen, principalmente porque las formaciones geológicas cercanas al área metropolitana pueden abastecer de agregados lo suficientemente resistentes para tal propósito.

Ventajas de los concretos de alta resistencia .

- Se puede obtener mayores resistencias de diseño.
- Se pueden introducir mayores niveles de presfuerzo y se puede reducir el deterioro de las piezas durante su traslado y manipulación.
- Se puede propiciar la transmisión de presfuerzos a edades tempranas.
- Con la alta resistencia, la sección transversal de la estructura puede reducirse, lo que conduce a la disminución de la carga muerta lo que resulta favorable para edificios altos, puentes de gran claro y para la estabilidad de las estructuras bajo la acción de sismo.
- La trabajabilidad que alcanzan estos concretos con bajas relaciones agua/cemento permite mejorar la impermeabilidad de los mismos y aumentar su durabilidad.

Aplicaciones de los concretos de alta resistencia

Es necesario tener en cuenta la demanda general de obra civil ya que ésta no solo abarca grandes edificios para oficinas o vivienda, si no que son necesarias obras de tipos y usos diversos.

De las aplicaciones de concreto de alta resistencia con mayor potencialidad, podemos mencionar:

a) Puentes, cubiertas, tanques de almacenamiento y elementos de concreto prefabricados.

b) Estructuras especiales, chimeneas, silos, plantas nucleares, túneles y pilotes.

c) Obras relacionadas con vías de transporte pavimentos rígidos con un alto módulo de ruptura, pistas de aeropuertos, estructuras de protección de alta resistencia al impacto en vías terrestres.

d) Reparación y reforzamiento de: Estructuras dañadas por sismo.

e) Obras hidráulicas sometidas a altos índices de abrasión.

f) Sistemas de entrepiso de concreto ligero

g) Aplicaciones especiales a la ingeniería Militar.

**C
A
P
I
T
U
L
O
V
I**

**CONCRETOS
DE ALTO
COMPORTAMIENTO**

CAPITULO VI CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Para poder hablar del concreto de alto comportamiento es necesario dar una serie de antecedentes históricos, que influyen en el desarrollo de la tecnología con la cual han evolucionando las técnicas de elaboración que ha permitido conocer los concretos de este tipo en nuestro tiempo.

En el transcurso de la Historia el desarrollo tecnológico del concreto ha sido lento, pero existen excepciones, de éstas, en las más notables se incluye el descubrimiento de la ley de la relación agua/cemento en 1919 y la inclusión de aire en 1938. Sin embargo, hoy en día estamos en una nueva etapa tecnológica, ya que se tienen nuevos aditivos y materiales cementantes que permiten la producción de concretos con propiedades mecánicas superiores, una muy alta trabajabilidad y una mayor durabilidad. Esta nueva clase de concretos ha sido llamado Concretos de Alto Comportamiento (CAC), y como resultado de esto se espera que tenga un uso muy grande en la industria de la construcción y en la elaboración de estructuras de concreto.

El primer uso ampliamente difundido del concreto de alto comportamiento fue como concreto de alta resistencia (prueba de compresión mayor de 400 Kg/cm²) para columnas en edificios de gran altura. Como resultado de esto, el concreto de alto comportamiento es frecuentemente confundido con el concreto de alta resistencia. Sin embargo, la diferencia es que el concreto de alto comportamiento significa concreto con una alta durabilidad y larga vida.

En una reunión sobre concreto de alto comportamiento en Maryland en mayo de 1990, el concreto de alto comportamiento fue definido como:

"Concreto que tiene las propiedades deseadas y uniformidad que no pueden ser obtenidas rutinariamente usando sólo los materiales tradicionales con el mezclado, colocación y curados comunes.

Como ejemplo de todas estas propiedades se pueden incluir:

- * Fácil colocación y compactación sin generar segregación.
- * Mejoramiento de las propiedades mecánicas a largo plazo.
- * Resistencias muy altas a edades tempranas.
- * Alta tenacidad.
- * Estabilidad volumétrica.
- * Gran durabilidad en condiciones difíciles o adversas.

Que es el concreto de alto comportamiento?

Ya se ha hecho mención anteriormente de que en un principio se le nombraba concreto de alta resistencia, pero ahora se le diferencia nombrándolo concreto de alto comportamiento. Era natural y correcto referirse de esa forma al concreto que tenía una resistencia mayor a la normal como el concreto de alta resistencia. Sin embargo, en aplicaciones prácticas de este concreto, el énfasis ha cambiado gradualmente en muchos casos de fuerza de compresión a otras propiedades del material, tales como altos módulos de elasticidad, alta densidad, baja permeabilidad y resistencia a algunas formas de ataque.

Por lo tanto es lógico describir tal concreto con el término que abarca más conceptos como concreto de alto comportamiento.

Los beneficios que acarrea el uso del concreto de alto comportamiento son bastantes, pero sólo son de utilidad cuando pueden ser óptimamente aprovechados. Actualmente su aprovechamiento ha sido principalmente en edificios de gran altura, puentes y estructuras bajo condiciones adversas. Hay muchas aplicaciones potenciales de concreto de alto comportamiento. Sin embargo, en muchos lugares el uso de concreto de alto comportamiento se excluye por su indisponibilidad, al mismo tiempo se dice que esta indisponibilidad es el reflejo de la falta de demanda. Esto es porque el diseñador y el proveedor están renuentes a salir de lo familiar.

En caso inverso, en aquellas áreas donde existen diseñadores ansiosos de aprovechar el concreto de alto comportamiento, siempre hay uno o dos proveedores que entregarán este tipo de concreto con las especificaciones requeridas. Esta disponibilidad de concreto de alto comportamiento, en su momento estimula a otros diseñadores a usarlo, de esta manera se difunde su uso.

La renuncia de parte de algunos de los ingenieros para usar el concreto de alto comportamiento no se entiende como una crítica al uso de este concreto sino se atribuye más bien a la ignorancia de algo que se considera especial, inusual y ciertamente diferente.

El concreto de alto comportamiento se puede conceptuar como un concreto con el mejoramiento de fácil colocación y compactación sin segregación, de alta resistencia a edades tempranas, alta cohesión interna, estabilidad volumétrica y durabilidad en condiciones muy adversas.

La visión del concreto del mañana es:

a) Los concretos serán materiales con una alta tecnología y con la composición y estructura evaluadas a nivel microscópico habiendo sido diseñados para alcanzar las propiedades deseadas.

b) Sistemas inteligentes que ayudarán a la selección del concreto combinando adecuadamente diferentes materiales y características de comportamiento para cada una de las aplicaciones deseadas.

c) Será posible predecir el comportamiento incluyendo la vida útil de un concreto para ser usado en una aplicación dada.

d) La construcción de un concreto será especificada sobre la base de su costo en su ciclo de vida con un comportamiento garantizado.

e) La habilidad para optimizar el concreto en sus diferentes aplicaciones, evitará el uso de materiales reciclados, marginales u otros no tradicionales.

f) Será posible adaptar a la demanda del mercado tomando en cuenta su factibilidad de construcción, la automatización y la calidad de la mano de obra local.

g) Nuevos conceptos de construcción compuestos de concreto y acero darán nuevas oportunidades a los diseñadores que optimicen sus estructuras.

h) El proceso de desarrollo de normas que permitan obtener mayor rendimiento, facilitará la innovación técnica y el concreto tendrá que cumplir satisfactoriamente especificaciones globales.

Descripción de trabajos desarrollados en otros países.

Muchos países altamente desarrollados se enfrentan con el problema del envejecimiento de su infraestructura que contiene muchos elementos de concreto. Los ahorros potenciales a largo plazo que pueden ser realizados usando el concreto de alto comportamiento para renovar estructuras de concreto viejas, han sido reconocidos mundialmente. Como resultado, se han establecido varios programas de investigación nacional.

Noruega

El Real Consejo Noruego de investigación científica e industrial y la industria Noruega del concreto iniciaron una investigación común sobre el concreto de alto comportamiento en 1986. Su principal objetivo era ampliar el conocimiento de este concreto determinando la influencia de las variaciones de los principales constituyentes del concreto en sus propiedades en estado fresco y endurecido, determinando los métodos estándares apropiados y reproducibles de prueba cuando se aplican al concreto de alto comportamiento y transferir toda esta tecnología a la industria de la construcción noruega.

Japón

En 1988 el Ministerio de Construcción Japonés inició un proyecto de 5 años llamado "Desarrollo de edificios de concreto avanzado usando concreto y acero de muy alta resistencia llamado New RC". El mayor de los objetivos del proyecto es investigar y analizar la información existente relacionada con el concreto de alto comportamiento, desarrollar la comprensión del comportamiento mecánico usando concreto de alto comportamiento y acero de refuerzo de alta resistencia, y desarrollar el criterio de diseño para edificios de New RC.

Francia

En Francia un proyecto nacional llamado "Nuevas Tendencias en el concreto" demostró la factibilidad de producir concreto de alto comportamiento para las grandes obras de construcción usando los materiales locales y el equipo existente. El proyecto incluía una demostración de la construcción de un puente postensado colado en el lugar, de tres claros de longitud de 114 m. El proyecto convenció a las autoridades francesas de que el concreto de alto comportamiento debería de ser especificado para todas las obras en que fuera deseada una mayor durabilidad aún cuando el concreto de muy alta resistencia no fuera necesario.

Canadá

En 1988 el gobierno canadiense anunció que se asignarían 240 millones de dólares durante 4 años para fundar un sistema de 10 a 15 centros de excelencia para realizar investigaciones en el campo de las ciencias naturales, ingeniería y otras áreas. El programa tiene como propósito principal enfocar a los mejores investigadores de Canadá en proyectos de suma importancia para este país. Esto debería conseguirse creando a lo largo de la nación redes basadas en la cooperación entre la industria, gobierno y universidades para desarrollar investigación y tecnología. Se planteo un sistema para la ingeniería civil y fue el Network Center of Excellence sobre concreto de alta resistencia.

La fundación de este centro se inauguró el 1 de julio de 1990. Su presupuesto es de más de 2 millones de dólares canadienses durante 4 años, la cuarta parte de este presupuesto fue empleada para la compra de equipo. El centro consta de 11 investigadores principales de 7 universidades y 2 firmas de consultoría desde Quebec hasta la Columbia Británica. Más importante aún, los investigadores fueron escogidos de entre los tres siguientes campos de investigación del concreto: investigación de materiales, investigación estructural e investigación sobre aplicaciones en la construcción. Este intercambio de procedencias y experiencias dio energía a todos los esfuerzos.

Cada uno de los investigadores tiene un grupo de ingenieros estudiantes y técnicos trabajando en alguno de los aspectos del programa de investigación del sistema. El programa tiene un consejo de directores asistidos por otros consejos de investigación y consultoría, estos consejos se reúnen 2 veces anualmente. El programa consta de 3 proyectos:

Desarrollo de una nueva generación de materiales para la construcción

El rango de temas va desde la infraestructura del cemento-concreto hasta las condiciones físico-químicas para la aplicación de este conocimiento, para la mejora de la resistencia, tenacidad, durabilidad y ataque de sales descongelantes, hielo y deshielo, y para reducir la permeabilidad y la porosidad.

Diseño de estructuras de concreto de muy alta resistencia

Este proyecto examina la respuesta de los concretos de muy alta resistencia ante sistemas de carga simples y compuestas, el trabajo mayor es realizado por parámetros de deformación debidas a flexión, los efectos del confinamiento, adherencia y anclaje, requisitos mínimos de refuerzo y confiabilidad de las estructuras con concretos de alta resistencia.

Desarrollo de productos y técnicas

Esto contempla el desarrollo de nuevos productos basados en el concreto de alto comportamiento y de nuevas técnicas para construcción que lo empleen. Los productos en cuestión incluyen elementos estructurales de concreto presforzado y precolado utilizando las ventajas de este concreto sustitutos de cerámica, granito y aluminio, de pastas selladoras y de anclaje. Las nuevas técnicas también incluyen el uso de las especificaciones de comportamiento del concreto de alto comportamiento, desarrollo de mejores métodos de curado y pruebas para este concreto, precalificación de productores y usuarios del concreto de alta resistencia y concreto lanzado de alto comportamiento.

Estados Unidos

En Estados Unidos el mayor programa de investigación en tecnología del concreto esta siendo patrocinado por la National Science Foundation (NSF) y el Strategic Highway Research Program (SHRP). En el NSF para ciencia y tecnología de materiales basados en cemento avanzado es un consorcio de cinco organizaciones. Los objetivos del centro son el progreso de la ciencia fundamentalmente requerida para el diseño de nuevos materiales a base de cemento con propiedades mejoradas, desarrollar el entendimiento de la ciencia que soporta a los materiales, procesos y metodologías a base de cemento, crear modelos matemáticos y por computadora para simular la microestructura y el comportamiento de los materiales cementantes y mejorar el conocimiento básico necesario para lograr mayor competitividad de la industria de la construcción americana. El SHRP es un programa altamente enfocado que apunta a áreas críticas de pavimentación y comportamiento de puentes. La misión de este programa relacionado al concreto es incrementar la durabilidad del concreto en sus aplicaciones a autopistas.

Proyectos en marcha abordan temas tales como la microestructura del concreto, congelamiento y descongelamiento, control de calidad y análisis de condición. Un proyecto trata de concreto de alto comportamiento y aspira obtener datos sobre las propiedades mecánicas y características de durabilidad de diferentes mezclas de concreto de alto comportamiento para su aplicación en autopistas. El último proyecto intenta sintetizar el conocimiento adquirido en el SHRP y aplicarlo a desarrollar metodologías para incrementar la vida de servicio en las autopistas.

En los Estados Unidos, el área de Chicago ha sido líder en el desarrollo y uso de concreto de muy alta resistencia; varios proyectos de industrias asociadas se han concluido a partir de las propiedades del concreto de muy alta resistencia y el comportamiento de los elementos estructurales basados en éste. Un proyecto reciente comparó la resistencia a largo plazo del concreto de muy alta resistencia en pilas con los especímenes de curado estándar. Otros proyectos actuales tratan el desarrollo de datos de propiedades de ingeniería de las mezclas de concreto de muy alta resistencia hechas a partir de materiales locales, de tal manera que los diseñadores tengan la información que necesitan para hacer uso de concreto de muy alta resistencia en sus estructuras.

Mientras en el resto de los Estados Unidos tienen lugar importantes programas de investigación, no hay un programa general que coordine los esfuerzos de la nación para comprender el concreto de alto comportamiento y desarrollar criterios de diseño para su uso con la seguridad adecuada.

Para atender estas quejas el Consejo Nacional de Tecnología (National Bureau of Standards) con su Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología (NIST) que tiene una gran tradición en la investigación de concretos, creyó necesario realizar un taller con los líderes de los centros de investigación, que delinea el marco de trabajo para lograr la coordinación entre las organizaciones que desean el avance en el conocimiento del concreto de alto comportamiento beneficiando así a la industria de la construcción y protegiendo las futuras inversiones en esta infraestructura.

Aplicaciones del Concreto de Alto Comportamiento.

En este mismo taller de trabajo en colaboración con el ACI y el NIST se propuso identificar las oportunidades de usos potenciales en que el concreto de alto comportamiento pueda ser aplicado, encontrar las barreras y deficiencias de este tipo de concreto y enlistar las necesidades críticas de investigación para vencer las barreras técnicas y lograr las bases para la nueva normalización del producto.

Como resultado del trabajo de este taller se presentan las siguientes tablas en donde se enlistan las propiedades del concreto de alto comportamiento que son de utilidad, agrupadas en tres grandes categorías.

Tabla 1. Propiedades del Concreto de Alto Comportamiento.

1.1 Propiedades que benefician el proceso de construcción

Propiedad	Abreviatura
Alta resistencia a temprana edad	RTÉ
Alta trabajabilidad	ATR
Alta cohesividad en estado fresco	COH
Estabilidad volumétrica	EV
Adherencia al concreto endurecido	AD
Deformaciones predecibles a través del tiempo	DPT

1.2 Mejoras en las propiedades mecánicas.

Propiedades	Abreviatura
Alta resistencia a la compresión	ARC
Alto módulo de elasticidad	AME
Alto módulo de ruptura	AMR
Alta resistencia a la tensión	ART
Mejor relación resistencia/peso	R/P
Mayor ductilidad	DUC

1.3 Propiedades que mejoran la durabilidad.

Propiedad	Abreviatura
Protección a la corrosión	PC
Baja permeabilidad	BP
Resistencia al ataque químico	RQ
Resistencia a la abrasión	RA
Resistencia al lavado	RL

En la tabla 2 se enlistan las oportunidades de utilización de los concretos de alto comportamiento. Se clasifican en existentes (E) en aquellos en los que ya se ha obtenido alguna experiencia en sus aplicaciones, y se sugiere como nuevas (N) aquellas que pueden ser de gran utilidad. En cada una de estas oportunidades o aplicaciones, se han puesto las abreviaturas de las propiedades del concreto de alto comportamiento (tabla 1) que se requieren.

Tabla 2 Oportunidades de utilización del concreto de alto comportamiento.

2.1 Construcción estructural.

Aplicación	N/E	Propiedades del CAC
Columnas	E	ATR, ARC, AME, DPT
Losas postensadas	N	ARC, AME
Cimentaciones	N	ARC
Losa acero	E	PC, RA, R/P
Diseño sísmico	N	AE, ATR, COH
Precolados, Presforzados	N	ATR, ARC, AMR, RTE, PC, R/P
Emergencias	E	ATR, RTE, AD
Bajo agua	N	RL
Largo plazo	N	ARC, AD, DUR
Con fibra	N	AE, AD

2.2 Construcción en las vías de comunicación.

Aplicación	N/E	Propiedad del CAC
Puentes de claro largo	E	AME, R/P, PC
Construcción en vías rápidas	E	RTE, AMR
Reparaciones	E	ATR, RTE
Transito pesado	E	RA, AMR
Estacionamientos	E	PC, DUR

2.3 Otras aplicaciones

Aplicación	N/E	Propiedad del CAC
Estructuras sanitarias	N	BP, DUR, RQ
Estructuras apoyadas	E	ARC, ART, DUR, AME
Estructuras flotantes	E	ARC, ART, DUR, AME, R/P
Túneles	N	BP, RTE, ARC, ART, DUR
Plantas de la industria química y de alimentos	N	BP, RA, RQ
Estructuras de seguridad	N	AE, ART, ARC
Contenedores de residuos peligrosos	N	BP, DUR
Construcción en climas fríos	N	RTE
Estructuras Militares	N	AE, ART, ARC

Aplicaciones del concreto de alto comportamiento al sistema de transporte en México.

Como en todo el mundo los sistemas de transporte están llenos de concreto convencional con una relativa alta permeabilidad permitiendo serio deterioro en las estructuras, que a su vez ha causado reparaciones costosas y un bajo desempeño. La causa mayor del daño es la corrosión del acero de refuerzo provocado por el contacto de los iones de cloro. La penetración de otros iones especialmente los de sulfato han causado deterioro al concreto en si mismo. Por lo tanto y como se ha visto anteriormente, las aplicaciones más interesantes de este material en los sistemas de transporte además de la muy alta resistencia para la construcción de nuevos puentes, el interés para tener un alto nivel de desempeño de los sistemas de transporte están principalmente basado en dos propiedades:

La baja permeabilidad para detener el ataque de iones nocivos y con esto lograr una mayor durabilidad a futuro y la alta resistencia a tempranas edades que puede ser un recurso indudable en las reparaciones de estructuras y pavimentos con tránsito denso y pesado.

Los concretos de alto comportamiento que cumplen con estas funciones son los que se obtienen por medio de las adiciones puzolánicas, que son el vapor de sílice y la ceniza volante. los concretos modificados con látex y con muy baja relación agua/cemento son las que logran la construcción y reparación de vías rápidas.

Se hace evidente la necesidad de realizar aplicaciones de campo respaldadas por alguna investigación de laboratorio para empezar a desarrollar su uso en la construcción de puentes de claro largo. Se deberán desarrollar procedimientos y dosificaciones que logren la muy alta resistencia del concreto con una alta capacidad técnica de producción.

**C
A
P
I
T
U
L
O
V
I
I**

CONCLUSIONES

CAPITULO VII CONCLUSIONES

1.- Los concretos de alta resistencia representan una alternativa conveniente en proyectos de gran tamaño ya que si bien tienen un mayor costo por metro cúbico que los concretos convencionales, la disminución de volúmenes totales compensa este sobre costo y alcanza a producir economías totales, a lo que se aúna una mejor apariencia estética y un mejor aprovechamiento de los espacios.

2.- La aplicación de concretos de alta resistencia sólo deberá considerarse en obras en que se tenga un estricto control de calidad y disponibilidad de mano de obra calificada y de equipos de alta tecnología.

3.- Antes de emprender una construcción con concretos de alta resistencia deberán realizarse ensayos sobre diversas mezclas y aditivos para confirmar que se alcanzará la resistencia deseada. Al respecto, debe recalcarse que no es lo mismo producir una muestra pequeña en un laboratorio que producir grandes volúmenes en una planta en el campo.

4.- Es factible económicamente producir concretos de alta resistencia en el Distrito Federal. El principal factor que define la economía de este tipo de materiales es el acarreo de los agregados pétreos; puesto que los bancos de materiales del Distrito Federal son en su mayor parte de origen volcánico y por lo tanto ligeros y de baja resistencia; en tanto que los bancos de buen material se han agotado o se encuentran a grandes distancias.

5.- Ante el problema mundial que representa el envejecimiento y deterioro de la infraestructura civil, el principal problema que se plantea ahora en el campo de la tecnología del concreto es el desarrollo de concretos no solamente más resistentes sino más durables. A estos concretos se les llama "de alto comportamiento". Sería deseable que las instituciones mexicanas de investigación de materiales se abocaran al desarrollo de este tipo de concretos para las condiciones nacionales, emulando los esfuerzos similares en otros países.

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

BIBLIOGRAFIA

Neville, Adam "Tecnología del concreto"

México D.F. 1985 tomo I.

Köing, Gert et al "Empleo de Concreto de Alta Resistencia en Europa" Artículo publicado en la revista "Construcción y Tecnología" del Instituto Mexicano del Cemento y del concreto. México 1994.

Graf, Alejandro "Concretos de Alto Comportamiento". Ponencia presentada en la XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Morelia, Mich. México 1994.

Vorobieff, George "Concreto de Alta Resistencia". Artículo publicado en la revista "Construcción y Tecnología" del Instituto Mexicano del cemento y del concreto. México 1994.

Mendoza, Carlos et al "Concretos de Alta Resistencia para el Distrito Federal". Ponencia presentada en Mérida Yucatán, México 1994.